

Лабораторная работа 2.2.3

Определение теплопроводности газов при атмосферном давлении

Рашковецкий М.М., группа 526т

25 мая 2016 г.

Цель работы: определение коэффициента теплопроводности воздуха или углекислого газа при атмосферном давлении и разных температурах по теплоотдаче нагреваемой током нити в цилиндрическом сосуде.

Оборудование и материалы: прибор для определения теплопроводности газов; форвакуумный насос; газгольдер с углекислым газом; манометр; магазин сопротивлений; эталонное сопротивление 10 Ом; цифровой вольтметр В7-38; источник питания.

Краткая теория

В задаче о теплопередаче между двумя коаксиальными цилиндрами тепловая мощность, протекающая наружу через цилиндрическую поверхность радиуса r с той же осью записывается как

$$Q = 2\pi r L \kappa \frac{dT}{dr}. \quad (1)$$

Принимая зависимость коэффициента теплопроводности от температуры степенной

$$\kappa = \kappa_2 \left(\frac{T}{T_2} \right)^\beta, \quad (2)$$

получаем следующее соотношение:

$$Q \frac{dr}{r} = 2\pi L \frac{\kappa_2}{T_2^\beta} T^\beta dT. \quad (3)$$

Проинтегрировав его, получим

$$Q \ln \frac{r_2}{r_1} = 2\pi L \kappa_2 \frac{T_2^{\beta+1} - T_1^{\beta+1}}{(\beta+1)T_2^\beta}, \quad (4)$$

откуда

$$\kappa_2 = \frac{Q}{2\pi L} \frac{(\beta+1)T_2^\beta}{T_2^{\beta+1} - T_1^{\beta+1}} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (5)$$

В приближении $\Delta T \ll T$ получаем уже разрешимое соотношение:

$$\kappa = \frac{Q}{2\pi L (T_2 - T_1)} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (6)$$

Тут r_1, T_1 — радиус и температура нити, r_2, T_2 — цилиндра, L — длина нити и цилиндра.

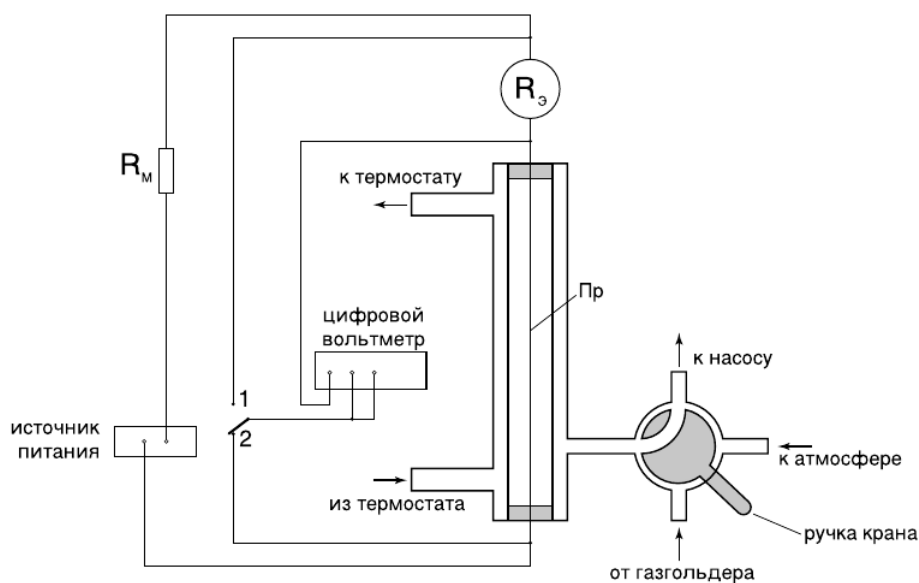
В работе отношение заменяется на производную, которая расписывается как произведение производных, находимых из результатов измерений:

$$\kappa = \frac{dQ}{dR} \frac{dR}{dT} \frac{1}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (7)$$

где R — сопротивление нити.

Установка

Рис. 1: Схема установки



В эксперименте температура нити определяется по изменению электрического сопротивления, температура цилиндра совпадает с температурой термостата, измеряемой его внутренним термометром. Напряжение на проволоке измеряется непосредственно вольтметром в положении 2, ток через неё — через напряжение на эталонном сопротивлении в положении 1.

Ход работы

1. Записали параметры установки: $L = 367$ мм, $2r_1 = 0,050$ мм, $2r_2 = 10$ мм, $R_э = 10$ Ом, материал проволоки — железо-никелевый сплав.
2. Установили на термостате температуру $t = 30^\circ\text{C}$ и дождались её установления.

