

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа прикладной математики и информатики

**Отчёт о выполнении лабораторной работы 2.2.3**

Определение теплопроводности газов при атмосферном давлении

Автор:

Чикин Андрей и Симонов Евгений

Б05-304

Долгопрудный, 2023

# Содержание

1	Краткая Теория.	2
2	Экспериментальная установка	3
3	Обработка результатов измерений:	4
4	Вывод:	8

## Список иллюстраций

1	Схема установки для определения теплопроводности газов . . . . .	3
2	Электрическая схема установки. . . . .	4
3	График зависимости $R$ от $T$ . . . . .	6
4	Графики зависимости $Q$ от $R$ . . . . .	7
5	График зависимости $\ln k$ от $\ln T$ . . . . .	8

## Список таблиц

1	Параметры установки. . . . .	4
2	$U_{\Sigma}$ , $U_n$ , $I$ , $Q$ , $R_n$ при различных $T$ . . . . .	5
3	Зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры. . . . .	7

### Цель работы:

1. Определение коэффициента теплопроводности воздуха или углекислого газа при атмосферном давлении и разных температурах по теплоотдаче нагреваемой током нити в цилиндрическом сосуде

### Приборы:

1. прибор для определения теплопроводности газов
2. форвакуумный насос
3. газгольдер с углекислым газом
4. манометр
5. магазин сопротивлений
6. эталонное сопротивление 10 Ом
7. цифровой вольтметр В7 — 38
8. источник питания

## 1 Краткая Теория.

*Теплопроводность* — процесс, приводящий к выравниванию температуры в сосуде, где температура заключённого газа зависит от координат. Теплопроводность связана с тепловым движением молекул и не сопровождается макроскопическими перемещениями газа.

*Коэффициент теплопроводности* — основная характеристика теплопроводности — это коэффициент пропорциональности между плотностью потока тепла  $q$  и градиентом температуры  $dT/dr$  в направлении этого потока:

$$q = -\kappa \frac{dT}{dr} \quad (1.1)$$

В цилиндрически симметричной установке, в которой тепловой поток направлен к стенкам цилиндра от нити, полный поток тепла  $Q = qS$  через каждую цилиндрическую поверхность радиуса  $r$  должен в стационарном состоянии быть неизменен в пространстве и во времени. Тогда

$$Q = -2\pi r L \kappa \frac{dT}{dr} = \text{const} \quad (1.2)$$

$r$  — радиус цилиндра

$L$  — высота цилиндра

откуда получаем:

$$T_1 - T_2 = \frac{Q}{2\pi L \kappa} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1.3)$$

$r_1$  — радиус проволоки

$r_2$  — радиус трубы с воздухом

В нашем эксперименте необходимо найти:

$$\kappa = \frac{Q}{T_1 - T_2} \frac{1}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1.4)$$

$$R(t) = R_{273} \cdot (1 + \alpha t) \quad (1.5)$$

$$\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT} \quad (1.6)$$

$$k = \frac{dQ}{dT} \cdot \frac{1}{2\pi L} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (1.7)$$

$$\frac{dQ}{dT} = \frac{dQ}{dR_H} \cdot \frac{dR_H}{dT} \quad (1.8)$$

$\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления материала.

## 2 Экспериментальная установка

Схема лабораторной установке представлена на рисунке 1. Тонкая молибденовая проволока натянута по оси вертикально стоящей медной трубки. Через штуцер трубка заполняется исследуемым газом. Нить нагревается электрическим током, ее температура  $T_1$  определяется по изменению электрического сопротивления. Трубка находится в кожухе, через который пропускается вода из термостата. Температура воды  $T_2$  измеряется термометром, помещенным 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 включенном последовательно с ней эталонном сопротивлении 10 Ом. Таким образом, все величины, входящие в правую часть формулы (1), поддаются непосредственному измерению.

Электрическая часть схемы состоит из источника питания и подключенных к нему последовательно соединенных нити, эталонного сопротивления 10 Ом и магазина сопротивлений  $R_M$ , 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 нее.

