

Лабораторная работа 2.2.3  
Определение теплопроводности газов при  
атмосферном давлении

Зажигина Е.А., Боева Г.Л., группа 816

МФТИ, Апрель 2019

## 1 Цель работы:

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

## 2 Оборудование:

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

## 3 Теоретические сведения:

Если температура заключенного в сосуд газа зависит от координат, в газе возникают процессы, приводящие к выравниванию температуры. В обычных условиях среди этих процессов наибольшую роль играет конвекция. Конвекция появляется из-за того, что легкий теплый газ поднимается вверх, а на его место опускаются более холодные массы газа. Конвекция не возникает, если температура газа повышается с высотой, если объем газа невелик или если он разбит на небольшие каналы или ячейки. В последних двух случаях возникновению конвекционных потоков мешает вязкость.

При отсутствии конвекции процесс переноса тепла замедляется, но не прекращается. Он происходит благодаря теплопроводности газа, связанной с тепловым движением молекул. Выравнивание температуры получается при этом из-за непрерывного перемешивания «горячих» и «холодных» молекул, происходящего в процессе их теплового движения и не сопровождающегося макроскопическими перемещениями газа.

Для цилиндрически симметричной установки, в которой поток тепла направлен к стенкам цилиндра от нити, расположенной по его оси, справедлива формула (2.13):

$$T_r - T_R = \frac{Q}{2\pi L \kappa} \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (1)$$

Нить цилиндра нагревается электрическим током. После того как устанавливается стационарный режим, тепловой поток  $Q$  становится равен джоулеву теплу, выделяемому в нити. Джоулево тепло легко рассчитать, зная сопротивление нити и силу протекающего по ней тока. Наибольшую

трудность вызывает измерение перепада температур. Решаем уравнение относительно  $\kappa$ :

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

## 4 Экспериментальная установка:

Схема установки изображена на рисунке 1. Тонкая нить (никелевая или вольфрамовая проволока) натянута по оси длинной 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 (2), поддаются непосредственному измерению.

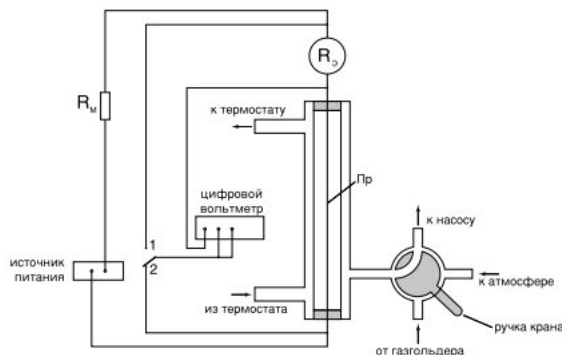


Рис. 1. Схема установки для определения теплопроводности газов

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.

При определенной температуре термостата снимается зависимость напряжения на нити от тока, проходящего через нее. Затем по полученным данным строится график зависимости рассеиваемой мощности от

сопротивления нити, по которому можно определить сопротивление нити при нулевом токе, то есть при температуре термостата. Это сопротивление затруднительно измерить непосредственно из-за термоэлектрических явлений, заметно искажающих результаты при малых токах, большие же токи существенно изменяют температуру нити. Повторив эти измерения при различных температурах термостата, можно определить температурную зависимость сопротивления нити. Коэффициент теплопроводности определяется затем по закону 138 Явления переноса зависимости выделяемой мощности от разности температур с помощью формулы (1). При небольших значениях разности температур эта зависимость хорошо аппроксимируется прямой.

## 5 Ход работы:

- Подготовим установку к работе: включим вольтметр, термостат, проверим исправность. Ее параметры:  $L = 365\text{мм}$

$$2r_1 = 0.055\text{мм} \quad 2r_2 = 10 \text{ мм}$$

- Снимим зависимость напряжения на нити  $U_n$  от напряжения на эталонном сопротивлении  $U_s$ . Примем во внимание, что нить молибденовая (таблица ниже)

- Повторим измерения для нескольких значений температур в интервале 20 -70 градусов по Цельсию. Рассчитаем величины:

