

Лабораторная работа 2.2.3
Определение теплопроводности воздуха при
атмосферном давлении

Кагарманов Радмир Б01-106

19 марта 2022 г.

Цель работы: измерить коэффициент теплопроводности воздуха при атмосферном давлении в зависимости от температуры.

В работе используется: цилиндрическая колба с натянутой по оси нитью; термостат; вольтметр; эталонное сопротивление; источник постоянного напряжения; магазин сопротивлений.

Теоретические сведения

Теплопроводность — это процесс передачи тепловой энергии от нагретых частей системы к холодным за счёт хаотического движения частиц среды.. Перенос тепла описывается законом Фурье, утверждающим, что плотность потока энергии $\vec{q}[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}]$ пропорционально градиенту температуры ∇T .

$$\vec{q} = -\kappa \cdot \nabla T \quad (1)$$

где κ - коэффициент теплопроводности.

Пусть тонкая нить радиусом r_1 и длиной L помещена на оси цилиндра радиусом r_0 . Температура стенок цилиндра T_0 поддерживается постоянной. Пусть в нити выделяется некоторая тепловая мощность Q . r - расстояние до оси. Полный поток тепла будет равен $Q = qS$:

$$Q = -2\pi r L \cdot \kappa \frac{dT}{dr} = \text{const} \quad (2)$$

Интегрируя от радиуса нити до радиуса колбы, получаем:

$$Q = \frac{2\pi L}{\ln(\frac{r_0}{r_1})} \kappa \cdot \Delta T \quad (3)$$

Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 1. На оси полый цилиндрической трубки с внутренним диаметром $2r_0$ размещена металлическая нить диаметром $2r_1$ и длиной L . Стенки трубки помещены в кожух, через которых пропускается вода из термостата, так что их температура t_0 поддерживается постоянной.

Металлическая нить служит как источником тепла, так и датчиком температуры (термометром сопротивления). По пропускаемому через нить постоянному току I и напряжению U на ней вычисляется мощность нагрева по закону Джоуля–Ленца:

$$Q = UI \quad (4)$$

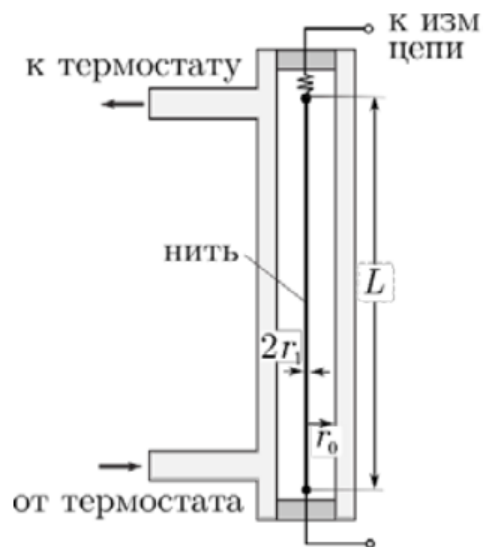


Рис. 1: Экспериментальная установка

На Рис. 2 изображена схема, с помощью которой можно определить сопротивление нити.

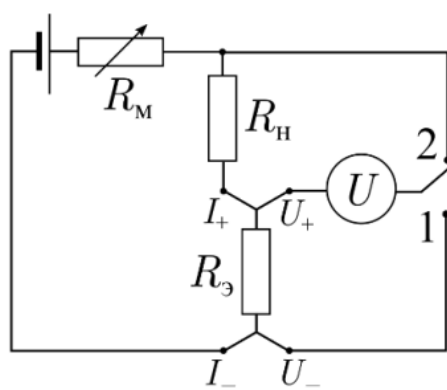


Рис. 2: Схема цепи

Ход работы и обработка результатов

1. Параметры установки:

$L = 365 \pm 2$ мм - длина нити

$2r_1 = 0,055 \pm 0,0005$ мм - радиус нити

$2r_2 = 10,0 \pm 0,1$ мм - радиус колбы

$R_s = 10,000$ Ом - эталонное сопротивление

2. Измерим несколько значений тока для различных температур и измерим нагрузочные кривые. В таблице 1 будут результаты этих измерений.

3. Сопротивление нити находится по формуле: $R_n = \frac{U_n}{U_s} R_s$. Мощность $Q = U_n \cdot \frac{U_s}{R_s}$.