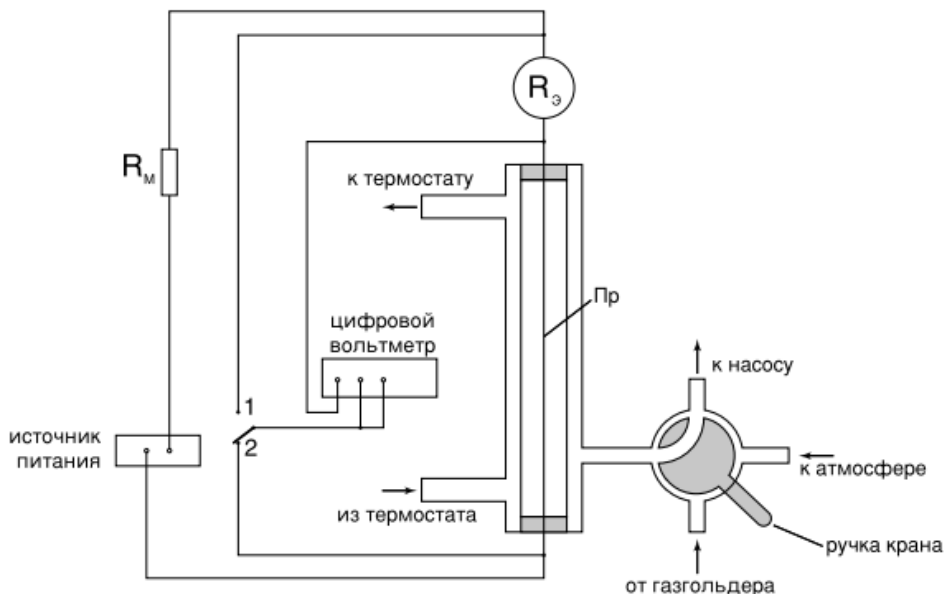


Рис. 1: Схема установки для определения теплопроводности газов

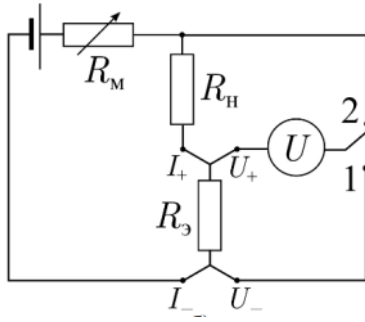


Рис. 2: Электрическая схема установки.

**н** — нить

**э** — эталон

### 3 Обработка результатов измерений:

$L$ , мм	$2r_1$ , мм	$2r_2$ , мм	$R_э$ , Ом
367	0.05	10	10

Таблица 1: Параметры установки.

Для 5 — 6 температур в интервале  $20 - 70$  °C найдем 8 — 9 значений  $U_э$ ,  $U_н$ ,  $I$ ,  $Q$ ,  $R_н$ . Для этого будем изменять  $R_M$  в доступных пределах.

Воспользуемся формулами: Закон Ома:

$$I = \frac{U_э}{R_э} \quad (3.1)$$

$$Q = IU_н = U_н \frac{U_э}{R_э} \quad (3.2)$$

$$R_н = \frac{U_н}{I} = R_э \frac{U_н}{U_э} \quad (3.3)$$

$T, K$	$U_{\text{с}}, \text{MB}$	$U_{\text{н}}, \text{MB}$	$I, \text{mA}$	$Q, \text{MBT}$	$R_{\text{н}}, \text{OM}$
24.5	119.5	1803.3	11.95	12.96	150.9
	129.1	1949.7	12.91	25.17	151.0
	170.1	2571.3	17.01	43.72	151.2
	200.0	3028.2	20.00	60.56	151.4
	224.5	3403.4	22.45	76.41	151.6
	246.4	3740.3	24.64	92.16	151.8
	264.9	4025.9	26.49	106.67	151.9
	283.5	4312.3	28.35	122.25	152.1
35	100.1	1525.4	10.01	15.27	152.3
	139.1	2121.4	13.91	29.51	152.4
	170.8	2608.3	17.08	44.56	152.6
	204.3	3095.7	20.43	64.31	152.8
	221.3	3385.8	22.13	74.92	152.9
	241.1	3692.7	24.11	89.04	153.1
	260.5	3994.1	26.05	104.04	153.3
	275.7	4230.3	27.57	116.62	153.4
45	98.0	1506.5	9.80	14.77	153.7
	140.9	2169.2	14.9	30.58	153.9
	170.9	2632.4	17.09	44.98	154.0
	190.7	2940.0	19.07	56.07	154.1
	220.5	3403.0	22.05	75.01	154.3
	240.1	3710.1	24.01	89.09	154.5
	260.2	4024.6	26.02	104.72	154.7
	275.2	4260.8	27.52	117.28	154.8
55	98.1	1521.1	9.81	14.92	155.1
	139.2	2160.4	13.92	30.07	155.2
	170.0	2642.4	17.00	44.93	155.4
	196.1	3050.6	19.61	59.83	155.5
	219.0	3410.6	21.90	74.69	155.7
	240.6	3749.9	24.06	90.22	155.8
	259.1	4042.0	25.91	104.72	156.0
	274.9	4292.7	27.49	118.01	156.1
65	98.0	1533.9	9.80	15.04	156.4
	139.2	2160.4	13.92	30.07	156.5
	169.2	2652.3	16.92	44.87	156.7
	195.0	3059.6	19.50	59.66	156.9
	218.2	3427.1	21.82	74.78	157.0
	239.6	3767.1	23.96	90.27	157.2
	258.8	4073.4	25.88	105.39	157.3
	278.7	4309.7	27.87	117.94	157.5

