

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра общей и технической физики

Лаборатория виртуальных экспериментов

Отчет по лабораторной работе №10

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ»

Выполнила: студентка гр. ИЗБ-22-1 _____

Оценка: _____

Дата: _____

Проверил: _____
(должность)

(подпись)

/ _____ /
(Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2023

Цель работы

1. Определить температуру металлической проволоки при протекании через неё электрического тока;
2. Измерить удлинение проволоки при нагревании;
3. Определить коэффициент линейного термического расширения.

Краткие теоретические сведения

Явления, изучаемые в работе

1. Нагревание проводника при прохождении через него электрического тока;
2. Удлинение проводника при нагревании.

Основные определения

Коэффициент линейного расширения – физическая величина, равная отношению изменению линейного размера тела при изменении температуры тела на один кельвин.

Ток – упорядоченное движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля.

Сила тока - скалярная физическая величина, численно равная заряду, проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени.

Напряжение между двумя точками электрической цепи равно работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной точки в другую.

Коэффициент термического расширения – величина, характеризующая относительную величину изменения объема или линейных размеров тела с увеличением температуры на 10 К при постоянном давлении.

Упругость свойство тел изменять форму и размеры (деформироваться) под действием нагрузок и самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры при прекращении внешних воздействий.

Деформацией называют любое изменение размеров и формы тела.

Тепловым (температурным) расширением называется изменение линейных размеров тел при изменении температуры этих тел.

Деформация называется упругой, если она исчезает после удаления вызвавшей её нагрузки (то есть тело возвращается к первоначальным размерам и форме), и пластической, если после снятия нагрузки деформация не исчезает (или исчезает не полностью).

Твёрдое тело – агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы и характером теплового движения атомов отличающееся от других возможных агрегатных состояний (плазма, газ, жидкость)

Экспериментальная установка

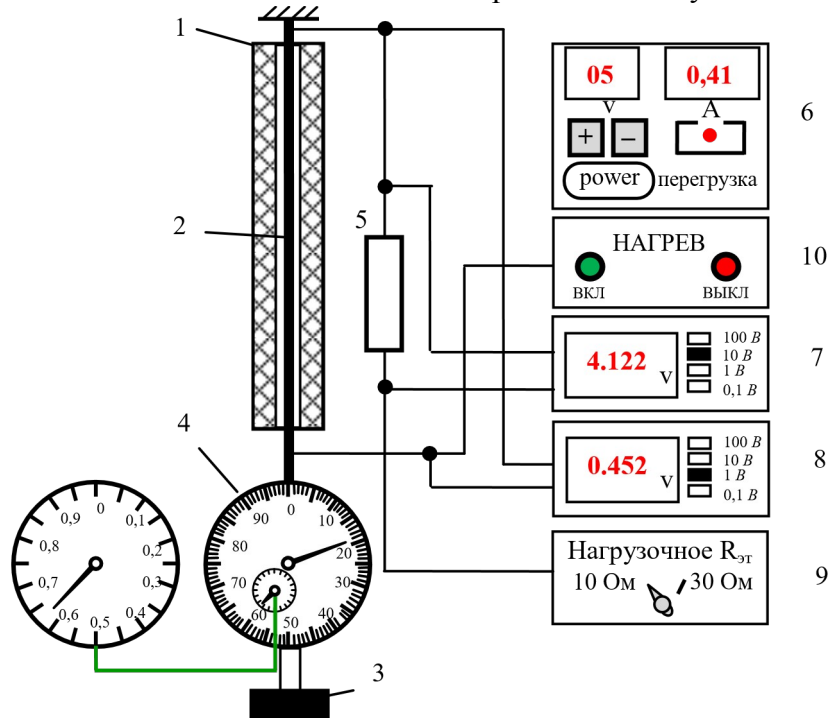


Схема установки показана на рисунке 5. Пояснения к схеме: 1 – теплоизоляционная трубка; 2 – исследуемая проволока; 3 – груз для поддержания проволоки в натянутом состоянии; 4 – микрометрический индикатор; 5 – нагрузочное (эталонное) сопротивление; 6 – блок питания; 7 – цифровой вольтметр измеряющий падение напряжения на нагрузочном сопротивлении; 8 – цифровой вольтметр измеряющий падение напряжения на проволоке; 9 – пульт переключения нагрузочного сопротивления (10 Ом или 30 Ом); 10 – пульт "НАГРЕВ" позволяет подключать/отключать ток в цепи, не выключая источник питания.

