

Лабораторная работа № 2.2.3
Измерение теплопроводности воздуха при
атмосферном давлении.

Никита Москвитин, Б04-204

2023

1 Аннотация

В данной работе исследовалось явление теплопроводности. Были произведены измерения коэффициента теплопроводности от температуры. Провизвели проверку теоретической модели.

2 Введение

Теплопроводность - это процесс передачи тепловой энергии от нагретых частей системы к холодным за счёт хаотического движения частиц среды (молекул, атомов и т.п.). В газах теплопроводность осуществляется за счёт непосредственной передачи кинетической энергии от быстрых молекул к медленным при их столкновениях. Перенос тепла описывается законом Фурье, утверждающим, что плотность потока энергии $\vec{q}_{\frac{B}{M^2}}$ (количество теплоты, переносимое через единичную площадку в единицу времени) пропорциональна градиенту температуры:

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

где κ — коэффициент теплопроводности.

$$\kappa \sim \lambda \vec{v} \cdot n c_v \quad (2)$$

где λ — длина свободного пробега молекул газа, \vec{v} — средняя скорость их теплового движения, n — концентрация (объёмная плотность) газа.

Решая дифференциальное уравнение для цилиндрического случая получаем:

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

3 Экспериментальная установка

На оси полой цилиндрической трубки с внутренним диаметром $2r_0 = (7.0 \pm 0.1)$ размещена металлическая нить диаметром $2r_1 = (0,050 \pm 0.003)$ и длиной $L = (400 \pm 2)$ (материал нити и точные геометрические размеры указаны в техническом описании установки). Полость трубки заполнена воздухом (полость через небольшое отверстие сообщается с атмосферой). Стенки трубки помещены в кожух, через которых пропускается вода из термостата, так что их температура поддерживается постоянной. Для предотвращения конвекции трубка расположена вертикально. Схема приведена на Рис. 1.

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:

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

и сопротивление по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I} \quad (5)$$

Сопротивление нити является однозначной функцией её температуры $R(t)$. Для большинства металлов относительное изменение сопротивления из-за нагрева невелико: при изменении температуры на 1 градус относительное изменение сопротивления нити может составлять приблизительно от 0,2 % до 0,6 % (в зависимости от её материала). Следовательно, измерение R важно провести с высокой точностью.

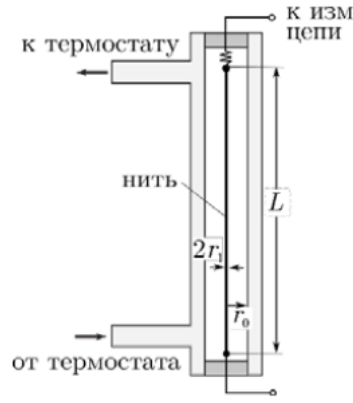


Рис. 1: Схема установка

исследуемом интервале температур (20–70 °С) зависимость сопротивления от температуры можно с хорошей точностью аппроксимировать линейной функцией:

$$R(t) = R_{273}(1 + \alpha t) \quad (6)$$

где t — температур в °С, R_{273} — сопротивление нити при температуре 20С и $\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT}$ — температурный коэффициент сопротивления материала.

4 Измерения

Сразу пересчитаем значения коэффициентов наклона и сопротивления нити графика при разных температурах. Данные приведены в Таблице 1.

Таблица 1: Коэффициенты наклона графика и сопротивления нити при разных температурах

$k, \frac{\text{Ом}}{\text{ВТ}}$	$\Delta k, \frac{\text{Ом}}{\text{ВТ}}$	$T, \text{К}$	$\Delta T, \text{К}$	$R, \text{Ом}$	$\Delta R, \text{Ом}$
5,257	0,005	297,0	0,1	20,443	0,001
5,142	0,005	305,0	0,1	21,000	0,001
5,032	0,005	313,0	0,1	21,572	0,001
4,887	0,005	323,0	0,1	22,284	0,001
4,79	0,13	333,0	0,1	23,000	0,003
4,656	0,015	343,0	0,1	23,711	0,003
4,48	0,05	353,0	0,1	24,442	0,009

5 Обработка результатов

Построим графики $R(Q)$ по которым были определены значения из Таблицы 1. Они приведены на Рис. 2.

