

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

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Выполнил: студент группы ПГС-21-2

(подпись)

/ Мантур А.А./

(Ф.И.О)

Проверил: _____

(подпись)

/ _____ /

(Ф.И.О)

Санкт-Петербург
2021

1. Цель работы

- 1) определить температуру металлической проволоки при протекании через нее электрического тока;
- 2) измерить удлинение проволоки при нагревании;
- 3) определить коэффициент линейного и объёмного термического расширения;
- 4) рассчитать плотность исследуемого образца металла.

2. Краткое теоретическое содержание

Явления, изучаемые в работе.

- 1) нагревание проводника при прохождении через него электрического тока;
- 2) удлинение проводника при нагревании

Определения основных физических понятий, объектов, процессов и величин.

1. *Коэффициент объёмного расширения* – вид коэффициента теплового расширения, подразумевающее общее изменение размеров тела в функции температуры.
2. *Коэффициент линейного расширения* – физическая величина, равная относительному изменению линейного размера тела при изменении температуры тела на один кельвин.
3. *Ток* – упорядоченное движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля.
4. *Сила тока* - скалярная физическая величина, численно равная заряду проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени.
5. *Физический смысл ρ* – сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м².
6. *Напряжение* между двумя точками электрической цепи - равно работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной точки в другую.
7. *Коэффициент термического расширения* – величина, характеризующая относительную величину изменения объема или линейных размеров тела с увеличением температуры на 1° К, при постоянном давлении.

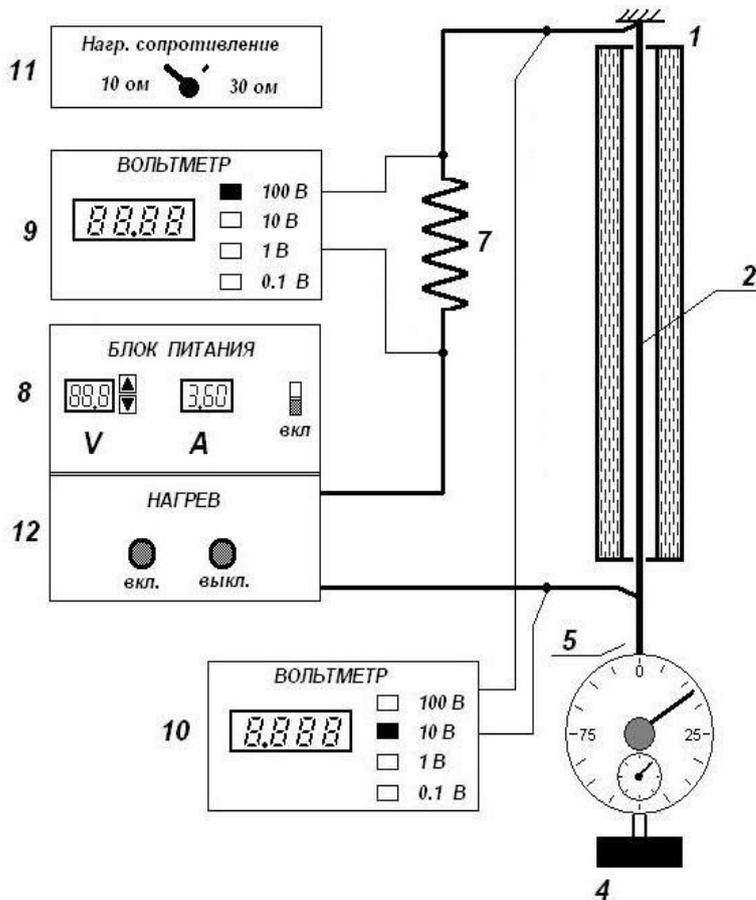
Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых получены расчетные формулы. Пояснения к физическим величинам и их единицы измерений.

1. *Закон Ома*: сила тока в однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к участку, и обратно пропорциональна электрическому сопротивлению этого участка.

$$I = \frac{U}{R},$$

где I – сила тока, [I]=А; U – напряжение, [U]=В; R – сопротивление, [R]=Ом.

