



Московский Физико-Технический Институт
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

Измерение теплопроводности воздуха при атмосферном давлении

Работа №2.2.3; дата: 25.03.22

Семестр: 2

Выполнил:
Кошелев Александр

Группа:
Б05-105

1. Аннотация

Цель работы:

Измерить коэффициент теплопроводности воздуха при атмосферном давлении в зависимости от температуры.

Схема установки:

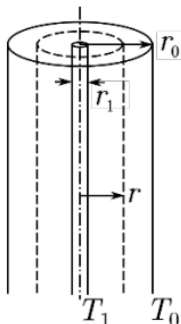


Рис. 1: Схема установки

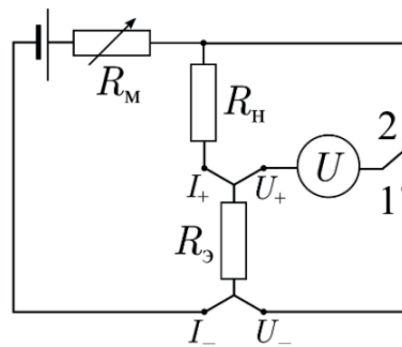


Рис. 2: Электрическая схема установки

В работе используются:

Цилиндрическая колба с натянутой по оси нитью, термостат, вольтметр и амперметр (цифровые мультиметры), эталонное сопротивление, источник постоянного напряжения, реостат (или магазин сопротивлений).

2. Теоретические сведения

Тепловой поток через воздух в цилиндрическом сосуде можно рассчитать по формуле:

$$q = \frac{2\pi L}{\ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)} \kappa \Delta T = \frac{1}{\beta} \kappa \Delta T$$

Теперь продифференцируем это выражение:

$$\kappa = \beta \frac{dq}{d(\Delta T)}$$

Таким образом, если построить график зависимости теплового потока от нити от температуры окружающей среды, то коэффициент наклона графика будет пропорционален коэффициенту теплопроводности k .

Используя схему 2 теплоту, производимую на нити можно определить по закону Джоуля-Ленца:

$$q = IU$$

Сопротивление же нити получим по закону Ома:

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

Также отметим, что сопротивление нити меняется по температурному закону:

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

3. Проведение эксперимента

Основные параметры при проведении эксперимента

Основными параметрами в данной работе являются эталонное сопротивление $R_s = 10 \text{ Ом}$, логарифм отношения радиусов цилиндра $\ln \frac{r_0}{r_1} = 5.30$ и длина нити $L = 365 \text{ мм}$.