Построим график $R(T)$, он приведен на Рис. 3. Коэффициента наклона графика $k = 0,07104 \pm 0,00005 \frac{\text{Ом}}{\text{К}}$. Сопротивление при $T = 273\text{К}$ $R_{273} = 18,734\text{Ом}$. Тогда $\alpha = 3,792 * 10^{-3} \frac{1}{\text{К}}$.

Построим графики $\kappa(T)$ и $\ln(\kappa)(\ln(T))$ соответственно на Рис. 4 и Рис. 5. $\beta = 0,0758 \pm 0,0013$.

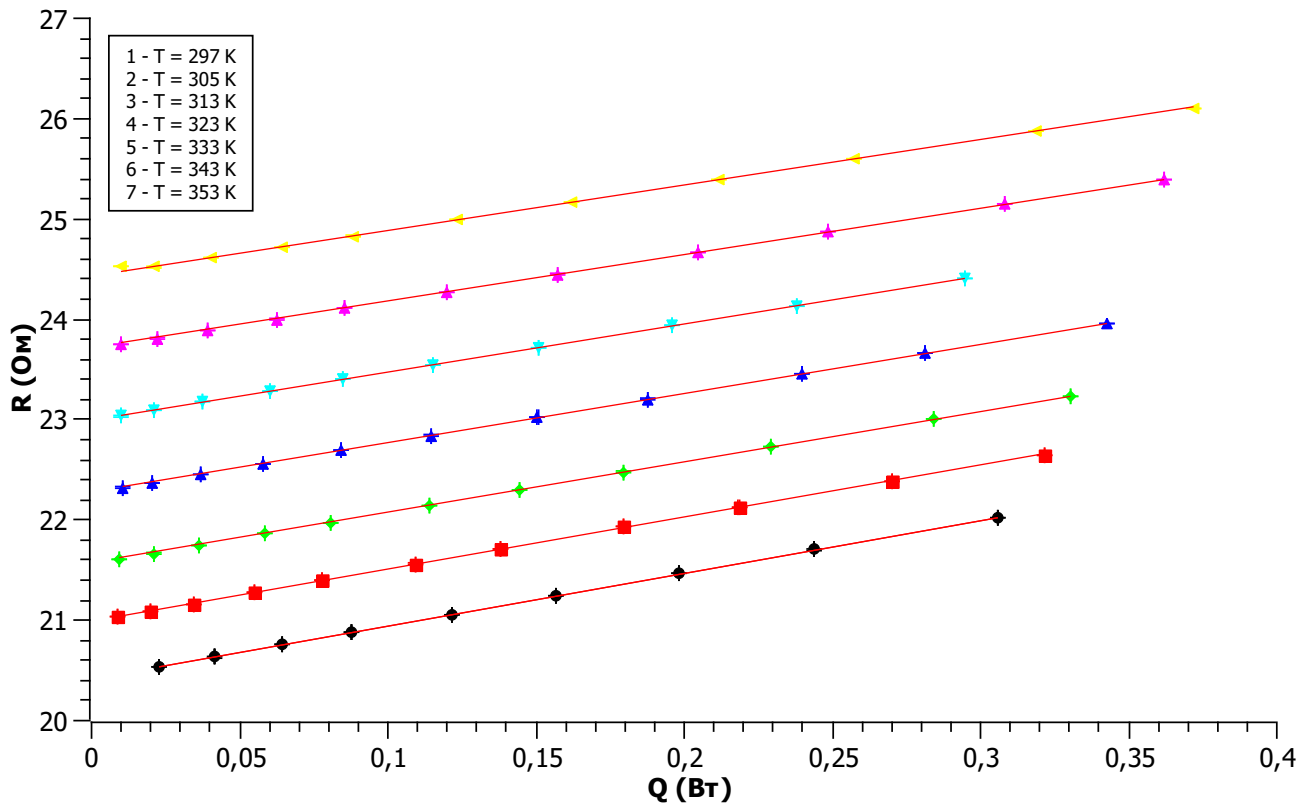


Рис. 2: Графики $R(Q)$ при разных температурах

Таблица 2: Коэффициенты теплопроводности при разных температурах экспериментальные и табличные

