

# Задача 2. 2. 3.

## Определение теплопроводности газов при атмосферном давлении

Лось Денис (группа 611)

4 марта 2017

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

**В работе используются:** прибор для определения теплопроводности газов, форвакуумный насос, газгольдер с углекислым газом, манометр, магазин сопротивлений, эталонное сопротивление 10 Ом, цифровой вольтметр В7-38, источник питания.

### Теоритическая часть

Основной характеристикой теплопроводности служит коэффициент теплопроводности  $\chi$ , являющийся коэффициентом пропорциональности между плотностью потока тепла  $q$  и градиентом температуры  $dT/dr$  в направлении распространения этого потока

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

В нашем случае, для цилиндрически симметричной установки, в которой тепловой поток направлен к стенкам цилиндра от нити, можно получить:

$$\chi = \frac{Q}{T_1 - T_2} \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{r_2}{r_1} \right),$$

где  $r_1$  — радиус нити,  $r_2$  — радиус внешнего цилиндра,  $T_1$  — температура нити,  $T_2$  — температура воды,  $L$  — длина цилиндра.

### Экспериментальная установка

Тонкая нить натянута по оси длинной вертикально стоящей медной трубки. Через штуцер трубка заполняется исследуемым газом. Нить нагревается электрическим током, её температура определяется по изменению электрического сопротивления.

Трубка находится в кожухе, через который пропускается вода из термостата. Температура воды  $T_2$  измеряется термометром, помещённым в термостат. Количество теплоты, протекающей через газ, равно (если пренебречь утечками тепла через торцы) количеству теплоты, выделяемому током в нити, и может быть найдено по закону Джоуля - Ленца. При этом ток в нити определяется по напряжению на включённом последовательно с ней эталонном сопротивлении 10 Ом.

Электрическая часть схемы состоит из источника питания и подключённых к нему последовательно соединённых нити, эталонного сопротивления 10 Ом и магазина сопротивлений, служащего для точной установки тока через нить. Цифровой вольтметр может подключаться как к нити, так и к эталонному сопротивлению, измеряя таким образом напряжение на нити и ток через неё.

## Ход работы

1. Снимем зависимость напряжения на нити  $U_n$  от напряжения на эталонном сопротивлении  $U_э$  при различных температурах прибора.

$T$ , °C	$U_n$ , В	$U_э$ , В	$I_э$ , mA
24.2	4.001	0.265	26.5
	3.499	0.232	23.2
	3.301	0.219	21.9
	3.139	0.208	20.8
	2.992	0.199	19.9
	2.858	0.190	19.0
	2.736	0.182	18.2
	2.624	0.174	17.4
43.3	3.313	0.216	21.6
	3.490	0.228	22.8
	3.687	0.240	24.0
	3.153	0.206	20.6
	3.007	0.196	19.6
	2.874	0.188	18.8
	2.753	0.180	18.0
	2.640	0.173	17.3
63.3	3.696	0.237	23.7
	3.500	0.224	22.4
	3.325	0.213	21.3
	3.167	0.203	20.3
	3.022	0.194	19.4
	2.890	0.186	18.6
	2.769	0.178	17.8
	2.658	0.171	17.1

$T$ , °C	$U_{\text{н}}$ , В	$U_{\text{э}}$ , В	$I_{\text{э}}$ , mA
73.2	2.667	0.170	17.0
	2.778	0.177	17.7
	2.898	0.184	18.4
	3.030	0.193	19.3
	3.173	0.202	20.2
	3.331	0.212	21.2
	3.506	0.223	22.3
	3.700	0.235	23.5

Таблица 1: Зависимость напряжения на нити  $U_{\text{н}}$  от напряжения на эталонном сопротивлении  $U_{\text{э}}$ .

2. Для каждой температуры построим график зависимости выделяемой мощности  $Q = U_{\text{н}} I_{\text{э}}$  от сопротивления нити  $R_{\text{н}} = U_{\text{н}} / I_{\text{э}}$ .