4. Оценим погрешности:

$$\sigma Q = Q \sqrt{\left(\frac{\sigma U_n}{U_n}\right)^2 + \left(\frac{\sigma U_s}{U_s}\right)^2}$$

$$\sigma R_n = R_n \sqrt{\left(\frac{\sigma U_n}{U_n}\right)^2 + \left(\frac{\sigma U_s}{U_s}\right)^2}$$

$$\varepsilon_Q = 0,005\%; \varepsilon_R = 0,005\%$$

5. Построим для каждой температуры графики зависимости Q от R_n и определим по ним $\frac{dQ}{dR_n}$. Они будут изображены на рисунках 3, 4, 5, 6, 7.

$$T_1 = 22,0^\circ C : \frac{dQ}{dR_n} = 0,2991; R_0 = 14,548 \text{ Ом}$$

$$T_2 = 30,0^\circ C : \frac{dQ}{dR_n} = 0,3084; R_0 = 14,938 \text{ Ом}$$

$$T_3 = 40,0^\circ C : \frac{dQ}{dR_n} = 0,3075; R_0 = 15,344 \text{ Ом}$$

$$T_4 = 50,0^\circ C : \frac{dQ}{dR_n} = 0,3080; R_0 = 15,815 \text{ Ом}$$

$$T_5 = 60,0^\circ C : \frac{dQ}{dR_n} = 0,3128; R_0 = 16,272 \text{ Ом}$$

6. Построим зависимость R от t и найдём температурный коэффициент молибдена. (Рис.8) $\alpha = (0,00332 \pm 0,00023) K^{-1}$ Видно, что значение, которое мы получили, не совпадает с табличным $0,004579 K^{-1}$.

7. Найдём коэффициент теплопроводности для каждой температуры.

$$\kappa = \frac{dQ}{dR_n} \frac{dR_n}{dT} \frac{1}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$T = 22^\circ\text{C}: \quad \kappa = 0.0305 \pm 0.002 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$$

$$T = 30^\circ\text{C}: \quad \kappa = 0.0315 \pm 0.002 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$$

$$T = 40^\circ\text{C}: \quad \kappa = 0.0315 \pm 0.002 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$$

$$T = 50^\circ\text{C}: \quad \kappa = 0.0315 \pm 0.002 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$$

$$T = 60^\circ\text{C}: \quad \kappa = 0.0320 \pm 0.002 \text{ Вт/м}\cdot\text{C}$$

8. Предполагая, что зависимость коэффициента теплопроводности от температуры имеет вид $\kappa = AT^\beta$, определим показатель степени β . Для этого построим график зависимости $\ln\kappa$ от $\ln T$, тогда $\ln\kappa = \ln A + \beta \ln T$.

$$\beta \approx 0,4$$

Вывод: выполнив данную лабораторную работу, был найден коэффициент теплопроводности воздуха при атмосферном давлении и комнатной температуре $\kappa = (0,0305 \pm 0,002) \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, он немного отличается от табличного 0,0259, возможно это произошло из-за потерь тепла: конвекция, излучение, потери через концы проволоки. Был найден $\beta = \frac{2}{5}$, который тоже не совпал с табличным $\frac{1}{2}$. В описании работы было указано, что сопротивление нити лежит в диапозоне 10 – 14 Ом, мы же измерили 14,5 – 16,5 Ом.