3. Установили ключ в положение 1, выставили нужное напряжение $U_{\text{э}}$, подождали, пока оно установится.
4. Установив ключ в положение 2, измерили соответствующее $U_{\text{н}}$.
5. Повторили измерения для разных токов.
6. Повторили пп. 2–5 для других температур.

Обработка результатов

Результаты измерений приведены в таблице 1. Погрешностью температуры мы пренебрегли, погрешность напряжения приняли $\sigma_U = 0,001$ В.

Таблица 1: Результаты измерений

$t, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60
$U_{\text{э}}, \text{В}$	$U_{\text{н}}, \text{В}$			
0,05	0,76	0,767	0,774	0,781
0,075	1,139	1,15	1,161	1,171
0,1	1,52	1,534	1,548	1,563
0,125	1,902	1,919	1,936	1,953
0,15	2,29	2,312	2,333	2,352
0,175	2,675	2,7	2,724	2,746
0,2	3,06	3,087	3,115	3,145
0,225	3,447	3,476	3,508	3,538
0,25	3,833	3,868	3,897	3,933

Затем я посчитал для каждого $U_{\text{н}}$ $Q = \frac{U_{\text{н}}U_{\text{э}}}{R_{\text{э}}}$ и $R_{\text{н}} = R_{\text{э}}\frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{э}}}$, посчитал их погрешности и построил графики $Q(R)$ (рис. 2).

На графиках также изображена линейная аппроксимация, которая использовалась, чтобы найти R_0 — сопротивление при $Q = 0$, т.е. при температуре термостата, и $\frac{dQ}{dR}$ в той же точке. Параметры аппроксимаций приведены в таблице 2.

Таблица 2: Параметры аппроксимации

$t, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60
$R_0, \text{Ом}$	$152,02 \pm 0,12$	$153,45 \pm 0,13$	$154,95 \pm 0,17$	$156,26 \pm 0,15$
$\frac{dQ}{dR}, \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$	$0,069 \pm 0,008$	$0,073 \pm 0,010$	$0,09 \pm 0,02$	$0,084 \pm 0,015$

По этим данным я построил график $R_0(t)$ (рис. 3).

Он был также аппроксимирован линейно, параметры: $R_{0^\circ\text{C}} = (147,8 \pm 0,3) \text{ Ом}$, $\frac{dR}{dT} = (0,142 \pm 0,006) \frac{\text{Ом}}{\text{К}}$, соответственно температурный коэффициент сопротивления получился $\alpha = (9,6 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, что по порядку величины совпадает с табличными данными для металлов.