**Для температуры  $T = 24.2$  °C :**

$Q$ , Вт	$R_{\text{н}}$ , Ом
150.98	0.106
150.82	0.081
150.73	0.072
150.91	0.065
150.35	0.060
150.42	0.054
150.33	0.050
150.80	0.046

Таблица 2: Таблица зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

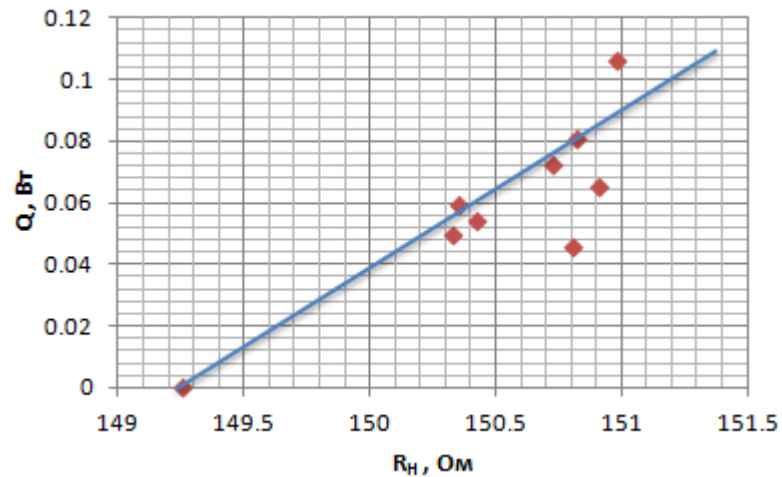


Рис. 1: График зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

Коэффициент наклона графика:

$$\frac{dQ}{dR_n} = (0.047 \pm 0.026) \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$$

Сопротивление нити при температуре термостата:

$$R_0 = (149 \pm 115) \text{ Ом}$$

Для температуры  $T = 43.3 \text{ }^\circ\text{C}$  :

$Q$ , Вт	$R_n$ , Ом
153.38	0.072
153.07	0.080
153.63	0.088
153.06	0.065
153.42	0.059
152.87	0.054
152.94	0.050
152.60	0.046

Таблица 3: Таблица зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

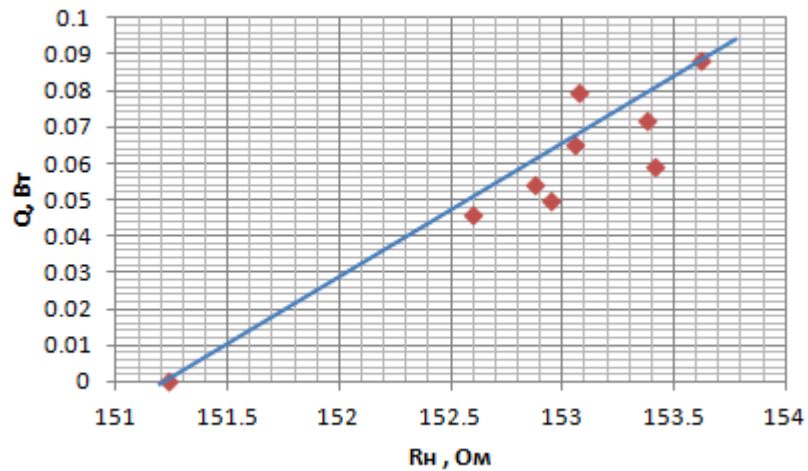


Рис. 2: График зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

Коэффициент наклона графика:

$$\frac{dQ}{dR_n} = (0.034 \pm 0.013) \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$$

Сопротивление нити при температуре термостата:

$$R_0 = (151 \pm 81) \text{ Ом}$$

Для температуры  $T = 63.3 \text{ }^\circ\text{C}$  :

$Q$ , Вт	$R_n$ , Ом
155.95	0.088
156.25	0.078
156.10	0.071
156.01	0.064
155.77	0.0586
155.38	0.053
155.56	0.049
155.44	0.045

