

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Фихтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

## **Лабораторная работа 2.2.3**

Измерение теплопроводности воздуха при  
атмосферном давлении

Автор:

Черниенко Владислав Антонович

Группа Б01-110

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

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

где  $k$  [ $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ] — коэффициент теплопроводности.

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

$$k \sim \lambda \bar{v} \cdot n c_V, \quad (2)$$

где  $\lambda$  — длина свободного пробега молекул газа,  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$  — средняя скорость их теплового движения,  $n$  — концентрация (объёмная плотность) газа,  $c_V = \frac{i}{2} k_B$  — его теплоёмкость при постоянном объёме в расчёте на одну молекулу ( $i$  — эффективное число степеней свободы молекулы).

Длина свободного пробега может быть оценена как  $\lambda = 1/n\sigma$ , где  $\sigma$  — эффективное сечение столкновений молекул друг с другом. Тогда из (2) видно, что коэффициент теплопроводности газа не зависит от плотности газа и *определяется только его температурой*. В простейшей модели твёрдых шариков  $\sigma = \text{const}$ , и коэффициент теплопроводности пропорционален корню абсолютной температуры:  $k \propto \bar{v}/\sigma \propto \sqrt{T}$ .

Рассмотрим стационарную теплопроводность в цилиндрической геометрии (см. рис. 1). 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  $Q$  [Вт]. Если цилиндр длинный ( $L \gg r_0$ ), можно пренебречь теплоотводом через его торцы. Тогда все параметры газа можно считать зависящими только от расстояния до оси системы  $r$ . Вместо (1) имеем

$$q = -k \frac{dT}{dr}.$$

В *стационарном* состоянии полный поток тепла через любую цилиндрическую поверхность радиуса  $r$  площадью  $S = 2\pi r L$  должен быть одинаков и равен  $Q = qS$ :

$$Q = -2\pi r L \cdot k \frac{dT}{dr} = \text{const}. \quad (3)$$

Если перепад температуры  $\Delta T = T_1 - T_0$  между нитью и стенками цилиндра мал ( $\Delta T \ll T_0$ ), то в (3) можно пренебречь изменением теплопроводности от температуры в пределах системы,

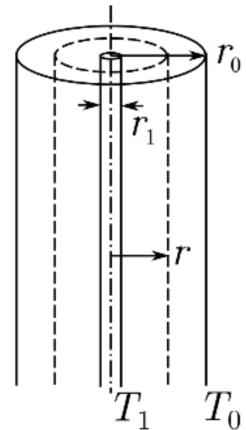


Рис. 1: Геометрия задачи

положив  $\kappa \approx \kappa(T_0)$ . Тогда разделяя переменные в (3) и интегрируя от радиуса нити до радиуса колбы, получим

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

Видно, что поток тепла через систему пропорционален разности температур в ней (закон Ньютона).

## Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 2. На оси полый 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:

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

На рис. 3 приведена электрическая схема установки. Эта 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 — напряжение на  $R_3$ , пропорциональное току через нить. Для исключения влияния контактов и подводящих проводов эталонное сопротивление  $R_3$  необходимо подключать в цепь по четырёхпроводной схеме.

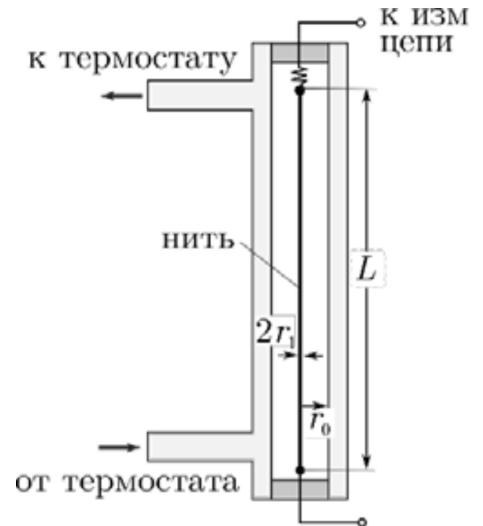


Рис. 2: Схема установки

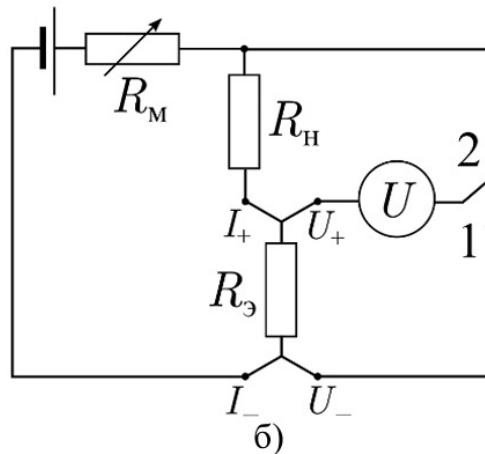


Рис. 3: Электрическая схема