3. Схема установки



1. Трубка, уменьшающая тепловые потери при нагревании
2. Исследуемая проволока
4. Груз, поддерживающий проволоку в натянутом состоянии
5. Микрометрический индикатор, показывающий удлинение проволоки
8. Регулируемый блок питания
- 9,10. Цифровые вольтметры
12. Пульт "Нагрев"

4. Основные расчетные формулы

1. Изменение длины тела

$$\Delta l = l_0 \alpha_l \Delta T$$

где α_l – коэффициент линейного термического расширения заданного преподавателем материала, $[\alpha_l] = \text{K}^{-1}$; ΔT – изменение температуры, $[\Delta T] = \text{K}$, l_0 – исходная длина проволоки при комнатной температуре, $[l_0] = \text{м}$, $l_0 = 1 \text{ м}$.

2. Сопротивление проволоки

$$R = R_0 (1 + \lambda \cdot \Delta T)$$

где λ – коэффициент термического сопротивления, $[\lambda] = \text{K}^{-1}$; ΔT – изменение температуры, $[\Delta T] = \text{K}$; R – сопротивление, $[R] = \text{Ом}$.

$$R_{\text{пр.т}} = \frac{U_{\text{пр}}}{I} = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{эт}}} \cdot R_{\text{эт}}$$

где $U_{\text{эт}}$ – напряжение нагрузочного сопротивления, показания верхнего (на стенде) вольтметра, $[U_{\text{эт}}]=\text{В}$; $U_{\text{пр}}$ – напряжение на проволоке, показания нижнего (на стенде)

$$I = \frac{U_{\text{эт}}}{R_{\text{эт}}}$$

вольтметра, $[U_{\text{пр}}]=\text{В}$; ток в цепи

3. Температура, соответствующая каждому значению сопротивления

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

где λ – термический коэффициент сопротивления исследуемой проволоки, $[\lambda]=\text{К}^{-1}$; R_0 – сопротивление проволоки, $[R]=\text{Ом}$, определяется как среднее при напряжении 1 и 2 В.

$$R_0 = \frac{U_{\text{пр}}}{I}$$

4. Коэффициент линейного термического расширения исследуемого материала

$$\alpha_l = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T},$$

где l_0 – исходная длина проволоки при комнатной температуре, $[l_0]=\text{м}$, $l_0 = 1$ м; ΔT – изменение температуры, $[\Delta T]=\text{К}$; Δl – изменение длины проводника, $[\Delta l]=\text{м}$.

Коэффициент объёмного термического расширения исследуемого материала

5.

$$\alpha_V = 3 \cdot \bar{\alpha}_l,$$

где $\bar{\alpha}_l$ – усреднённый коэффициент линейного термического расширения.

6. Плотность материала при изменении температуры

$$\rho = \rho_0 (1 - \alpha_V \Delta T),$$

где $[\rho]=\text{кг/м}^3$.

5. Погрешности косвенных измерений

1. Погрешность измерения эталонного сопротивления

$$\Delta R_{\text{эт.}} = R_{\text{эт.}} \cdot \left(\frac{\Delta V_{\text{эт.}}}{V_{\text{эт.}}} + \frac{\Delta I}{I} \right),$$

где $U_{\text{эт}}$ – напряжение нагрузочного сопротивления, показания верхнего (на стенде) вольтметра, $[U_{\text{эт}}]=\text{В}$; I – сила тока, $[I]=\text{А}$.

2. Погрешность измерения сопротивления проволоки

$$\Delta R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}} \cdot \left(\frac{\Delta V_{\text{пр.}}}{V_{\text{пр.}}} + \frac{\Delta R_{\text{эт.}}}{R_{\text{эт.}}} + \frac{\Delta V_{\text{эт.}}}{V_{\text{эт.}}} \right),$$

где $U_{\text{эт}}$ – напряжение нагрузочного сопротивления, показания верхнего (на стенде) вольтметра, $[U_{\text{эт}}]=\text{В}$; $U_{\text{пр}}$ – напряжение на проволоке, показания нижнего (на стенде) вольтметра, $[U_{\text{пр}}]=\text{В}$; $R_{\text{эт}}$ – эталонное сопротивление, $[R_{\text{эт}}]=\text{Ом}$.