Таблица 2:  $U_{\text{с}}, U_{\text{н}}, I, Q, R_{\text{н}}$  при различных  $T$ .

Построим график зависимости сопротивления нити от температуры и найдём  $dR/dT$ :

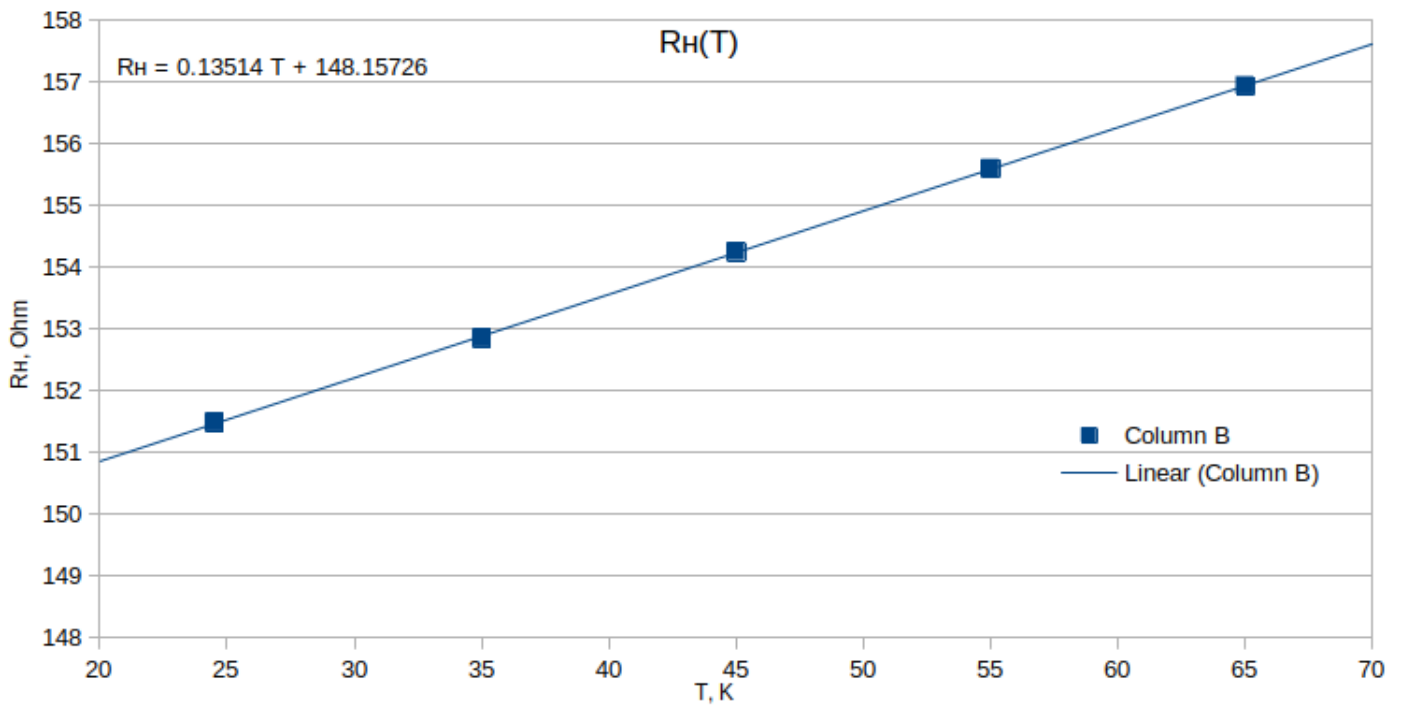


Рис. 3: График зависимости  $R$  от  $T$ .