Таблица 4: Таблица зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

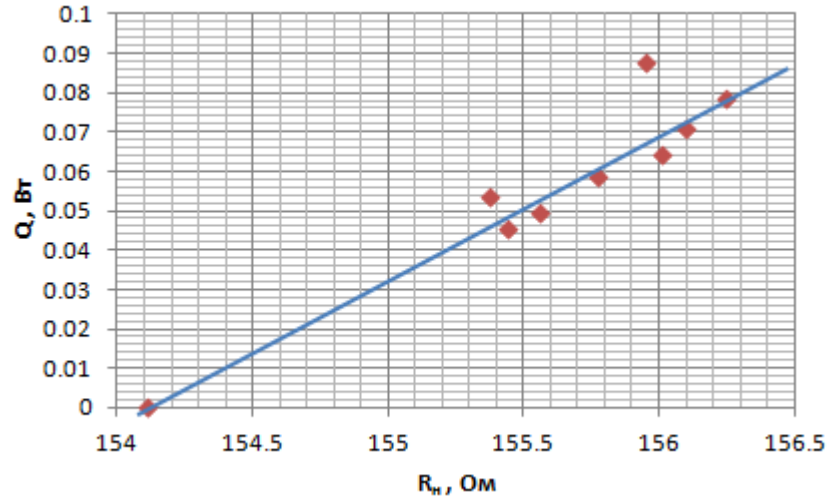


Рис. 3: График зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

Коэффициент наклона графика:

$$\frac{dQ}{dR_n} = (0.037 \pm 0.012) \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$$

Сопротивление нити при температуре термостата:

$$R_0 = (154 \pm 68) \text{ Ом}$$

Для температуры  $T = 73.2 \text{ }^\circ\text{C}$  :

$Q$ , Вт	$R_n$ , Ом
156.88	0.045
156.95	0.049
157.50	0.053
156.99	0.060
157.08	0.064
157.12	0.071
157.22	0.078
157.45	0.087

Таблица 5: Таблица зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

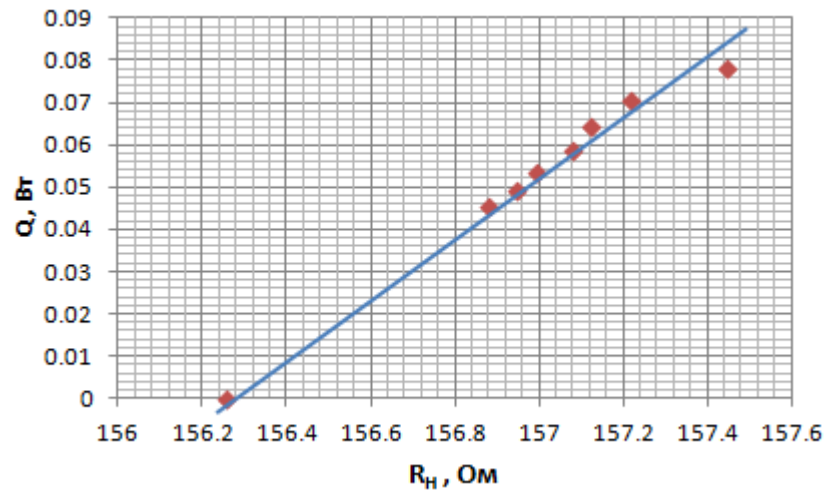


Рис. 4: График зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити

Коэффициент наклона графика:

$$\frac{dQ}{dR_H} = (0.077 \pm 0.009) \frac{\text{Вт}}{\text{Ом}}$$

Сопротивление нити при температуре термостата:

$$R_0 = (156 \pm 27) \text{ Ом}$$

3. Построим по значениям  $R_0$  график зависимости сопротивления нити от температуры