Исходные данные:

- проволока - материал алюминий;
- $d = 0,2$ мм;
- коэффициент теплоотдачи = $0,6$ Вт/м² ;
- $l_0 = 1$ метр;

Погрешность прямых измерений:

$$\triangle l = 0,5 \text{ мкм}$$

$$\triangle U_{\text{пр}} = 0,01 \text{ В}$$

$$\triangle U_{\text{эт}} = 0,01 \text{ В}$$

$$\triangle I = 0,01 \text{ А}$$

$$\triangle U = 1 \text{ В}$$

Результаты измерений и вычислений

| U _{эт} | U _{пр} | I | R _{пр.0} | ΔI , мкМ | | | | |
|------------------|-----------------|-------------|-------------------|------------------|-------------|-----------------|-------------|----------------------------|
| 0,97 | 0,02 | 0,03233 | 0,61862 | 0 | | | | |
| 1,94 | 0,05 | 0,06 | 0,833333 | 0 | | | | |
| Среднее | | | 0,725977 | | | | | |
| U _{эт} | U _{пр} | I | R _{пр.t} | ΔI , мкМ | t, °C | Δt , °C | α | ρ , кг/М ³ |
| Нагревание | | | | | | | | |
| 4,59 | 0,4 | 0,46 | 0,87146 | 28 | 67,71331 | 47,71331 | 5,86838E-07 | 2,6897582E+03 |
| 9,17 | 0,82 | 0,92 | 0,89422 | 89 | 75,17799 | 55,17799 | 1,61296E-06 | 2,6883124E+03 |
| 13,75 | 1,24 | 1,38 | 0,901818 | 169 | 77,66984 | 57,66984 | 2,93047E-06 | 2,6878297E+03 |
| 18,33 | 1,66 | 1,83 | 0,905619 | 309 | 78,91644 | 58,91644 | 5,24472E-06 | 2,6875882E+03 |
| 22,89 | 2,1 | 2,29 | 0,917431 | 482 | 82,79036 | 62,79036 | 7,67634E-06 | 2,6868379E+03 |
| 27,43 | 2,56 | 2,74 | 0,933285 | 1274 | 87,98977 | 67,98977 | 1,87381E-05 | 2,6858308E+03 |
| 31,95 | 3,04 | 3,2 | 0,951487 | 1978 | 93,95939 | 73,95939 | 2,67444E-05 | 2,6846745E+03 |
| 36,45 | 3,54 | 3,65 | 0,971193 | 2504 | 100,4225 | 80,42251 | 3,11356E-05 | 2,6834226E+03 |
| 40,92 | 4,07 | 4,09 | 0,994624 | 3650 | 108,1068 | 88,10681 | 4,1427E-05 | 2,6819342E+03 |
| 45,36 | 4,63 | 4,54 | 1,020723 | 4819 | 116,6665 | 96,66653 | 4,98518E-05 | 2,6802763E+03 |
| Охлаждение | | | | | | | | |
| 40,92 | 4,07 | 4,09 | 0,994624 | 3659 | 108,1068 | 88,10681 | 4,15291E-05 | 2,6819342E+03 |
| 36,45 | 3,54 | 3,65 | 0,971193 | 2513 | 100,4225 | 80,42251 | 3,12475E-05 | 2,6834226E+03 |
| 31,95 | 3,04 | 3,2 | 0,951487 | 1982 | 93,95939 | 73,95939 | 2,67985E-05 | 2,6846745E+03 |
| 27,43 | 2,56 | 2,74 | 0,933285 | 1881 | 87,98977 | 67,98977 | 2,76659E-05 | 2,6858308E+03 |
| 22,89 | 2,1 | 2,29 | 0,917431 | 1794 | 82,79036 | 62,79036 | 2,85713E-05 | 2,6868379E+03 |
| 18,33 | 1,66 | 1,83 | 0,905619 | 1724 | 78,91644 | 58,91644 | 2,92618E-05 | 2,6875882E+03 |
| 13,75 | 1,24 | 1,38 | 0,901818 | 1575 | 77,66984 | 57,66984 | 2,73106E-05 | 2,6878297E+03 |
| 9,17 | 0,82 | 0,92 | 0,89422 | 1482 | 75,17799 | 55,17799 | 2,68585E-05 | 2,6883124E+03 |
| 4,59 | 0,4 | 0,46 | 0,87146 | 1399 | 67,71331 | 47,71331 | 2,9321E-05 | 2,6897582E+03 |
| Средние значения | | | | | | | | |
| 24,01684211 | 2,288947368 | 2,403157895 | 0,931736695 | 1753,210526 | 87,48207265 | 67,48207265 | 2,39217E-05 | 2,6859291E+03 |

