

Определение теплоёмкости твёрдых тел (2.1.4)

Манро Эйден

Введение

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

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

Теоретические сведения

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

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

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

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

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

Из уравнений (??) и (??) получаем:

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

Формула (??) является основной расчетной формулой данной работы.

В формуле (??) 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 (??) приобретает вид:

$$C = \frac{P}{(\Delta T / \Delta t)_{T_K}}$$

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

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

Где R_0 – сопротивление термометра при температуре 0°C , R_T – сопротивление термометра при данной температуре. Учитывая данную зависимость, получаем итоговый вид для основной формулы:

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

Коэффициент α , входящий в данную формулу для 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. 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 (??). 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.

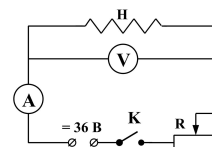


Рис. 1: Схема включения нагревателя

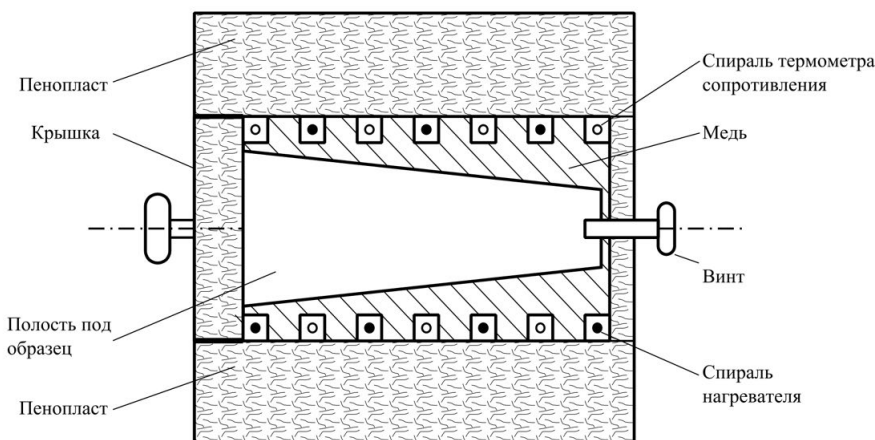


Рис. 2: Устройство калориметра

На рисунке (??) изображено устройство калориметра.

Погрешности

- $\sigma_T = 0,01^\circ C$
- $\sigma_{T_K} = 0,01^\circ C$
- $\sigma_U = 0,01 \text{ В}$
- $\sigma_I = 0,0001 \text{ А}$
- $\varepsilon_C = \sqrt{\left(\frac{\sigma_I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{T_K}}{T_K}\right)^2} = 3,5 \%$

Ход работы

Параметры экспериментальной установки:

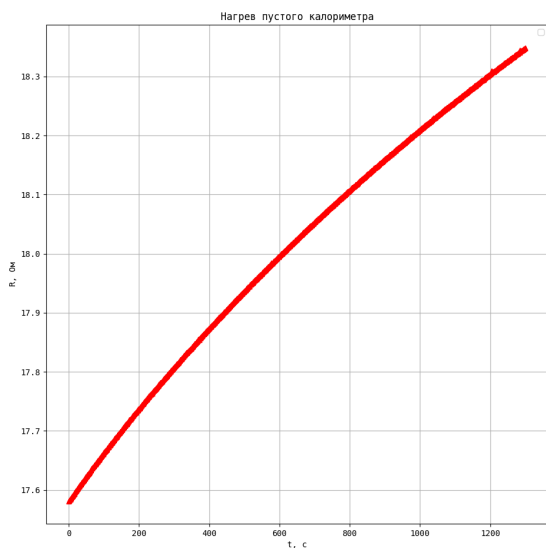
| | |
|-------------------|-----------------|
| материал образца: | титан |
| масса образца, г | $293,2 \pm 0,5$ |

Таблица 1: Параметры исследуемых образцов

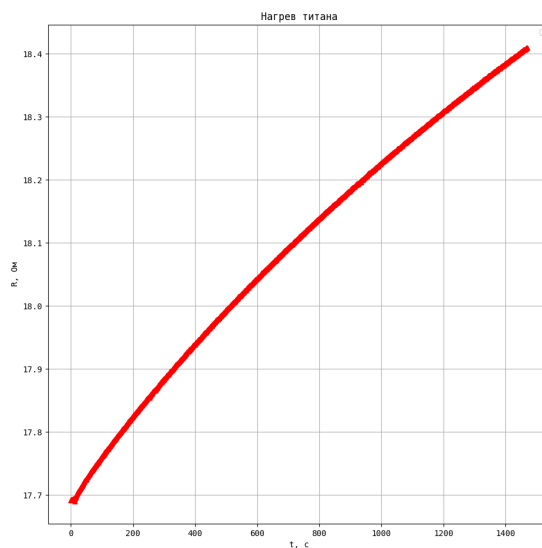
$$R_0 = 17,84 \pm 0,01 \text{ Ом}, \quad t_0 = 21,9^\circ \pm 1^\circ C$$

$$U = 36 \text{ В}, \quad I = 0,3 \text{ А}, \quad P = 10,8 \text{ Вт}$$

Построим графики зависимости $R(t)$ для полученных данных (Рис. 3).



Нагрев калориметра



Нагрев титана

Экстраполируем полученные зависимости полиномом второй степени до значений $R = R_K$ и вычислим значения $\left(\frac{dR}{dt}\right)_{T=T_K}$ с использованием полученной формулы.

Вычисляем теплоемкость по формуле выше:

| | | | |
|------------|--|------------|------------------------|
| | Уравнение экстраполяции | R_k , Ом | $(dR/dt)_{R_k}$, Ом/с |
| Калориметр | $y = -0,0000001x^2 - 0,0008x + 17,589$ | 18,34 | 0,00080 |
| Титан | $y = -0,0000001x^2 - 0,0006x + 17,699$ | 18,41 | 0,00059 |

Таблица 2: Экстраполяция

| | | |
|------------|-----------------------|--------------------------------|
| | Теплоемкость, Дж/кг·К | Тепл. без калориметра, Дж/кг·К |
| Калориметр | 212,65 | - |
| Титан | 772,40 | 559,75 |

Таблица 3: Результат вычислений теплоемкости

Итого:

$$C_{\text{титан}} = (559,75 \pm 19,51) \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Обсуждение результатов

В пределах погрешности удельная теплоемкость титана $C_{\text{титан}}$ близка к табличному значению

$$C_{\text{титан}_0} = 523 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$$

Выводы

- В ходе работы были измерены теплоемкости калориметра, образца из титана.
- Основной вклад в (не)точность результата внесла погрешность экстраполяции.
- Экспериментально проверена работоспособность предложенной методики измерения.