Рис. 2: Графики $Q(R)$ для разных температур

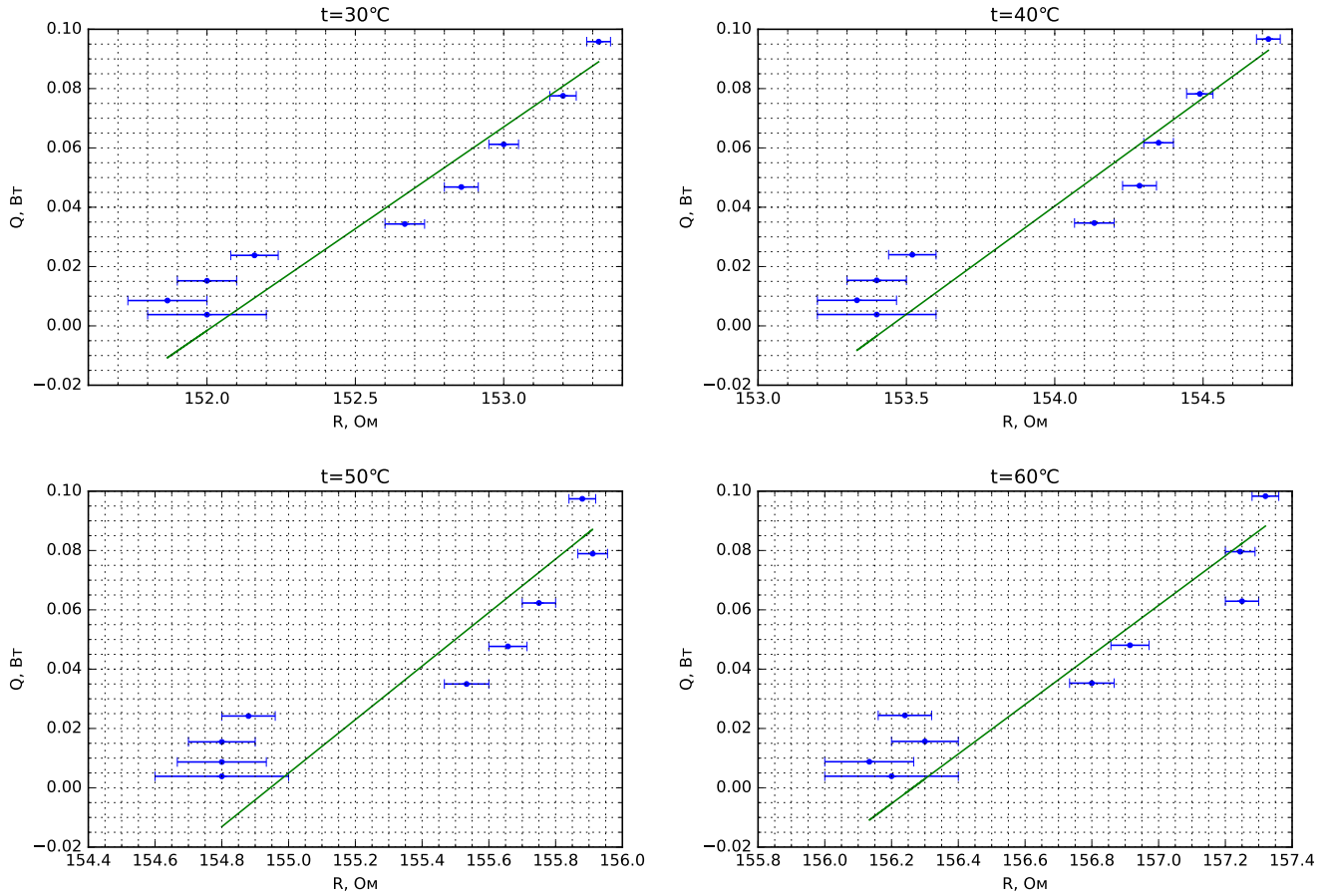


Таблица 3: Коэффициент теплопроводности

$t, ^\circ\text{C}$	30	40	50	60
$\kappa, \frac{\text{Вт}\cdot\text{К}}{\text{м}^2}$	$0,022\pm 0,003$	$0,024\pm 0,003$	$0,030\pm 0,006$	$0,027\pm 0,005$

Затем по (7) был посчитан коэффициент теплопроводности. Результаты приведены в таблице 3 и на рис. 4.

По порядку величины результаты совпадают с табличными, однако разброс соответствующих температур больше, чем должен быть (где-то от -20°C до 100°C).

Из графика я получил значение для степени зависимости β :

$$\beta = 2,5 \pm 2,2 \quad (8)$$

Точность результата фактически не позволяет ничего сказать. Возможные причины такого плохого результата: мы не дождались установления теплового равновесия, утечки тепла через саму проволоку, разница температур была слишком большой для приближённой формулы (6) и следовало использовать (5), хотя это было бы сложно.

Рис. 3: График $R_0(t)$

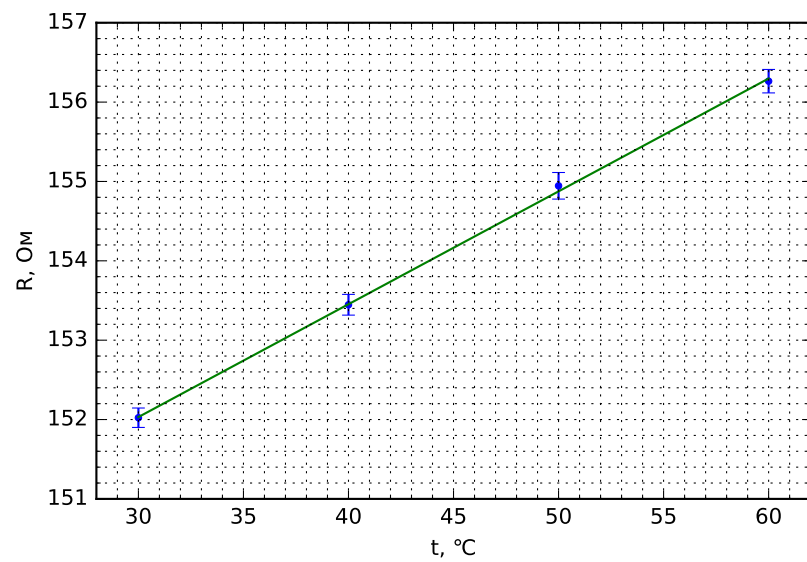


Рис. 4: График $\ln \kappa(\ln T)$