Проверка линейности зависимости сопротивления от температуры

| $t = 21.4^\circ\text{C}$ | | | |
|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|
| $U_0, \text{ мВ}$ | $U_{\text{н}}, \text{ мВ}$ | $R_{\text{н}}, \text{ Ом}$ | $q, \text{ мВт}$ |
| 107.8 ± 0.1 | 107.4 ± 0.1 | 9.96 ± 0.01 | 1.16 ± 0.01 |
| 208.8 ± 0.1 | 208.2 ± 0.1 | 9.97 ± 0.01 | 4.35 ± 0.01 |
| 555.8 ± 0.1 | 558.8 ± 0.1 | 10.05 ± 0.01 | 31.05 ± 0.03 |
| 739.8 ± 0.1 | 749.3 ± 0.1 | 10.13 ± 0.01 | 55.43 ± 0.06 |
| 1104.0 ± 0.1 | 1141.3 ± 0.1 | 10.34 ± 0.01 | 126.00 ± 0.13 |
| 1269.0 ± 0.1 | 1327.8 ± 0.1 | 10.46 ± 0.01 | 168.50 ± 0.17 |
| $t = 30.1^\circ\text{C}$ | | | |
| $U_0, \text{ мВ}$ | $U_{\text{н}}, \text{ мВ}$ | $R_{\text{н}}, \text{ Ом}$ | $q, \text{ мВт}$ |
| 107.7 ± 0.1 | 110.7 ± 0.1 | 10.28 ± 0.01 | 1.19 ± 0.01 |
| 208.5 ± 0.1 | 214.5 ± 0.1 | 10.29 ± 0.01 | 4.47 ± 0.01 |
| 553.7 ± 0.1 | 574.2 ± 0.1 | 10.37 ± 0.01 | 31.79 ± 0.03 |
| 736.2 ± 0.1 | 768.8 ± 0.1 | 10.44 ± 0.01 | 56.60 ± 0.06 |
| 1095.5 ± 0.1 | 1166.6 ± 0.1 | 10.65 ± 0.01 | 127.80 ± 0.13 |
| 1250.8 ± 0.1 | 1355.0 ± 0.1 | 10.83 ± 0.01 | 169.48 ± 0.17 |
| $t = 40.0^\circ\text{C}$ | | | |
| $U_0, \text{ мВ}$ | $U_{\text{н}}, \text{ мВ}$ | $R_{\text{н}}, \text{ Ом}$ | $q, \text{ мВт}$ |
| 128.3 ± 0.1 | 136.6 ± 0.1 | 10.65 ± 0.01 | 1.75 ± 0.01 |
| 208.3 ± 0.1 | 221.9 ± 0.1 | 10.65 ± 0.01 | 4.62 ± 0.01 |
| 552.3 ± 0.1 | 593.0 ± 0.1 | 10.74 ± 0.01 | 32.75 ± 0.04 |
| 733.9 ± 0.1 | 793.0 ± 0.1 | 10.81 ± 0.01 | 58.20 ± 0.06 |
| 1091.0 ± 0.1 | 1200.9 ± 0.1 | 11.01 ± 0.01 | 131.02 ± 0.13 |
| 1250.8 ± 0.1 | 1393.2 ± 0.1 | 11.13 ± 0.01 | 174.37 ± 0.18 |
| $t = 50.0^\circ\text{C}$ | | | |
| $U_0, \text{ мВ}$ | $U_{\text{н}}, \text{ мВ}$ | $R_{\text{н}}, \text{ Ом}$ | $q, \text{ мВт}$ |
| 107.6 ± 0.1 | 118.4 ± 0.1 | 11.00 ± 0.01 | 1.27 ± 0.01 |
| 208.0 ± 0.1 | 229.2 ± 0.1 | 11.02 ± 0.01 | 4.77 ± 0.01 |
| 550.9 ± 0.1 | 611.4 ± 0.1 | 11.10 ± 0.01 | 33.68 ± 0.03 |
| 731.1 ± 0.1 | 816.6 ± 0.1 | 11.17 ± 0.01 | 59.70 ± 0.06 |
| 1084.5 ± 0.1 | 1233.7 ± 0.1 | 11.38 ± 0.01 | 133.79 ± 0.12 |
| 1243.5 ± 0.1 | 1429.5 ± 0.1 | 11.50 ± 0.01 | 177.76 ± 0.16 |
| $t = 60.0^\circ\text{C}$ | | | |
| $U_0, \text{ мВ}$ | $U_{\text{н}}, \text{ мВ}$ | $R_{\text{н}}, \text{ Ом}$ | $q, \text{ мВт}$ |
| 107.5 ± 0.1 | 122.3 ± 0.1 | 11.38 ± 0.01 | 1.31 ± 0.01 |
| 207.8 ± 0.1 | 236.7 ± 0.1 | 11.39 ± 0.01 | 4.92 ± 0.01 |
| 549.2 ± 0.1 | 630.0 ± 0.1 | 11.47 ± 0.01 | 34.60 ± 0.03 |
| 728.2 ± 0.1 | 840.5 ± 0.1 | 11.54 ± 0.01 | 61.21 ± 0.05 |
| 1078.3 ± 0.1 | 1266.5 ± 0.1 | 11.75 ± 0.01 | 136.57 ± 0.12 |
| 1258.2 ± 0.1 | 1495.1 ± 0.1 | 11.88 ± 0.01 | 188.11 ± 0.16 |

Табл. 2: Расчет сопротивления и мощности

Из построения по предыдущей таблице получаем нагрузочные кривые $R(Q)$ для разных температур. Сами графики приводить не будем, оформим в таблицу полученные аппроксимацией значения $R(0)$, соответствующие сопротивлению при данных температурах.

| | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $t, \text{ }^{\circ}\text{C}$ | 21.4 ± 0.1 | 30.1 ± 0.1 | 40.0 ± 0.1 | 50.0 ± 0.1 | 60.0 ± 0.1 |
| $R, \text{ Ом}$ | 9.958 ± 0.005 | 10.270 ± 0.005 | 10.644 ± 0.005 | 11.003 ± 0.005 | 11.377 ± 0.004 |

Табл. 3: Зависимость $R(t)$

Построим график зависимости $R(t)$ для проверки теоретической зависимости.