Расчетные формулы:

$$1. R_{\text{эт}} = \frac{U_{\text{эт}}}{I}, \text{ Ом, где}$$

$U_{\text{эт}}$ - показания верхнего (на стенде) вольтметра, В;

$$2. R_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I} = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{эт}}} \cdot R_{\text{эт}}, \text{ Ом, где}$$

$U_{\text{пр}}$ - показания нижнего (на стенде) вольтметра, В;

$$3. t = 20 + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{R_{\text{пр.t}}}{R_0} - 1 \right), \text{ °C, где}$$

λ – термический коэффициент сопротивления, К⁻¹,

$R_{\text{пр.t}}$ – сопротивление проволоки при разных температурах, Ом,

R_0 – начальное сопротивление проволоки, определяется как среднее при напряжении 1 и 2 В, Ом;

$$4. \alpha = \frac{l-l_0}{l_0 \Delta T}, \text{ K}^{-1}, \text{ где}$$

$l-l_0$ – удлинение проволоки, м,

l – начальная длина проволоки, м,

ΔT – изменение температуры, К,

α – коэффициент линейного термического расширения исследуемого материала;

$$5. \alpha_V = 3 \cdot \alpha_l, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, \text{ где}$$

α_l – коэффициент линейного термического расширения материала $^\circ\text{C}^{-1}$,

α_V – коэффициент объемного термического расширения тела, $^\circ\text{C}^{-1}$;

$$6. \rho = \rho_0 (1 - \alpha_V \Delta T), \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \text{ где}$$

ρ_0 – исходная плотность тела при температуре $T_1, \text{ кг/м}^3$,

ρ – плотность тела при температуре $T_2, \text{ кг/м}^3$,

α_V – коэффициент объемного термического расширения тела,

ΔT – изменение температуры тела.

Формулы погрешности косвенных измерений:

$$1. \Delta R_{np} = R_{np\text{cp}} * \sqrt{\left(\frac{\Delta U_{np}}{U_{np\text{cp}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U_{эм}}{U_{эм\text{cp}}}\right)^2};$$

$$2. \Delta \Delta t_{np}^\circ = t_{np\text{cp}}^\circ * \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{np}}{R_{np\text{cp}}}\right)^2};$$

$$3. \Delta \alpha = \alpha_{cp} * \sqrt{\left(\frac{\Delta l_y}{l_{y\text{cp}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Delta t_{np}^\circ}{\Delta t_{np\text{cp}}^\circ}\right)^2}$$

$$4. \Delta \rho = \rho_{cp} * \sqrt{\left(\frac{\Delta \Delta t_{np}^\circ}{\Delta t_{np\text{cp}}^\circ}\right)^2}$$

