

# Работа 2.2.3

## ИЗМЕРЕНИЕ

### ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА ПРИ

### АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Панферов Андрей

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

**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).

#### Теоретические сведения

*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  $\vec{q} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$  (количество теплоты, переносимое через единичную площадку в единицу времени) пропорциональна градиенту температуры:

$$\vec{q} = -\kappa \cdot \nabla T,$$

где  $\kappa$  — коэффициент теплопроводности.

$$\kappa \sim \lambda \vec{v} \cdot n c_v$$

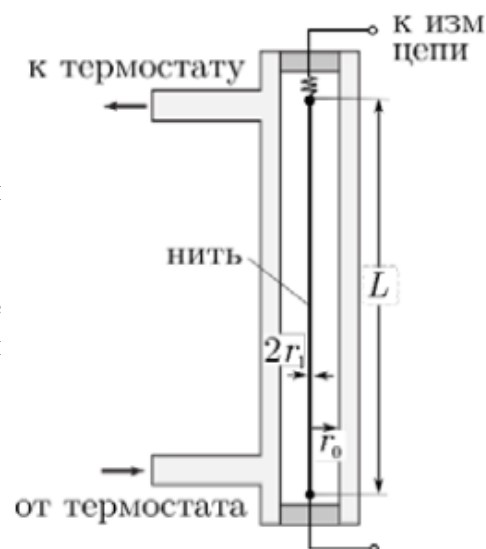
где  $\lambda$  — длина свободного пробега молекул газа,  $\vec{v}$  — средняя скорость их теплового движения,  $n$  — концентрация (объёмная плотность) газа.

Решая дифференциальное уравнение для цилиндрического случая получаем:

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

#### Экспериментальная установка

На оси полый цилиндрической трубки с внутренним диаметром  $2r_0 = (1.00 \pm 0.01)\text{см}$  размещена металлическая нить диаметром  $2r_1 = (0.055 \pm 0.010)\text{мм}$  и длиной  $L = (395 \pm 2)\text{мм}$  (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.



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:

$$Q = UI,$$

и сопротивление по закону Ома:

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

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.

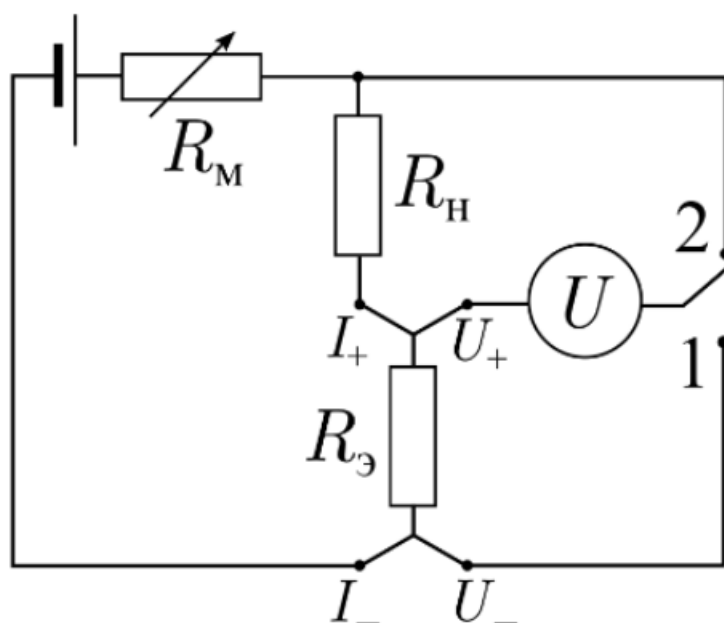


Схема предусматривает использование одного вольтметра и эталонного сопротивления  $R_3 \sim 10$  Ом, включённого последовательно с нитью. В положении переключателя 2 вольтметр измеряет напряжение на нити, а в положении 1 — напряжения на  $R_3$ , пропорциональное току через нить. Для исключения влияния контактов и подводящих проводов эталонное сопротивление  $R_3$  также необходимо подключать в цепь по четырёхпроводной схеме. Ток в цепи в обеих схемах регулируется с помощью реостата или магазина сопротивлений  $R_M$ , включённого последовательно с источником напряжения. **Методика измерений.** В исследуемом интервале температур (20–70 С) зависимость сопротивления от температуры можно с хорошей точностью аппроксимировать линейной функцией:

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

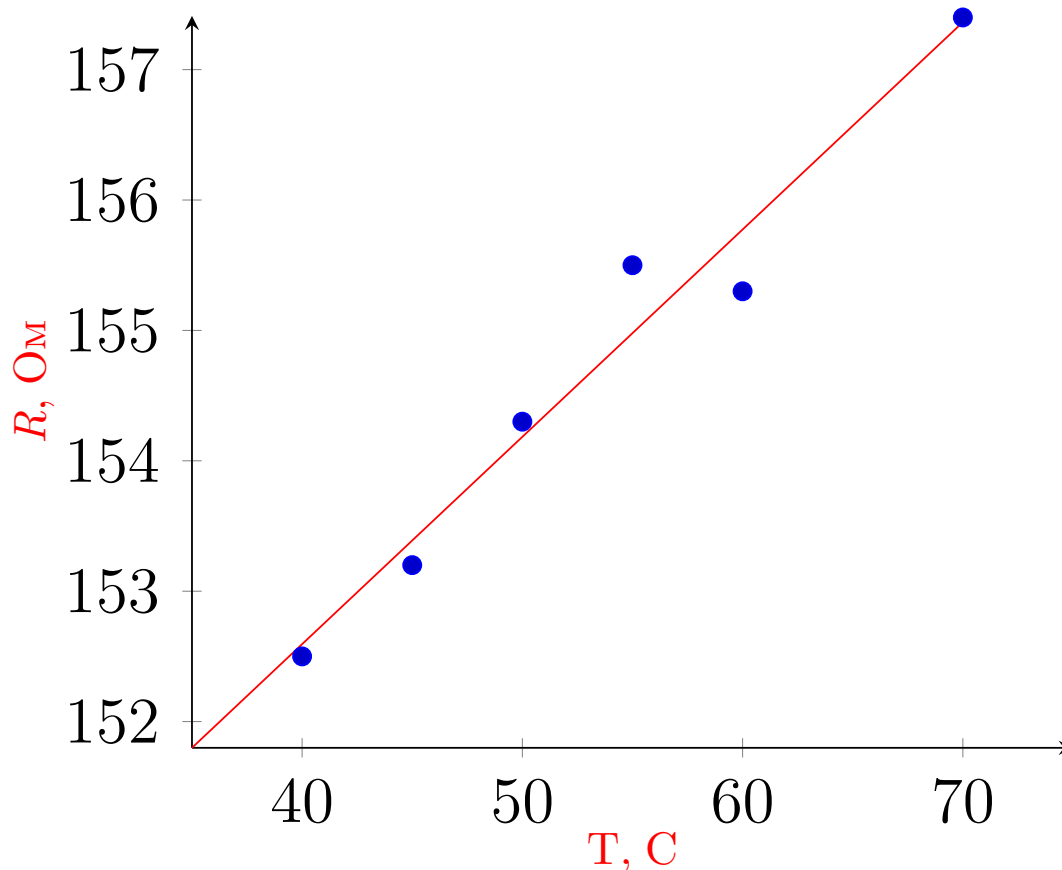
где  $t$  — температура в [С],  $R_{273}$  — сопротивление нити при температуре 20С и  $\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT}$  — температурный коэффициент сопротивления материала.

Результаты обработки экспериментальных точек занесены в таблицу:

Таблица 1:  $R_0$  и  $\frac{dR}{dQ}$  для различных температур,  $\kappa$

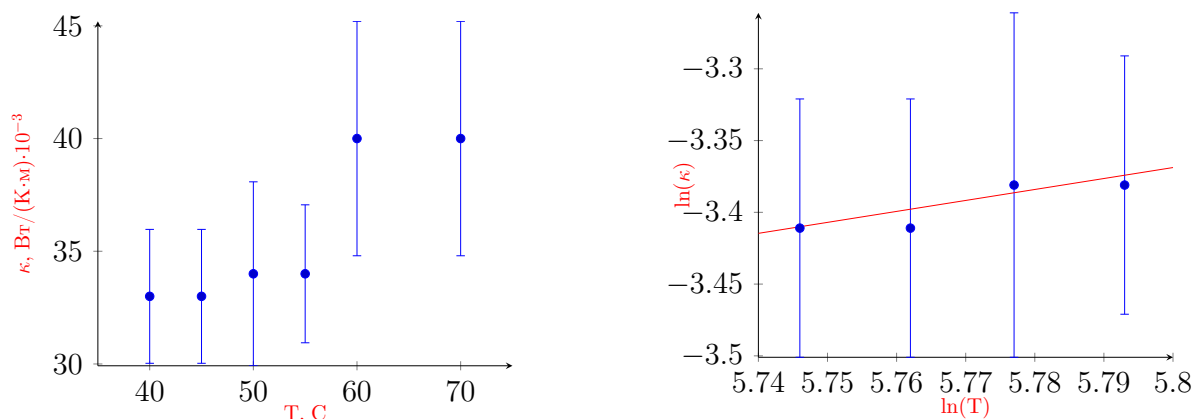
T, C	$\frac{dR}{dQ}, \frac{\text{Ом}}{\text{мВт}}$	$R_0, \text{Ом}$	$\sigma R_0, \%$	$\sigma \frac{dR}{dQ}, 10^{-5}$	$\frac{dQ}{d(\Delta T)}, \frac{\text{Вт}}{\text{К}} \cdot 10^{-2}$	$\kappa, \frac{\text{Вт}}{\text{К} \cdot \text{м}} \cdot 10^{-3}$	$\sigma \kappa$
60	0.00998	152.5	3	5	1.59	33	0.09
55	0.00999	153.2	3	6	1.59	33	0.09
50	0.00990	154.3	5	8	1.61	34	0.12
45	0.00974	155.5	2	4	1.63	34	0.09
40	0.00829	155.3	6	10	1.92	40	0.13
70	0.00837	157.4	7	8	1.90	40	0.13

Построим график зависимости  $R_0$  от T:



Из графика определим угловой коэффициент  $\frac{dR}{dT} = (0.159 \pm 0.014) \text{ Ом/К}$  и  $\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT} = (1.06 \pm 0.10) \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$ . Занесем данные значений  $\frac{dQ}{d(\Delta T)}$  в Таблицу 1.

Построим графики зависимости  $\kappa$  от  $T$  и  $\ln(\kappa)$  от  $\ln(T)$ :



(При построении  $\ln(\kappa)$  от  $\ln(T)$  и последующих вычислениях не были учтены последние две экспериментальные точки, так как они явно не вписываются в зависимость и являются выбросами)

Из второго графика получим  $\beta = (0.8 \pm 0.3)$ . Что не согласуется с предсказаниями теории, утверждающие  $\beta = \frac{1}{2}$

**Вывод:** Данный метод подходит для вычисления *коэффициента теплопроводности* воздуха, но его точности недостаточно для достоверного определения зависимости последнего от *температуры*.

**Относительная погрешность:**  $0.0035\% + 0.0005\% \cdot \frac{U_{\text{диап}}}{U_{\text{изм}}}$  для всех измерений

T = 40C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
225.0	3.450
200.0	3.063
150.0	2.293
125.0	1.910
100.0	1.527
75.00	1.145
50.00	0.763

T = 45C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
225.0	3.465
200.0	3.077
150.0	2.303
125.0	1.918
100.0	1.534
75.00	1.150
50.00	0.766

T = 50C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
225.0	3.502
200.0	3.111
150.0	2.329
125.0	1.939
100.0	1.551
75.00	1.157
50.00	0.770

T = 55C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
225.0	3.517
200.0	3.123
150.0	2.338
125.0	1.947
100.0	1.557
75.00	1.167
50.00	0.778

T = 60C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
225.0	3.508
200.0	3.115
150.0	2.332
125.0	1.942
100.0	1.554
75.00	1.165
50.00	0.776

T = 70C	
$U_{R_0}$ , мВ	$U_{R_0}$ , В
200.0	3.159
150.0	2.366
125.0	1.971
100.0	1.576
75.00	1.181
50.00	0.787