T, K	$\kappa_{\text{мВт}} \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$	$\Delta \kappa_{\text{мВт}} \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$	$\kappa_{\text{табл}} \frac{\text{мВт}}{\text{м}^2}$
297	26,57	0,03	26,2
305	27,17	0,03	26,9
313	27,76	0,03	27,6
323	28,58	0,03	28,3
333	29,19	0,08	29
343	30	0,1	29,6
353	31,18	0,03	30,5

6 Вывод

Мы измерили коэффициенты теплопроводности воздуха при разных температурах и сравнили с табличными (источник: <http://thermalinfo.ru/>). Данные приведены в Таблице 2. Так же измерили зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Было замечено, что нельзя считать эффективную площадь константой, она получилась обратнопропорциональна корню четвертой степени от температуры. Так как с помощью двойного логарифмического масштаба мы получили $\beta = 0,0758 \pm 0,0013$, вместо 0,5 ожидаемых, если бы не было зависимости эффективной площади от температуры. Так же был найден температурный коэффициент сопротивления нити (платина) $\alpha = 3,792 * 10^{-3} \frac{1}{K}$, $\alpha_{\text{табл}} = 3,9 * 10^{-3} \frac{1}{K}$.

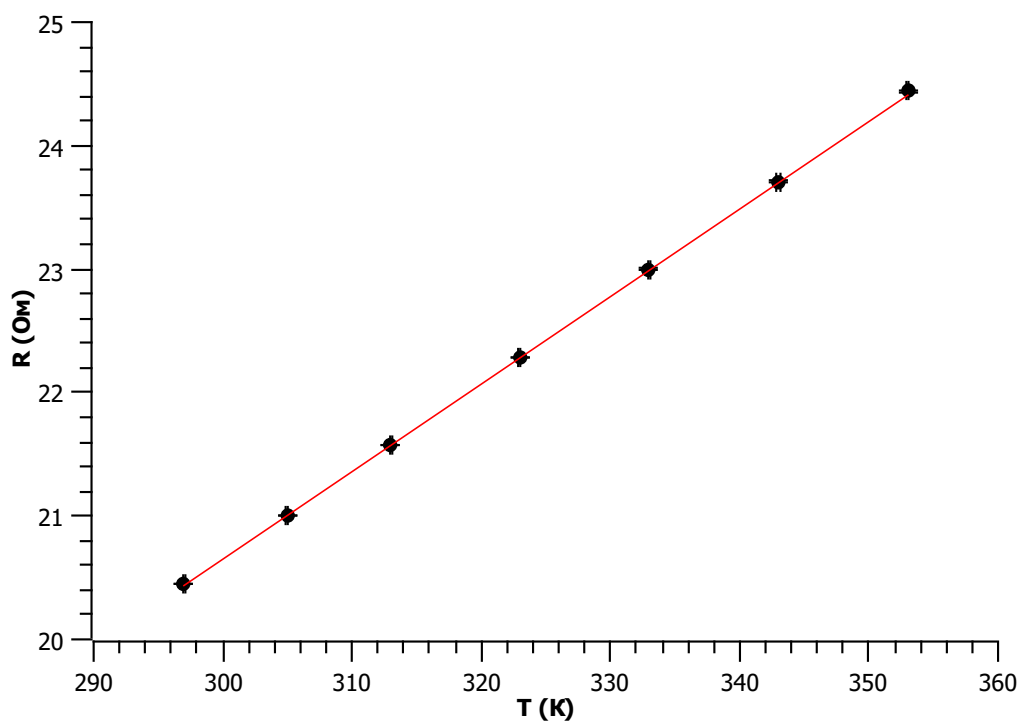


Рис. 3: График сопротивления нити от разных температур термостата

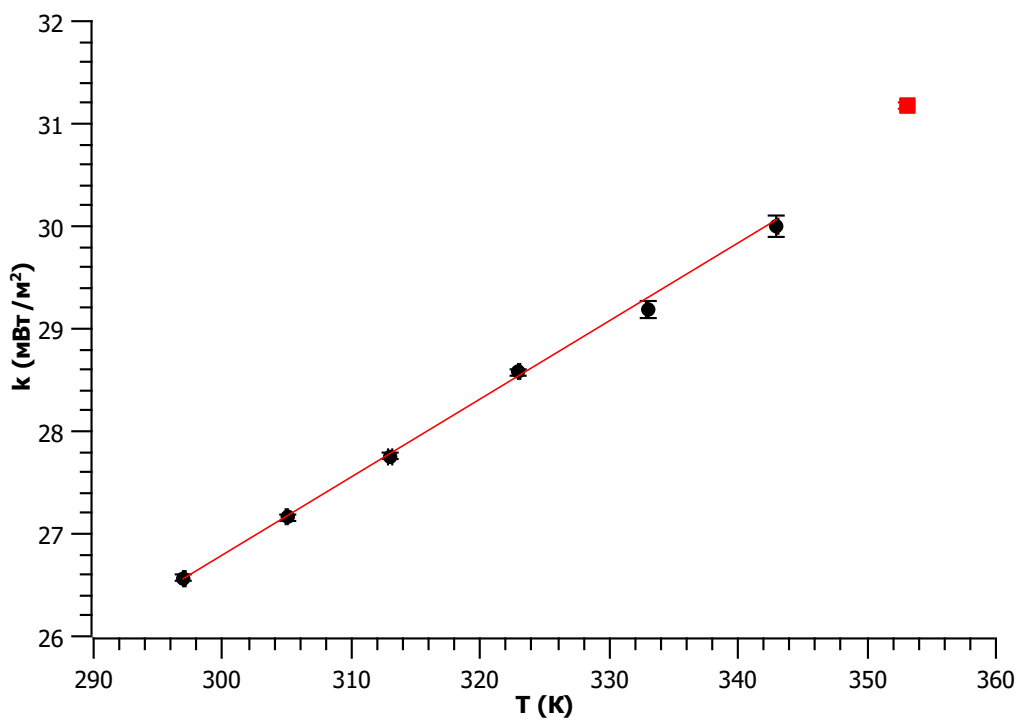


Рис. 4: График коэффициента теплопроводности от температуры

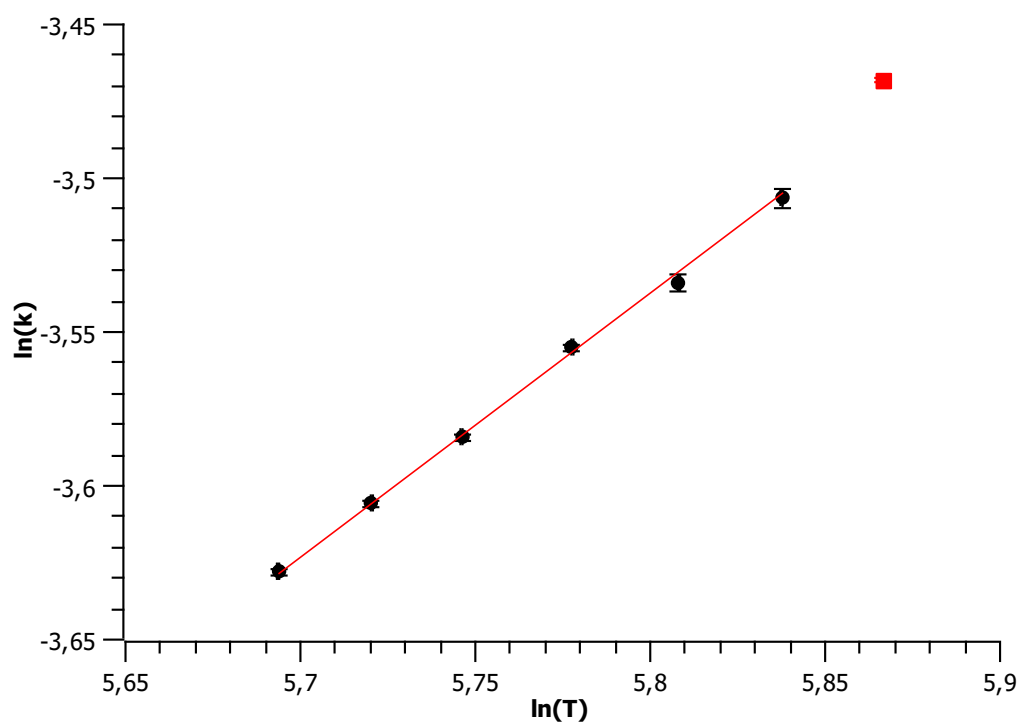


Рис. 5: График коэффициента теплопроводности от температуры в двойном логарфмическом масштабе