

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА

Цель работы: экспериментальное определение коэффициента теплопроводности воздуха.

Литература: [4] гл. 5 §§ 5.1, 5.2, 5.5; [7] гл. 7 §§ 7.1, 7.2, 7.4; [19] гл. 6 §§ 6.2–6.3.

Приборы и принадлежности: специальный прибор для определения коэффициента теплопроводности, источник тока ВС-4-12, реостат (10 Ом, 4 А), вольтметр (до 10 В), амперметр (0,5 А – 1 А), цифровой вольтметр, термометр (0–50°) с погрешностью не более 0,1°.

### ВВЕДЕНИЕ

Пусть два коаксиальных цилиндра радиусов  $r_1$  и  $r_2$  ( $r_1 > r_2$ ) и высотой  $h$  поддерживаются при постоянных температурах  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ). Пространство между ними заполнено газом с коэффициентом теплопроводности  $\chi$ . В этом случае между цилиндрами устанавливается определенное распределение температуры  $T(r)$ , не меняющееся со временем. Вследствие теплопроводности через любую коаксиальную с внутренним цилиндром поверхность с промежуточным радиусом  $r$  за единицу времени пройдет количество теплоты

$$Q = 2\pi r h q = -2\pi r h c \frac{dT}{dr}. \quad (1)$$

Разделяя переменные и интегрируя по радиусу в пределах ( $r_1, r_2$ ) и по температуре в пределах ( $T_1, T_2$ ), находим тепло, теряемое внутренним цилиндром за единицу времени вследствие теплопроводности:

$$Q = 2\pi h \chi (T_2 - T_1) \frac{1}{\ln(r_1/r_2)}. \quad (2)$$

Передача теплоты от внутреннего цилиндра к внешнему возможна не только благодаря теплопроводности, но и за счет лучеиспускания и

конвекции. Однако при вертикальном расположении цилиндров и при установке торцевых крышек, препятствующих возникновению конвекционных потоков, переносом теплоты за счет конвекции можно пренебречь.

Для оценки переноса теплоты между стенками цилиндров за счет лучеиспускания воспользуемся законом Стефана–Больцмана, согласно которому с единицы поверхности абсолютно черного тела за единицу времени излучается энергия  $Q_0 = \sigma T^4$ , где  $T$  – температура излучающей поверхности,  $\sigma$  – постоянная Стефана–Больцмана ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>).

Любое тело, которое не является абсолютно черным, при той же температуре излучает меньшую энергию  $AsT^4$ , где  $A < 1$  – поглощательная способность тела.

Обмен энергией за счет лучеиспускания приводит к тому, что внутренний цилиндр испускает в единицу времени энергию  $ASsT_2^4$ , а поглощает  $ASsT_1^4$ . Таким образом, результирующая энергия, отдаваемая поверхностью внутреннего цилиндра благодаря излучению, равна:

$$Q_1 = ASs(T_2^4 - T_1^4). \quad (3)$$

Если внутри малого цилиндра находится нагреватель с мощностью  $IU$ , то в стационарных условиях в силу закона сохранения энергии  $Q + Q_1 = IU$  ( $Q$  – энергия, отдаваемая внутренним цилиндром посредством теплопроводности). Поэтому

$$Q = IU - Q_1 = IU - ASs(T_2^4 - T_1^4). \quad (4)$$

Сравнивая (2) и (4), можно получить выражение для коэффициента теплопроводности

$$c = \frac{[IU - ASs(T_2^4 - T_1^4)] \ln r_1 / r_2}{2ph(T_2 - T_1)}. \quad (5)$$

Все величины, входящие в правую часть (5), могут быть измерены экспериментально, и по ним можно определить значение  $\chi$ .

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

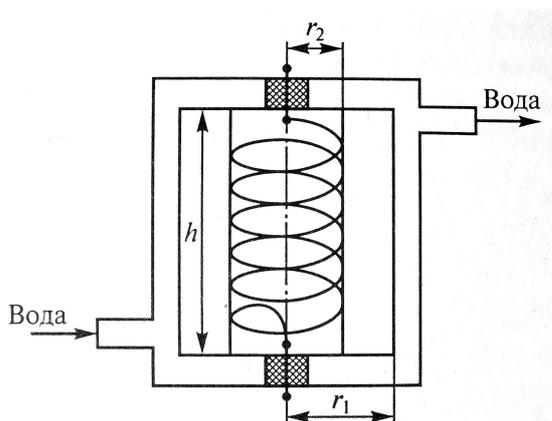


Рис. 5.4.1

Прибор для определения коэффициента теплопроводности состоит из двух коаксиально расположенных цилиндров с радиусами  $r_1$  и  $r_2$  высотой  $h$  (см. рис. 5.4.1).