Расчеты

Пример:

$$R_{np0} = \frac{0,02}{0,03} = 0,618620476$$

$$R_{np0} = \frac{0,05}{0,06} = 0,833333333$$

$$R_{np0\text{cp}} = \frac{(0,618620476 + 0,833)}{2} = 0,725977, \text{ Ом}$$

$$t = 20 + \frac{1}{4,2 * 10^{(-3)}} * \left(\frac{0,87146}{0,725977} - 1\right) = 67,71331 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 67,71331 - 20 = 47,71331 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\alpha = \frac{28 \cdot 10^{-6}}{47,71331} = 5,86838 \cdot 10^{-7}$$

$$\alpha_v = 3 \cdot 2,39217 \cdot 10^{-5} =$$

$$\rho = 2699 \cdot 2,6897582 \cdot 10^3$$

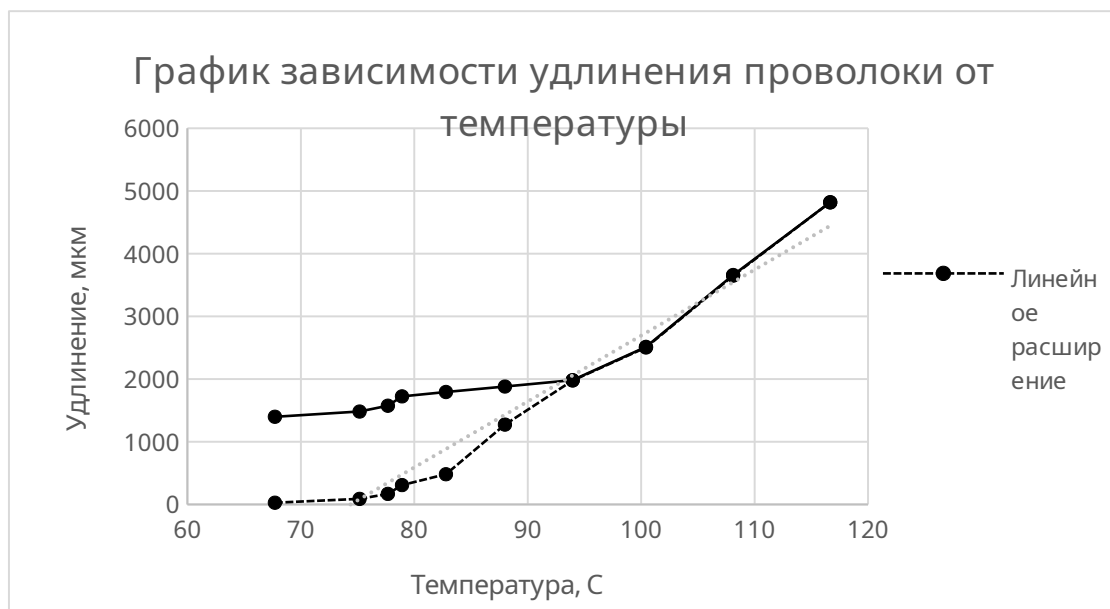
Расчёт погрешности косвенных измерений:

$$1. \Delta R_{np} = 0,931737 \text{ Ом} * \sqrt{\left(\frac{0,001 \text{ В}}{2,288947 \text{ В}}\right)^2 + \left(\frac{0,01 \text{ В}}{24,01684211 \text{ В}}\right)^2} = 0,000408904 \text{ Ом}$$

$$2. \Delta \Delta t_{np} = 67,48207 \text{ °C} * \sqrt{\left(\frac{0,0006 \text{ Ом}}{0,931737 \text{ Ом}}\right)^2} = 0,043455671 \text{ °C}$$

$$3. \Delta \alpha = 2,39217 \text{E-}05 \text{ (°C)}^{-1} * \sqrt{\left(\frac{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{1753,211 \cdot 10^{-6} \text{ м}}\right)^2 + \left(\frac{0,04345567 \text{ °C}}{67,48207 \text{ °C}}\right)^2} = 1,68477 \text{E-}08 \text{ (°C)}^{-1}$$

$$\Delta \rho = 2,6859291 \cdot 10^3 * \sqrt{\left(\frac{0,0006}{87,48207265}\right)^2} = 7,0341341 \text{E+}00 \text{ кг/м}^3$$



Вывод

В ходе лабораторной работы был получен коэффициент линейного термического расширения и плотность алюминиевой проволоки, равные:

$$\alpha = (2,39217 \pm 0,00167477) \cdot 10^{-6} \text{ (°C)}^{-1}$$

$$\rho = (2,6859291 \cdot 10^3 \pm 7,0341341) \text{ кг/м}^3.$$