3. Погрешность измерения рассчитываемой температуры

$$\Delta t = t \cdot \left(\frac{\Delta R_{\text{пр.т}}}{R_{\text{пр.т}}} + \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{2\Delta\lambda}{\lambda} \right),$$

где λ – термический коэффициент сопротивления исследуемой проволоки, $[\lambda]=\text{К}^{-1}$; R_0 – сопротивление проволоки, $[R]=\text{Ом}$, определяется как среднее при напряжении 1 и 2 В.

4. Погрешность измерения расчета коэффициента линейного расширения

$$\Delta \alpha_l = \alpha_l \cdot \left(\frac{\Delta \delta L}{\delta L} + \frac{\Delta L_0}{L_0} + \frac{\Delta \delta t}{\delta t} \right),$$

где l_0 – исходная длина проволоки при комнатной температуре, $[l_0]=\text{м}$, $l_0 = 1 \text{ м}$; ΔT – изменение температуры, $[\Delta T]=\text{К}$; Δl – изменение длины проводника, $[\Delta l]=\text{м}$.

5. Погрешность измерения расчета плотности

$$\Delta \rho = \rho \left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta t}{t} \right),$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, $[\rho]=\text{Ом}\cdot\text{м}$; α_l – коэффициент линейного термического расширения исследуемого материала; ΔT – изменение температуры, $[\Delta T]=\text{К}$.

6. Таблицы

Таблица 1

Физ. величина	U	$U_{эм}$	$U_{пр}$	I	$R_{пр.т}$	T	Δl	α_l	ρ
Номер\ Единица измерения	В	В	В	А	Ом	°С	м* 10 ⁻⁶	°С ⁻¹	кг/м ³
$R_{эм} = 30 \text{ Ом}$									
1	1	0,97	0,02	0,03	0,62	-21,27	0	0	0
2	2	1,94	0,05	0,06	0,77	26,35	0	0	0
$R_{эм} = 10 \text{ Ом}$									
3	5	4,58	0,41	0,46	0,90	67,62	15	0,31 $\times 10^{-6}$	2697,5
4	10	9,17	0,82	0,92	0,89	64,44	59	1,33 $\times 10^{-6}$	2697,7
5	15	13,74	1,25	1,37	0,91	70,79	135	2,66 $\times 10^{-6}$	2697,3
6	20	18,29	1,70	1,83	0,93	77,14	243	4,25 $\times 10^{-6}$	2696,9
7	25	22,82	2,17	2,28	0,95	83,49	389	6,13 $\times 10^{-6}$	2696,7
8	30	27,31	2,68	2,73	0,98	93,02	575	7,87 $\times 10^{-6}$	2696,1
9	35	31,76	3,23	3,18	1,02	105,71	806	9,40 $\times 10^{-6}$	2695,5
10	40	36,15	3,84	3,62	1,06	118,41	1091	11,09 $\times 10^{-6}$	2694,8
11	45	40,46	4,53	4,05	1,12	137,46	1437	12,24 $\times 10^{-6}$	2693,8
12	50	44,69	5,30	4,47	1,19	159,68	1858	13,30 $\times 10^{-6}$	2692,6
13	45	40,46	4,53	4,05	1,12	137,46	1437	12,24 $\times 10^{-6}$	2693,8
14	40	36,15	3,84	3,62	1,06	118,41	1091	11,09 $\times 10^{-6}$	2694,8
15	35	31,76	3,23	3,18	1,02	105,71	806	9,40 $\times 10^{-6}$	2695,5
16	30	27,31	2,68	2,73	0,98	93,02	575	7,87 $\times 10^{-6}$	2696,1

17	25	22,82	2,17	2,28	0,95	83,49	389	$6,13 \times 10^{-6}$	2696,7
18	20	18,29	1,70	1,83	0,93	77,14	244	$4,25 \times 10^{-6}$	2697,0
19	15	13,74	1,25	1,37	0,91	70,79	136	$2,66 \times 10^{-6}$	2697,3
20	10	9,17	0,82	0,92	0,89	64,44	60	$1,33 \times 10^{-6}$	2697,7
21	5	4,58	0,41	0,46	0,90	67,62	15	$0,31 \times 10^{-6}$	2697,5

