

## Лабораторная работа №2.2.3

# Измерение удельной теплоёмкости воздуха при атмосферном давлении

Рожков А. В.

Преподаватель Яворский В. А.

20 марта 2024 г.

**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).

## Теоретическая справка

*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  $\bar{q} = -k \nabla T$ , где  $k \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$  - коэффициент теплопроводности.

Молекулярно-кинетическая теория дает следующую оценку для коэффициента теплопроводности газов:

$$k \sim \lambda \bar{v} \cdot n c_V$$

С помощью некоторых преобразований мы получаем, что

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

## Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 1. На оси полой цилиндрической трубки с внутренним диаметром  $2r_0 \sim 1$  см размещена металлическая нить диаметром  $2r_1 \sim 0,05$  мм и длиной  $L \sim 40$  см (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  $t_0$  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 нити по закону Ома:  $R = \frac{U}{I}$ .

Сопротивление нити является однозначной функцией её температуры  $R(t)$ . Эта зависимость может быть измерена с помощью термостата по экстраполяции мощности нагрева к нулю  $Q \rightarrow 0$ , когда температура нити и стенок совпадают  $t_1 \approx t_0$ . Альтернативно, если материал нити известен, зависимость его удельного сопротивления от температуры может найдена по справочным данным.

На рис. 2 представлена схема электрической установки:

Схема рис. 2 предусматривает использование одного вольтметра и эталонного сопротивления  $R_s \sim 10$  Ом (точное значение  $R_s$  и его класс точности указаны в техническом описании установки), включённого последовательно с нитью. В положении переключателя 2 вольтметр измеряет напряжение на нити, а в положении 1 — напряжение на  $R_s$ , пропорциональное току через нить. Для

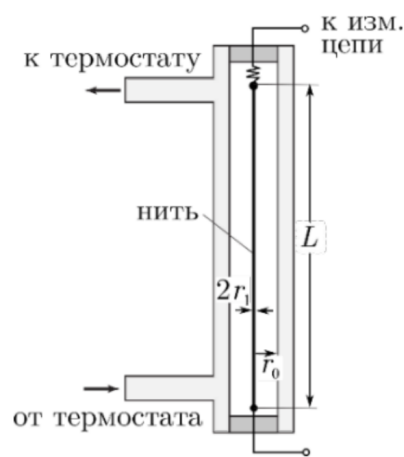


Рис. 1: Схема установки

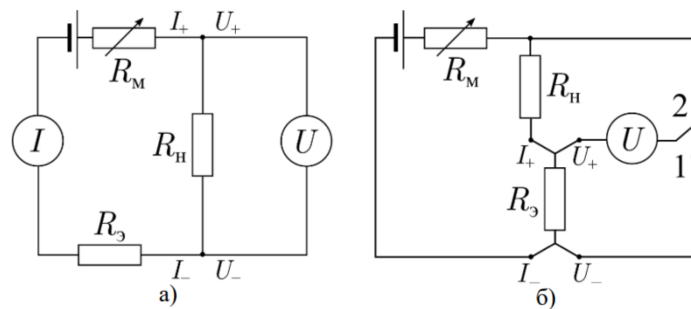


Рис. 2: Электрическая схема измерения сопротивления нити и мощности нагрева

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

Принципиально неустранимая систематическая ошибка измерения температуры с помощью термометра сопротивления возникает из-за необходимости пропускать через резистор (нить) измерительный ток. Чем этот ток выше, тем с большей точностью будет измерен как он сам, так и напряжение. Однако при этом квадратично возрастает выделяющаяся на резисторе мощность  $Q = UI = I^2 R$ . Следовательно, температура резистора становится выше, чем у объекта, температуру которого надо измерить. Измерения же при малых токах не дают достаточной точности (в частности, из-за существенного вклада термоэлектрических явлений в проводниках и контактах). Эта проблема решается построением нагрузочной кривой - зависимости измеряемого сопротивления  $R$  от выделяющейся в нём мощности  $R(Q)$ , с последующей экстраполяцией к нулевой мощности  $Q \rightarrow 0$  для определения сопротивления  $R_0 = R(0)$ , при котором его температура равна температуре измеряемого объекта. Кроме того, в данной работе измерение нагрузочных кривых позволяет в ходе эксперимента получить температурную зависимость сопротивления нити, так как при  $Q \rightarrow 0$  температура нити равна температуре термостата ( $T \approx T_0$ ). В исследуемом интервале температур (20-70 °C) зависимость сопротивления от температуры можно с хорошей точностью аппроксимировать линейной функцией:

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

где  $\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT}$  - температурный коэффициент сопротивления материала.