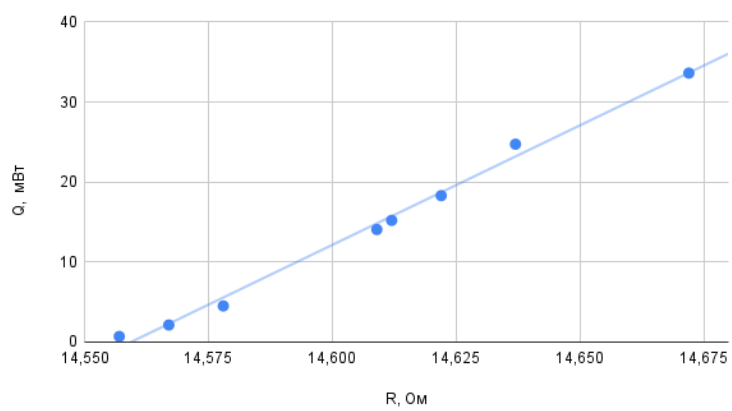


Рис. 3: Зависимость Q от R при $t = 22^\circ C$

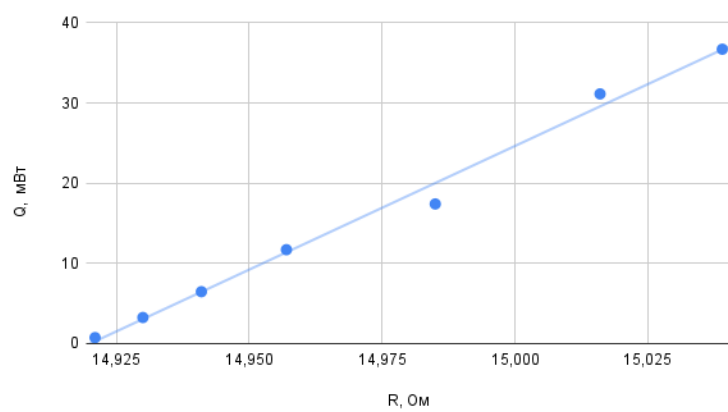


Рис. 4: Зависимость Q от R при $t = 30^\circ C$

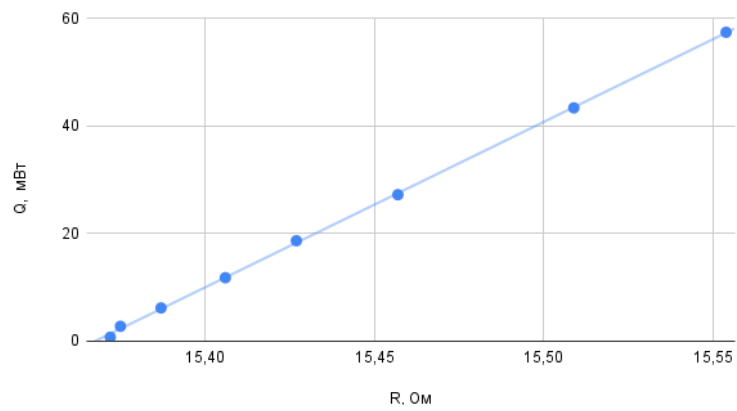


Рис. 5: Зависимость Q от R при $t = 40^{\circ}C$

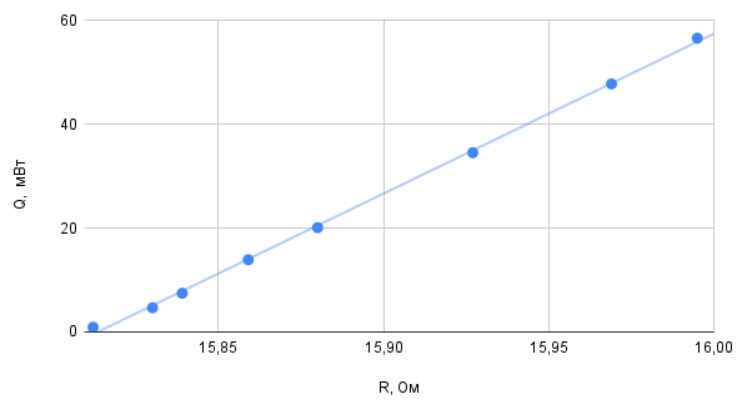


Рис. 6: Зависимость Q от R при $t = 50^{\circ}C$

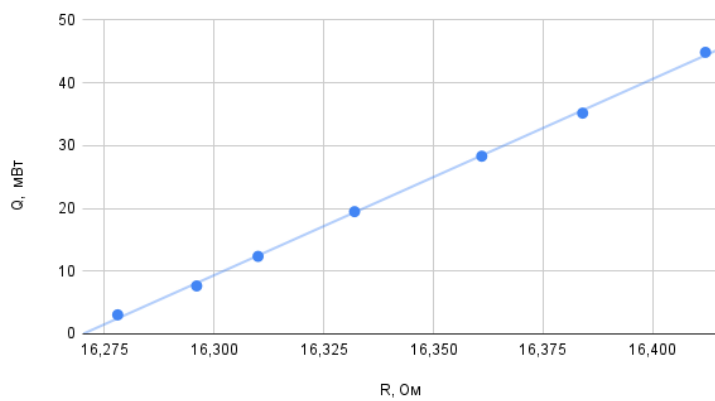


Рис. 7: Зависимость Q от R при $t = 60^{\circ}C$

| $t, ^\circ C$ | № | $U_H, \text{мВ}$ | $U_0, \text{мВ}$ | $R_H, \text{Ом}$ | $Q, \text{мВТ}$ |
|---------------|---|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 22,0 | 1 | 100,89 | 69,308 | 14,557 | 0,6993 |
| | 2 | 176,11 | 120,90 | 14,567 | 2,1292 |
| | 3 | 256,42 | 175,90 | 14,578 | 4,5104 |
| | 4 | 453,32 | 310,31 | 14,609 | 14,0670 |
| | 5 | 517,31 | 353,78 | 14,622 | 18,3014 |
| | 6 | 601,65 | 411,04 | 14,637 | 24,7302 |
| | 7 | 702,34 | 478,71 | 14,672 | 33,6217 |
| 30,0 | 1 | 105,35 | 70,605 | 14,921 | 0,7438 |
| | 2 | 220,36 | 147,60 | 14,930 | 3,2525 |
| | 3 | 310,95 | 208,12 | 14,941 | 6,4715 |
| | 4 | 418,47 | 279,79 | 14,957 | 11,7084 |
| | 5 | 510,78 | 340,86 | 14,985 | 17,4104 |
| | 6 | 683,77 | 455,35 | 15,016 | 31,1355 |