Температура внутреннего цилиндра  $T_2$  зависит от мощности электрического нагревателя, помещенного внутри этого цилиндра. Мощность  $P$  спирали нагревателя определяется по показаниям амперметра  $A$  и вольтметра  $V_1$ , включенных в цепь нагревателя (см. рис. 5.4.2).

Температура внешнего цилиндра  $T_1$  определяется в основном температурой проточной воды, омывающей стенки внешнего цилиндра. Внешний цилиндр с торцевых сторон закрыт теплоизолирующими крышками, препятствующими возникновению конвекционных потоков воздуха между цилиндрами и теплообмену с внешней средой. Разница температур  $(T_2 - T_1)$  измеряется с помощью термопары. Возникающая в цепи термопары термоЭДС измеряется с помощью цифрового вольтметра  $V_2$ . В рабочем интервале температур зависимость термоЭДС  $E$  от разности температур контактов термопары  $\Delta T$  является практически линейной, причем

чувствительность термопары  $\frac{\hat{E}}{D\hat{T}} = 0,025 \frac{\mu\text{В}}{\text{град}} .$

## ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для выполнения необходимых измерений соберите установку по схеме (рис. 5.6.2). Непосредственно перед началом измерений откройте кран и начните пропускать воду через “рубашку” внешнего цилиндра. После этого включите выпрямитель ВС-4-12 и установите силу тока 0,3 А в спирали

нагревателя. Через 20–25 мин., после того как установится термодинамическое равновесие (о чем можно судить по показаниям цифрового вольтметра), измерьте значения  $I$ ,  $U$  в цепи нагревателя и термоЭДС  $E$ . Рассчитайте разность температур между цилиндрами ( $T_2 - T_1$ ).

Проведите необходимые измерения при силах тока в спирали 0,35 А и 0,4 А и в каждом случае по формуле (5) определите коэффициент теплопроводности. Оцените погрешность измерения.

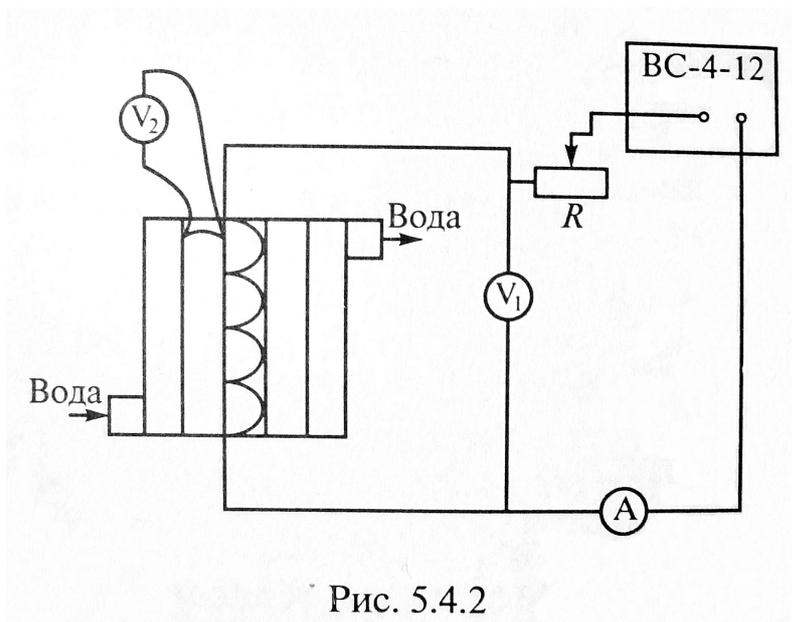


Рис. 5.4.2

При расчетах значения  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $h$  принимают равными соответственно  $4,05 \times 10^2$  м,  $0,95 \times 10^{-2}$  м, 0,3 м. Коэффициент  $\lambda$  для вещества цилиндров, используемых в работе, равен 0,8 (его величина зависит от качества покрытия поверхностей

цилиндров сажей).

### ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. По результатам эксперимента рассчитайте среднюю длину свободного пробега молекулы воздуха и ее эффективный диаметр.
2. Какова связь между коэффициентами теплопроводности, диффузии и внутреннего трения в газе?
3. Как коэффициент теплопроводности газа зависит от давления и температуры? Как оценить теплопроводность газа в состоянии технического вакуума?
4. Рассчитайте теоретическое значение коэффициента теплопроводности воздуха и сравните его с экспериментальным значением.

5. Объясните физические принципы измерения температуры с помощью термопары. Какие еще способы измерения температуры вы знаете?