

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 χ . 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, σ – постоянная Стефана–Больцмана ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ Вт/м²К⁴).

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 χ .

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

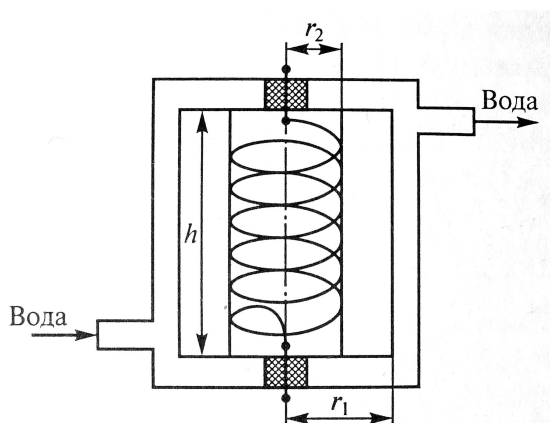


Рис. 5.4.1

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 ΔT 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.

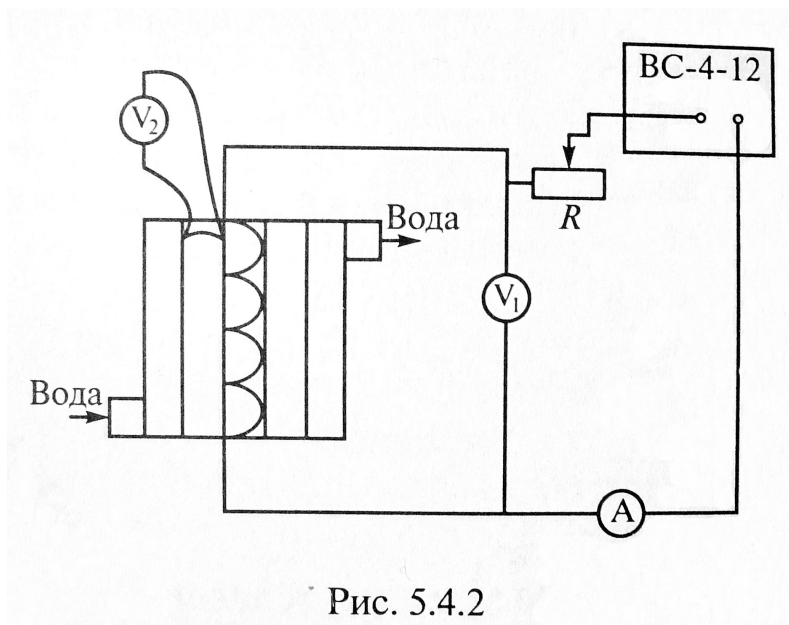


Рис. 5.4.2

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 A 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?