Как видно, точки хорошо ложатся на прямую.

$$\frac{dR_n}{dT} = (0.1351 \pm 0.0008) \text{ Ом К}$$

Посчитаем температурный коэффициент сопротивления материала нити:

$$\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR_n}{dT} = 0.9 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

Построим для каждого  $T$  графики зависимости  $Q$  от  $R$ .

Найдем  $\frac{dQ}{dR_n}$  и  $\frac{dQ}{dT}$ .

Найдем  $k$ .

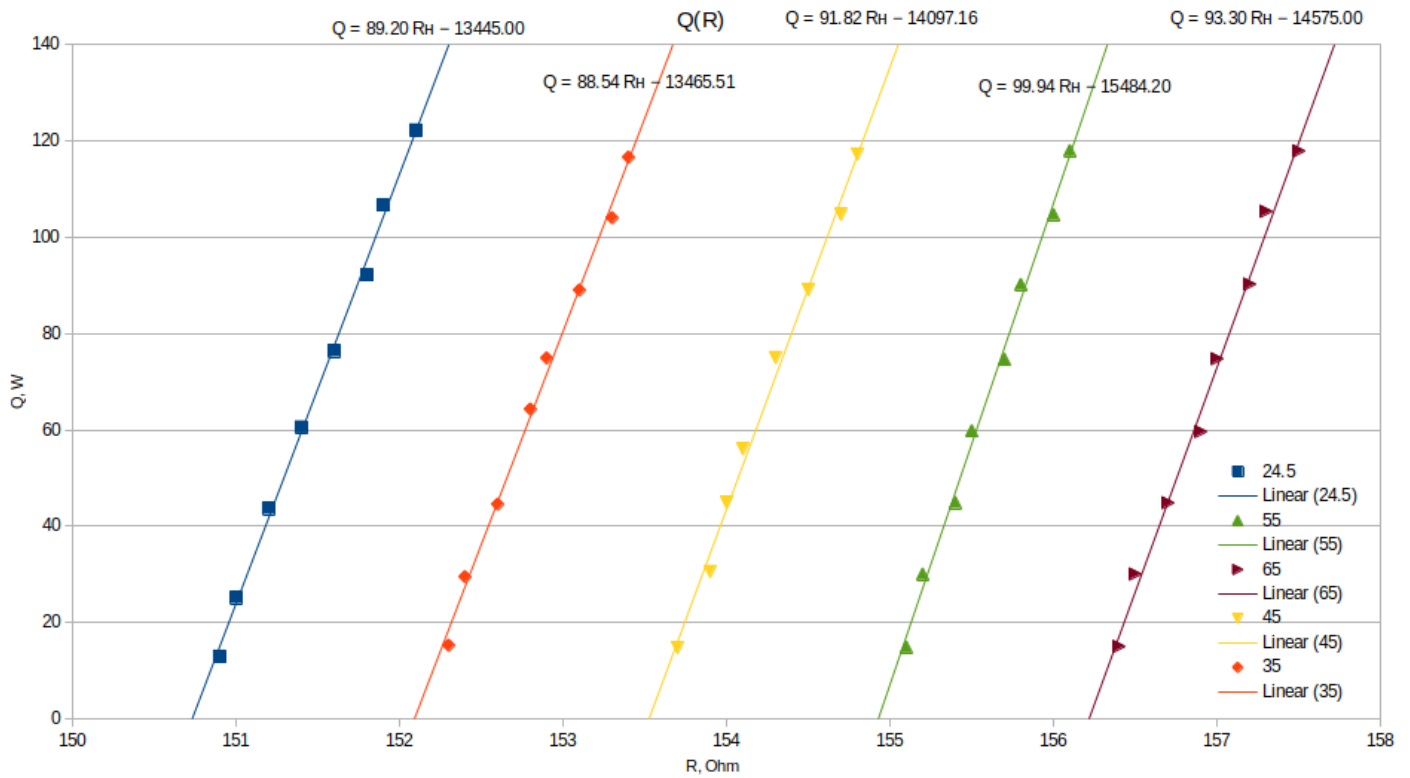


Рис. 4: Графики зависимости  $Q$  от  $R$ .