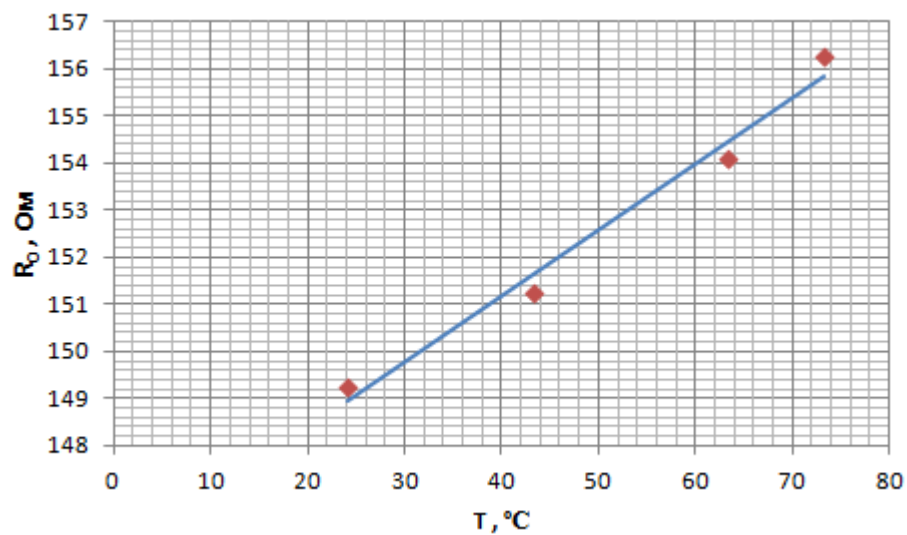


Рис. 5: График зависимости сопротивления нити от температуры

Коэффициент наклона графика:

$$\frac{dR}{dT} = (0.14 \pm 0.02) \frac{\text{Ом}}{^{\circ}\text{C}}$$

Следовательно, температурный коэффициент сопротивления материала нити

$$\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT} = (9.6 \pm 2.8) \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Кельвин}}$$

где  $R_{273} = (146 \pm 3) \text{ Ом}$ .

4. Для каждой температуры прибора определим значение коэффициента теплопроводности, если

$$\kappa = \frac{dQ}{dT} \frac{1}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1},$$

где  $L = 367 \text{ мм}$ ,  $r_1 = 0.025 \text{ мм}$ , а  $r_2 = 5 \text{ мм}$ .

$\kappa$ , Вт / м · град.	$\sigma_{\kappa}$ , Вт / м · град.	$T$ , К
0.015	0.009	297.35
0.011	0.004	316.45
0.012	0.004	336.45
0.025	0.005	346.35

Таблица 6: Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры

Построим график зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

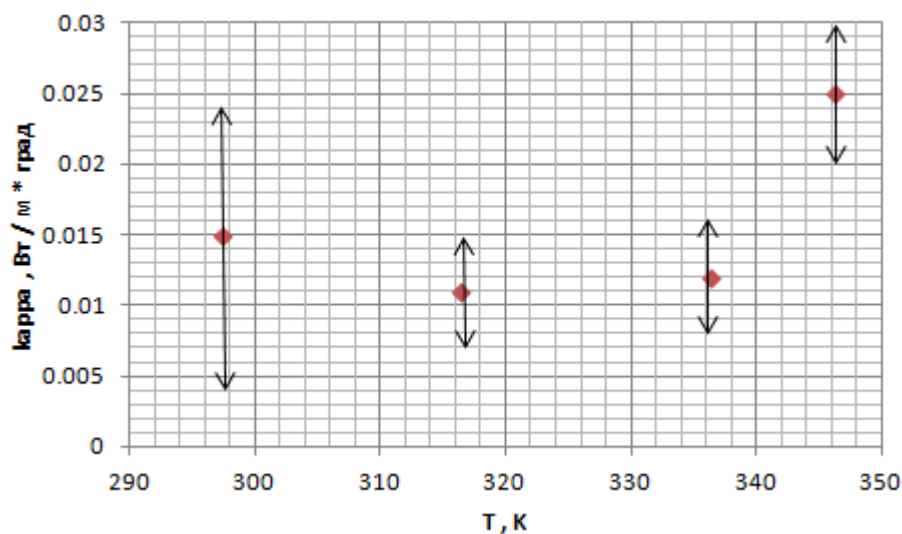


Рис. 6: График зависимости коэффициента теплопроводности от температуры

5. Предположим, что зависимость коэффициента теплопроводности от температуры имеет вид  $\kappa = AT^{\beta}$ , определим показатель степени  $\beta$ , построив график зависимости  $\ln \kappa$  от  $\ln T$ .