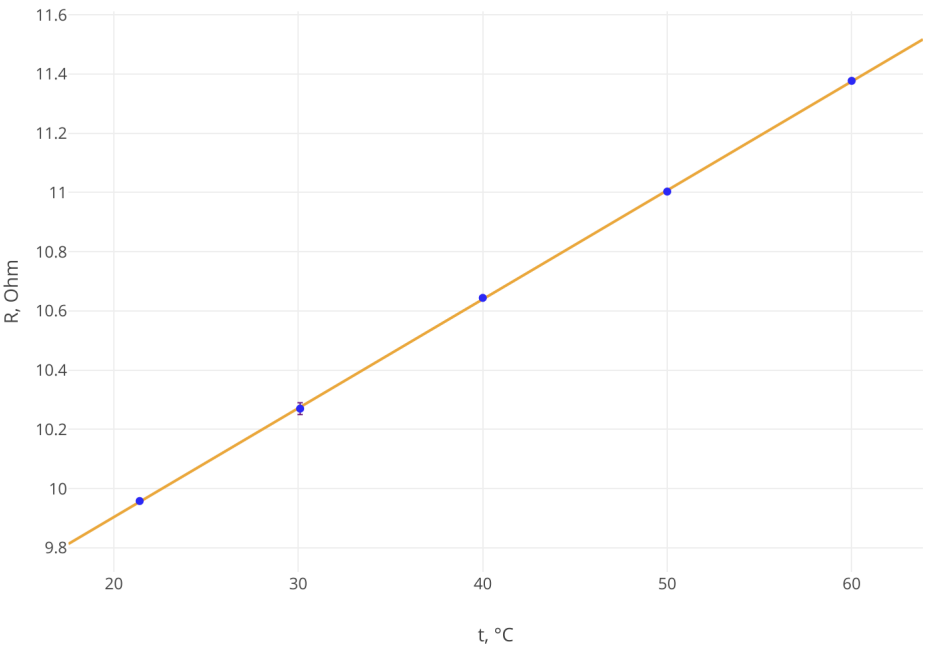


Рис. 3: График зависимости $R(t)$

В самом деле, зависимость получается линейной, как и предполагается теоретически. Можем подсчитать R_0 – сопротивление при реперной температуре и α – коэффициент наклона.

$$R_0 = (9.168 \pm 0.014) \text{ Ом}$$

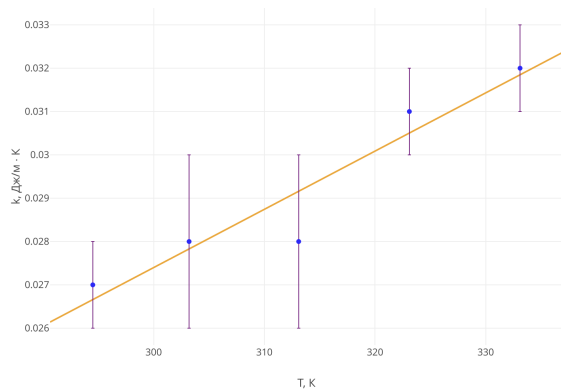
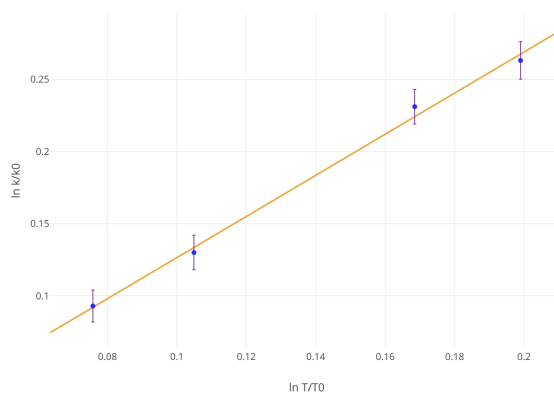
$$\alpha = (0.0368 \pm 0.0003) \text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$$

Определение коэффициента теплопроводности

По графикам для конкретных температур из предыдущего пункта в таблице выпишем соответствующие значения κ и построим график зависимости $\kappa(T)$ в линейных и двойных логарифмических координатах.

| | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $T, \text{ К}$ | 294.5 ± 0.1 | 303.2 ± 0.1 | 313.1 ± 0.1 | 323.1 ± 0.1 | 333.1 ± 0.1 |
| $\ln T/T_0$ | 0.0758 ± 0.0003 | 0.1049 ± 0.0003 | 0.1371 ± 0.0003 | 0.1685 ± 0.0003 | 0.1990 ± 0.0003 |
| $\frac{dR}{dQ}, \text{ Ом/мДж}$ | 0.0030 ± 0.0001 | 0.0032 ± 0.0002 | 0.0031 ± 0.0002 | 0.0028 ± 0.0001 | 0.0027 ± 0.0001 |
| $\frac{dR}{dT}, \text{ Ом/К}$ | 0.0368 ± 0.0003 | | | | |
| $\kappa, \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ | 0.027 ± 0.001 | 0.028 ± 0.002 | 0.028 ± 0.002 | 0.031 ± 0.001 | 0.032 ± 0.001 |
| $\ln \kappa/\kappa_0$ | 0.093 ± 0.011 | 0.130 ± 0.012 | - | 0.231 ± 0.012 | 0.263 ± 0.013 |

Табл. 4: Таблица зависимости $\kappa(T)$

Рис. 4: Зависимость $\kappa(T)$ Рис. 5: Зависимость $\ln \kappa/\kappa_0(\ln T/T_0)$

Если считать заранее известным вид зависимости, можно экстраполировать график Рис. 4 и получить значение κ_0 соответствующее 0°C . Явно заметна точка, значение которой – случайный выброс. Ее уберем из рассмотрения. Таким образом, из этих графиков получаем зависимость

$$\kappa \sim T^\lambda, \quad \lambda = (1.42 \pm 0.13)$$

4. Выводы

- 1) В результате работы получены и представлены в таблице 4 значения теплопроводности воздуха.
- 2) В предположении $\kappa \sim T^\lambda$ получено значение $\lambda = \lambda = (1.42 \pm 0.13)$. Этот результат не согласуется с теорией, т.к теоретически зависимость вида $\kappa \sim \sqrt{T}$. Объяснить такую ошибку можно случайными ошибками при проведении эксперимента, или неучтенными систематическими эффектами, влияющими на результат.