7. Пример вычисления

Исходные данные:

1. Материал алюминий
2. $d=0,5$ мм
3. Коэффициент теплоотдачи равен $0,3$ Вт/ m^2
4. $\Delta l=0,5$ мкм
5. $\Delta I=0,01$ А
6. $\Delta U_{эм}=0,01$ В
7. $\Delta U_{np}=0,01$ В
8. $\hat{\alpha}_l=4,2 \times 10^{-3}$ °C $^{-1}$
9. $\rho=2,7 \times 10^3$ кг/ m^3

Пример вычисления для таблицы 1 опыта 1:

$$R_{np.t} = \frac{U_{np}}{I} = \frac{U_{np}}{U_{эг}} \cdot R_{эг} = \frac{0,02}{0,97} \cdot 30 = 0,62 \text{ Ом}$$

$$R_{01} = \frac{U_{np}}{I} = \frac{0,02}{0,03} = 0,67 \text{ Ом}$$

$$R_{02} = \frac{U_{np}}{I} = \frac{0,05}{0,06} = 0,83 \text{ Ом}$$

$$R_{cp} = (R_{01} + R_{02}) \div 2 = 0,75 \text{ Ом}$$

$$t = 20 + \frac{1}{\lambda} \cdot \left(\frac{R_{np.t}}{R_0} - 1 \right) = 20 + \frac{1}{0,0042} \left(\frac{0,62}{0,75} - 1 \right) = -21,27 \text{ °C}$$

$$\alpha_l = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{\Delta T} = \frac{1}{147,62} = 0,31 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$$

$$\bar{\alpha}_l = 6,52 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$$

$$\alpha_V = 3 \cdot \bar{\alpha}_l = 3 \cdot 6,52 \cdot 10^{-6} = 19,56 \cdot 10^{-6}$$

$$\rho = \rho_0 (1 - \alpha_V \Delta T) = 2,7 \cdot 10^3 (1 - 19,56 \cdot (10^{-6}) \cdot 47,62) = 2697,5$$

Расчеты погрешностей косвенных измерений:

$$\Delta R_{\text{эт.}} = R_{\text{эт.}} \cdot \left(\frac{\Delta V_{\text{эт.}}}{V_{\text{эт.}}} + \frac{\Delta I}{I} \right) = 10 \cdot \left(\frac{0,01}{22,18} + \frac{0,01}{2,39} \right) \dot{=} 0,046 \text{ Ом}$$

$$\Delta R_{\text{пр.}} = R_{\text{пр.}} \cdot \left(\frac{\Delta V_{\text{пр.}}}{V_{\text{пр.}}} + \frac{\Delta R_{\text{эт.}}}{R_{\text{эт.}}} + \frac{\Delta V_{\text{эт.}}}{V_{\text{эт.}}} \right) = 0,86 \cdot \left(\frac{0,01}{2,45} + \frac{0,046}{10} + \frac{0,01}{22,18} \right) \dot{=} 0,008 \text{ Ом}$$

$$\Delta t = \Delta R_{\text{пр.}} \cdot \left(\frac{1}{\dot{=} R_0} \right) \dot{=} 0,008 \cdot \left(\frac{1}{4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,75} \right) \dot{=} 2,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta \alpha_l = \alpha_l \cdot \left(\frac{\Delta \delta L}{\delta L} + \frac{\Delta L_0}{L_0} + \frac{\Delta \delta t}{\delta t} \right) = 6,52 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{598 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{1} + \frac{2,54}{78,88} \right) = 2,2 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta \rho = \rho \cdot \left(\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta t}{t} \right) = 2696,1 \cdot \left(\frac{2,2 \cdot 10^{-7}}{6,52 \cdot 10^{-6}} + \frac{2,54}{78,88} \right) = 177,8 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{|\rho_{\text{ср}} - \rho_{\text{эксн}}|}{\rho_{\text{ср}}} \cdot 100\% = 0,1\%$$

$$\frac{|\alpha_{\text{ср}} - \alpha_{\text{эксн}}|}{\alpha_{\text{ср}}} \cdot 100\% = \frac{22,2 - 19,56}{22,2} \cdot 100\% = 11,9\%$$