$T, ^\circ C$	$dQ/dR, \text{ мВт/Ом}$	$dQ/dT, \text{ мВт/К}$	$k, \text{ мВт/(м} \cdot \text{К)}$
24.5	89	12.02	$39.63 \pm 0.50$
35.0	88	11.89	$39.19 \pm 0.92$
45.0	91	12.29	$40.52 \pm 1.36$
55.0	100	13.51	$44.53 \pm 1.36$
65.0	93	12.56	$41.41 \pm 1.36$

Таблица 3: Зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры.

$$k = A \cdot T^\beta \quad (3.4)$$

Построим график зависимости  $\ln k$  от  $\ln T$ :



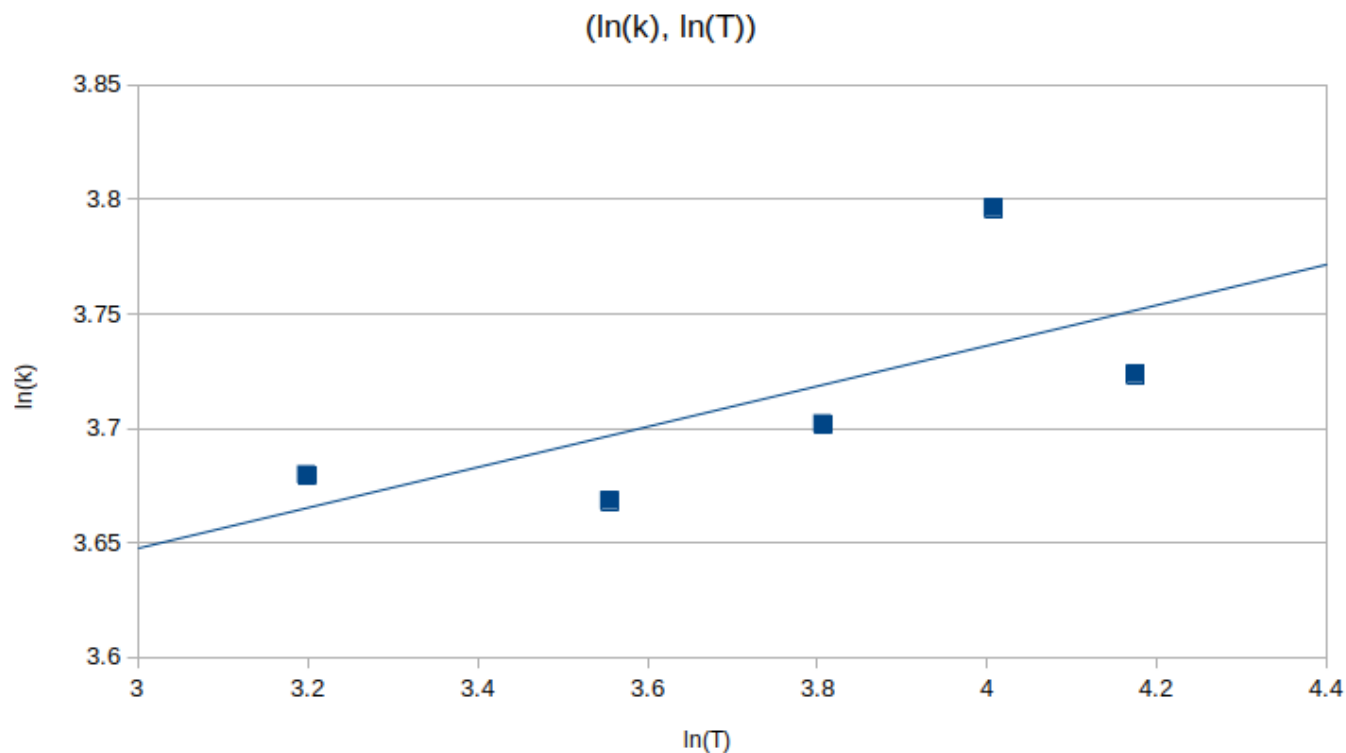


Рис. 5: График зависимости  $\ln k$  от  $\ln T$

## 4 Вывод:

В данной лабораторной работе мы исследовали зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры. Получили температурный коэффициент сопротивления нити:

$$\alpha = 0.9 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

(Можно было бы сделать вывод о материале проволоки, но получившееся значение не совпадает с табличными)

Получили зависимость коэффициента теплопроводности воздуха от температуры. (см. т. 3).

$$k \approx 41 \text{ мВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Что не совпадает с табличными значениями:

$$k_r \approx 25 \text{ мВт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Погрешность может быть связана с высшими силами.

И построили график зависимости  $\ln k$  от  $\ln T$ . (см. рис. 5), которая должна быть линейная. Как можно видеть, линейной она не получилась.

:3