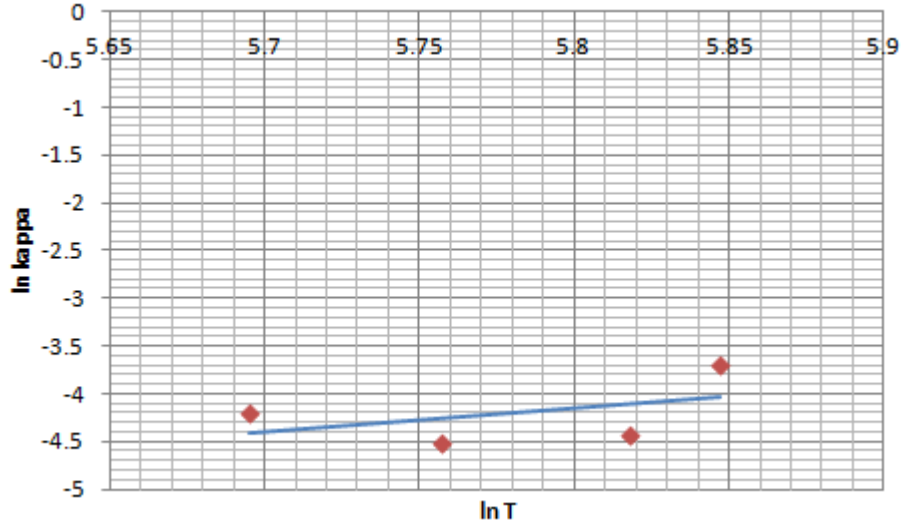


Таблица 7: График зависимости  $\ln \kappa$  от  $\ln T$

Следовательно,  $\beta \approx 2.4$ .

## Ответы на ряд контрольных вопросов

1. Так как длина свободного пробега  $\lambda = 1/(\sigma n)$ , а  $P = nkT$ , где  $n$  — концентрация молекул газа, при этом  $\kappa \sim \lambda$ , то  $\sigma \sim T^{1-\beta}$
2. По большей части цилиндрический столб газа в приборах для измерения теплопроводности газа делается тонким и длинным и располагается вертикально для того, что избежать возникновения конвекционных потоков.
3. Постараемся оценить влияние теплоотдачи через концы проволоки. Для этого рассмотрим участок проволоки длиной  $l = 4$  см, один конец которой нагрет до температуры  $T_1 = 24.2$  °C, а второй до температуры  $T_2 = 63.3$  °C. Коэффициент теплопроводности проволоки возьмём равным  $\kappa = 58.2$  Вт / ( м · град ). Тогда так как

$$|P| \approx \kappa \frac{S(T_2 - T_1)}{l},$$

где  $P$  — мощность тепловых потерь, то  $|P| \approx 2.23 \cdot 10^{-4}$  Вт.

## Заключение

В нашей работе мы получили большой разброс экспериментальных данных при снятии зависимости выделяемой мощности от сопротивления нити при небольших температурах. Это могло быть вызвано несколькими причинами: во-первых, возможно, что тепловое равновесие в установке не успевало установиться, однако получение одинаковых результатов после повторного проведения первых измерений говорит нам о

том, что это не так; во-вторых, для проведения измерений мог быть выбран недостаточно широкий диапазон; в-третьих, используемая установка могла быть неисправна или неверно настроена. В качестве наиболее вероятной причины в данном случае выступает вторая.

Несмотря на это, мы смогли найти температурный коэффициент сопротивления материала нити, а также коэффициент теплопроводности исследуемого газа при различных температурах. Однако мы не можем доверять полученному в пункте 5 показателю степени  $\beta$ , так как погрешность его определения сопоставима с самим полученным результатом. Возможные причины для этого, а также для других несоответствий табличным значениям были описаны выше, но стоит отметить, что сравнение полученных результатов с табличными значениями для нити затруднено тем, что сплавы, входящие в её состав, неизвестны.