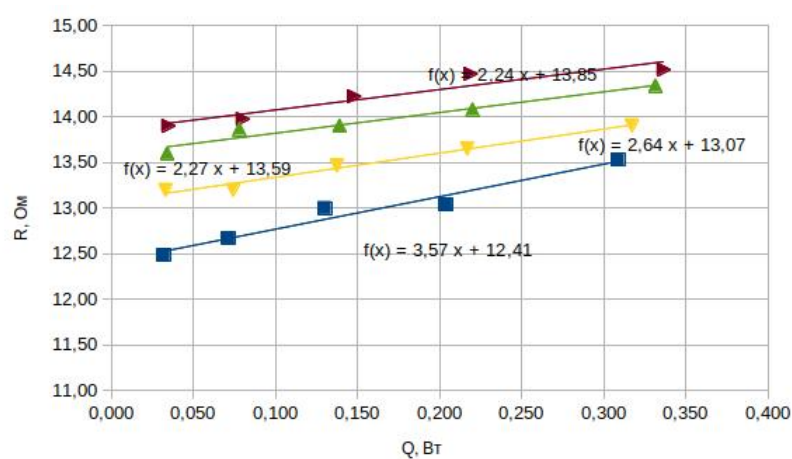
а) Выделяемая мощность  $Q = 0,1 U_n * U_s$

б) Сопротивление нити  $R_n = 10 U_n / U_s$

| T, K  | $U_s$ , В | $U_n$ , В | Q, Вт | $R_n$ , Ом           |
|-------|-----------|-----------|-------|----------------------|
| 296,4 | 0,51      | 0,6305    | 0,032 | 12,48                |
|       | 0,75      | 0,95      | 0,071 | 12,67                |
|       | 1,00      | 1,3       | 0,130 | 13,00                |
|       | 1,25      | 1,63      | 0,204 | 13,04                |
|       | 1,51      | 2,043     | 0,308 | 13,53                |
|       |           |           |       |                      |
|       |           |           |       | $\varepsilon(dR/dQ)$ |
|       |           |           |       | 0,11                 |
| 313,2 | 0,50      | 0,66      | 0,033 | 13,20                |
|       | 0,75      | 0,99      | 0,074 | 13,20                |
|       | 1,01      | 1,36      | 0,137 | 13,47                |

|       |      |      |       |                      |
|-------|------|------|-------|----------------------|
|       | 1,26 | 1,72 | 0,217 | 13,65                |
|       | 1,51 | 2,1  | 0,317 | 13,91                |
|       |      |      |       |                      |
|       |      |      |       | $\varepsilon(dR/dQ)$ |
|       |      |      |       | 0,06                 |
| 323,9 | 0,50 | 0,68 | 0,034 | 13,60                |
|       | 0,75 | 1,04 | 0,078 | 13,87                |
|       | 1,00 | 1,39 | 0,139 | 13,90                |
|       | 1,25 | 1,76 | 0,220 | 14,08                |
|       | 1,52 | 2,18 | 0,331 | 14,34                |
|       |      |      |       |                      |
|       |      |      |       | $\varepsilon(dR/dQ)$ |
|       |      |      |       | 0,10                 |
| 332,7 | 0,50 | 0,70 | 0,035 | 13,90                |
|       | 0,76 | 1,06 | 0,080 | 13,98                |
|       | 1,02 | 1,45 | 0,148 | 14,23                |
|       | 1,23 | 1,78 | 0,219 | 14,47                |
|       | 1,52 | 2,21 | 0,336 | 14,52                |
|       |      |      |       |                      |
|       |      |      |       | $\varepsilon(dR/dQ)$ |
|       |      |      |       | 0,15                 |

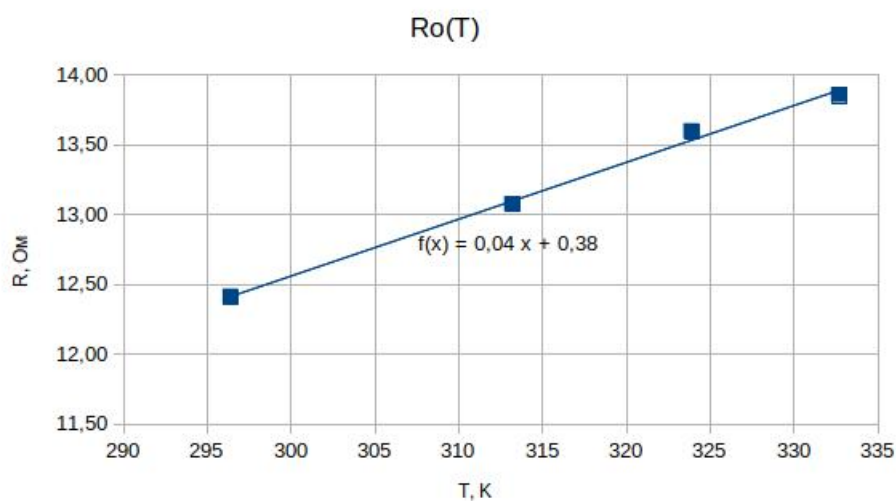
- Построим графики зависимости R от Q для каждого значения температуры:



Для каждого графика определим следующие значения:

| T, K  | dQ/dR | R <sub>0</sub> , Ом |
|-------|-------|---------------------|
| 296,4 | 0,27  | 12,41               |
| 313,2 | 0,37  | 13,07               |
| 323,9 | 0,42  | 13,59               |
| 332,7 | 0,40  | 13,85               |

- Построим график зависимости  $R_0$  от температуры и определим наклон графика:



$$dR/dT = 0.04$$

$$\sigma(dR/dT) = 0,0014$$

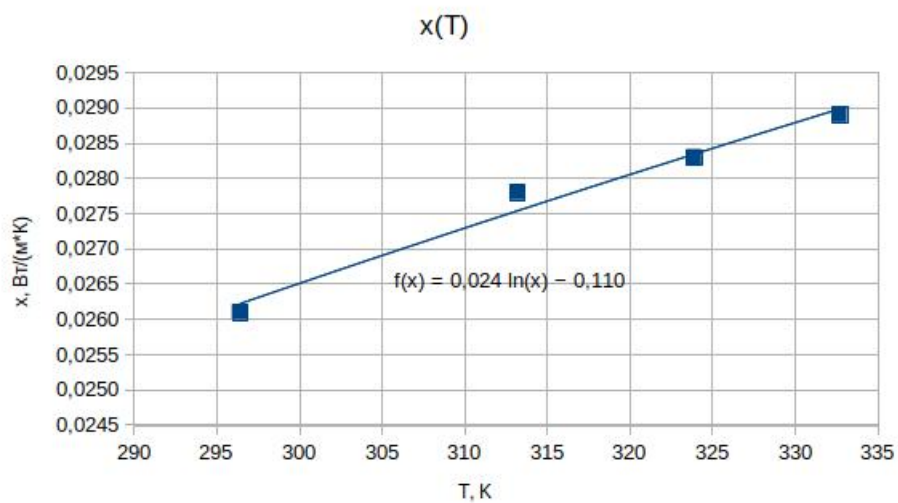
$$\alpha = \frac{1}{R_{273}} \frac{dR}{dT} = 0,003542$$

$$R_{273} = 11.464, \text{ Ом}$$

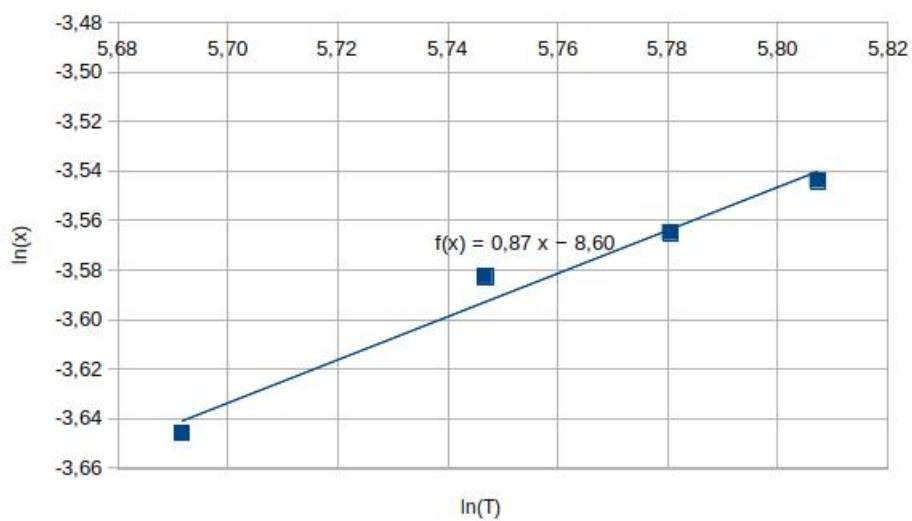
- Определим значения коэффициента теплопроводности газа от температуры по известным нам формулам и построим график зависимости:

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

$$\frac{dQ}{dR} = \frac{dQ}{dT} * \frac{dT}{dR}$$



- Предположим, что зависимость коэффициента теплопроводности от температуры имеет вид  $\kappa = AT^\beta$ . Чтобы определить  $\beta$ , построим график зависимости логарифма  $\kappa$  от логарифма температуры:



$$\beta = 0.8717$$

$$\sigma_\beta = 0,0692$$