

Лабораторная работа

"Определение коэффициента теплопроводности воздуха"

Можаров А.Р.

19.03.2023

Цель работы: изучение теплопроводности воздуха как одного из явлений переноса в газах, измерение коэффициента теплопроводности воздуха.

Приборы и оборудование: экспериментальная установка ФПТ-3 $\Delta U = 0,01$ В, термометр.

Параметры: $d = 6,4 \cdot 10^{-5}$ м, $D = 2,55 \cdot 10^{-2}$ м, $L = 0,402$ м, $\alpha = 4,1 \cdot 10^{-3}$, K^{-1} , $R_{\text{э}} = 42$ Ом.

Теоретическая часть

Теплопередача в газах осуществляется тремя способами: тепловым излучением, конвекцией и теплопроводностью.

При теплопроводности осуществляется непосредственная передача энергии от молекул с большей энергией к молекулам с меньшей энергией.

Для стационарного процесса, при котором разность температур в слое газа не изменяется со временем, количество теплоты dQ , которое переносится за время dt через площадку S , перпендикулярно к направлению r переноса энергии определяется по **закону Фурье**:

$$dQ = -k \frac{dT}{dr} S dt$$

где k - коэффициент теплопроводности, dT/dr - градиент температуры.

Рассмотрим два коаксиальных цилиндра, пространство между которыми заполнено газом. Если внутренний цилиндр нагревать, а температуру наружного цилиндра поддерживать постоянной (ниже температуры нагревателя), то в кольцевом слое газа возникает тепловой поток, направленный от внутреннего цилиндра к наружному. При этом температура слоёв газа, прилегающих к стенкам цилиндров, равна температуре стенок. Выделим в газе кольцевой слой радиусом r , толщиной dr и длиной L . По закону Фурье, количество теплоты P_T , которое проходит через этот слой за одну секунду, можно записать в виде:

$$P_T = -k \frac{dT}{dr} S = -k \frac{dT}{dr} 2\pi r L$$

Разделяя переменные, получим:

$$\frac{dr}{r} = -\frac{2\pi k L}{P_T} dT$$

Считая, что диаметр и температура внутреннего цилиндра равны соответственно d и T_1 , а внешнего D и T_2 , проинтегрируем:

$$\int_{d/2}^{D/2} \frac{dr}{r} = -\frac{2\pi kL}{P_T} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\ln \frac{D}{d} = \frac{2\pi kL}{P_T} (T_1 - T_2)$$

Получим формулу для коэффициента теплопроводности:

$$k = \frac{P_T \ln \frac{D}{d}}{2\pi L (T_1 - T_2)}$$

Внутренним цилиндром в работе служит вольфрамовая проволока, которая нагревается электрическим током. После установления стационарного режима мощность тепловых потерь можно принять равной тепловой мощности, выделяющейся при протекании по проволоке электрического тока:

$$P_T = I_H U_H$$

где I_H - ток через проволоку, U_H - падение напряжения на проволоке. Если последовательно с проволокой включить эталонный резистор с сопротивлением R_{Ξ} , то:

$$I_H = \frac{U_R}{R_{\Xi}} \quad P_T = \frac{U_R U_H}{R_{\Xi}}$$

Отсюда:

$$k = \frac{U_R U_H \ln \frac{D}{d}}{2\pi L R_{\Xi} \Delta T}$$

Здесь D и d – диаметры наружного цилиндра и проволоки; $\Delta T = T_H - T_T$ – разность температур проволоки и наружного цилиндра (трубки). Температуру трубки T_T можно принять равной температуре окружающего воздуха.

Для вычисления разности температур ΔT в слое газа напомним формулы, по которым определяют сопротивление проволоки при температуре окружающего воздуха и в нагретом состоянии:

$$R_{H0} = R_0(1 + \alpha t_0) \quad R_H = R_0(1 + \alpha t)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления материала проволоки, а R_0 – сопротивление проволоки при $t = 0$ °C. Исключив из этих равенств R_0 , найдём:

$$\Delta T = t - t_0 = \frac{R_H - R_{H0}}{\alpha R_{H0}} (1 + \alpha t_0)$$

Учитывая, что:

$$R_H = \frac{U_H}{I_H}, I_H = \frac{U_R}{R_{\Xi}}, R_{H0} = \frac{U_{H0}}{I_{H0}}, I_{H0} = \frac{U_{R0}}{R_{\Xi}}$$

Получим:

$$\Delta T = \frac{(\frac{U_H}{U_R} - \frac{U_{H0}}{U_{R0}})(1 + \alpha t_0)}{\frac{U_{H0}}{U_{R0}} \alpha}$$

Здесь U_H , U_{H0} - падение напряжения на проволоке соответственно в нагретом состоянии и при температуре t_0 окружающего воздуха; U_R , U_{R0} - падение напряжения на эталонном резисторе соответственно при нагретой проволоке и при температуре окружающего воздуха t_0 .

Практическая часть

Таблица 1:

№ опыта	U_{R0} , В	U_{H0} , В	U_{H0}/U_{R0}	$(U_{H0}/U_{R0})_{\text{ср.}}$	t_0 , °C
1	0,8	0,20	0,25	0,25	23
2	0,9	0,23	0,26		
3	1,0	0,26	0,26		
4	1,1	0,28	0,25		
5	1,2	0,31	0,26		

Таблица 2:

№ опыта	U_R , В	U_H , В	U_H/U_R	$U_H \cdot U_R$	ΔT , К	k , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$	$k_{\text{ср.}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$
1	7	1,89	0,27	13,23	21,4	0,03	0,04
2	7,5	2,03	0,27	15,225	21,4	0,04	
3	7,9	2,15	0,27	16,985	21,4	0,04	

Оценка погрешностей

Таблица 1:

№ опыта	U_{H0}/U_{R0}	$(U_{H0}/U_{R0})_{\text{ср.}}$
1	0,02	0,02
2	0,01	
3	0,01	
4	0,02	
5	0,01	

Таблица 2:

№ опыта	U_H/U_R	$U_H \cdot U_R$	ΔT , К	k , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$	$k_{\text{ср.}}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$
1	0,01	0,17	6,24	0,019	0,022
2	0,01	0,19	6,24	0,023	
3	0,01	0,20	6,24	0,025	

Контрольные вопросы

- 1). При теплопроводности осуществляется непосредственная передача энергии от молекул с большей энергией к молекулам с меньшей энергией.
- 2). Тепловой поток - это количество теплоты, переносимое через поверхность за единицу времени. Имеет размерность: $[\frac{\text{Дж}}{\text{с}}]$.
- 3).

$$\frac{Q}{\tau}$$

- 4).

$$k = \frac{1}{3} \rho \lambda \langle v \rangle C_V$$

5). В этом методе исследуемый газ находится в цилиндрической трубке, по оси которой натянута проволока из платины, никеля или другого металла, служащая одновременно источником тепла. Наружная поверхность трубки поддерживается при постоянной температуре, а через проволоку пропускается электрический ток, в результате чего проволока нагревается. Разность температур проволоки и стенок трубки и приводит к возникновению теплового потока. Динамическое равновесное состояние установится, когда выделяемое при прохождении электрического тока тепло будет равно количеству тепла, уносимого за счет теплопроводности. Если принять, что тепло идет от проволоки через газ только по радиусу, то изотермическими поверхностями в газе будут цилиндрические поверхности с общей осью – осью проволоки.