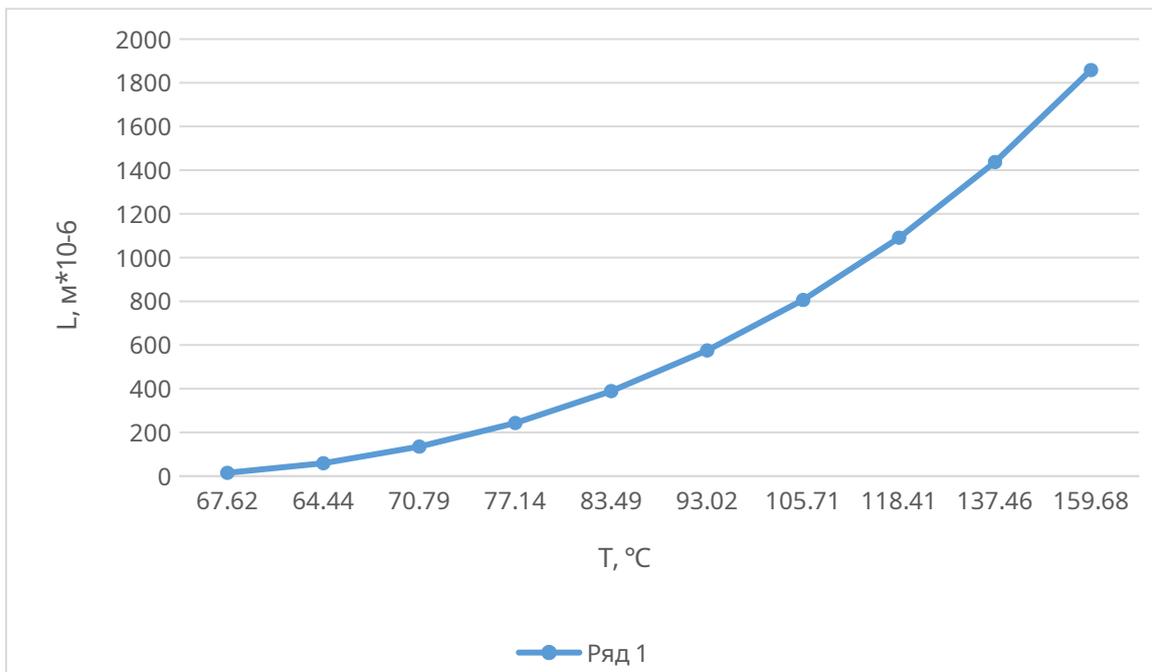
$$\frac{|\Delta \rho|}{\rho} \cdot 100\% = \frac{177,8}{2696,1} \cdot 100\% = 6,5\%$$

$$\frac{|\Delta \alpha|}{\alpha} \cdot 100\% = \frac{0,22}{6,52} \cdot 100\% = 3,4\%$$

8. График

График 1.

Зависимости длины проводника от температуры.



9. Результат

$$\alpha_l = (19,56 \pm 0,22) * 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\rho = 2696,1 \pm 177,8 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{|\rho_{\text{ср}} - \rho_{\text{экс}}|}{\rho_{\text{ср}}} \cdot 100\% = 0,1\%$$

$$\frac{|\alpha_{\text{ср}} - \alpha_{\text{экс}}|}{\alpha_{\text{ср}}} \cdot 100\% = 11,9\%$$

$$\frac{|\Delta\rho|}{\rho} \cdot 100\% = 6,5\%$$

$$\frac{|\Delta\alpha|}{\alpha} \cdot 100\% = 3,4\%$$

10. Вывод

Выполнив данную лабораторную работу, я рассчитала коэффициент термического линейного расширения твердого тела и экспериментально рассчитала плотность алюминия. Я получила результат, что справочные данные отличаются от экспериментальных на 11,9% и 0,1%. Эти погрешности являются маленькими и допустимыми и входят в доверительный интервал.