| | 7 | 743,01 | 494,05 | 15,039 | 36,7084 |
| 40,0 | 1 | 107,15 | 69,703 | 15,372 | 0,7469 |
| | 2 | 206,35 | 134,21 | 15,375 | 2,7694 |
| | 3 | 308,48 | 200,48 | 15,387 | 6,1844 |
| | 4 | 426,53 | 276,86 | 15,406 | 11,8089 |
| | 5 | 536,89 | 348,01 | 15,427 | 18,6843 |
| | 6 | 649,00 | 419,87 | 15,457 | 27,2496 |
| | 7 | 820,41 | 528,99 | 15,509 | 43,3989 |
| | 8 | 945,39 | 607,80 | 15,554 | 57,4608 |
| 50,0 | 1 | 119,54 | 75,601 | 15,812 | 0,9037 |
| | 2 | 271,10 | 171,26 | 15,830 | 4,6429 |
| | 3 | 343,73 | 217,02 | 15,839 | 7,4596 |
| | 4 | 469,64 | 296,14 | 15,859 | 13,9079 |
| | 5 | 564,98 | 355,77 | 15,880 | 20,1003 |
| | 6 | 741,84 | 465,77 | 15,927 | 34,5527 |
| | 7 | 873,68 | 547,12 | 15,969 | 47,8008 |
| | 8 | 951,68 | 594,97 | 15,995 | 56,6221 |
| 60,0 | 1 | 222,13 | 136,46 | 16,278 | 3,0312 |
| | 2 | 352,79 | 216,49 | 16,296 | 7,6376 |
| | 3 | 448,77 | 275,15 | 16,310 | 12,3479 |
| | 4 | 563,99 | 345,32 | 16,332 | 19,4757 |
| | 5 | 680,56 | 415,97 | 16,361 | 28,3093 |
| | 6 | 759,12 | 463,34 | 16,384 | 35,1731 |
| | 7 | 858,06 | 522,83 | 16,412 | 44,8620 |

Таблица 1: Измерения

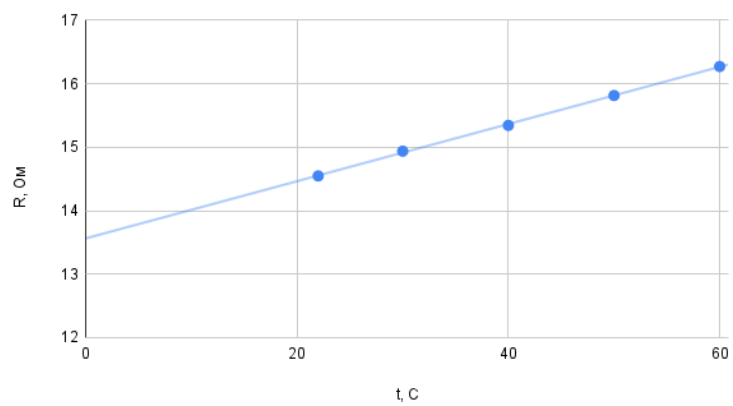


Рис. 8: Зависимость R от t

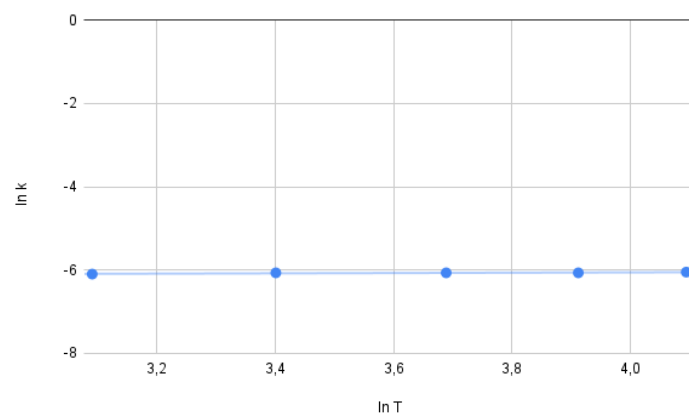


Рис. 9: Зависимость $\ln k$ от $\ln T$