

Исследование взаимной диффузии газов

2.2.1

Цель работы:

- Регистрация зависимости концентрации гелия в воздухе от времени с помощью датчиков теплопроводности при разных начальных давлениях смеси газов;
- Определение коэффициента диффузии по результатам измерений.

В работе используются: измерительная установка; форвакуумный насос; баллон с газом (гелий); манометр; источник питания; магазин сопротивлений; гальванометр; секундомер.

Теория

Плотность потока вещества любого компонента в результате взаимной диффузии

$$j_a = -D_{ab} \frac{\partial \eta_a}{\partial x}, j_b = -D_{ba} \frac{\partial \eta_b}{\partial x} \quad (1)$$

где $D_{ab} = D_{ba}$ — коэффициент взаимной диффузии компонентов, j_a, j_b — плотности потока частиц соответствующего сорта

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки представлена на рис. Поток воздуха поступает через газовый счетчик в металлические трубки, трубки имеют заглушки и отверстия для подключения микроманометра. ??.

Ход работы

Данные измерений давления от расхода $\Delta P(Q)$ приведены ниже.

Ниже на графике крестами выделены точки, начиная с которых начинается турбулентное течение. С помощью МНК построим линейную зависимость для точек, которые предположительно принадлежат ламинарному течению (график и его анализ представлены ниже).

Из формулы Пуазейля имеем:

$$\Delta P = Q \cdot \frac{8\eta l}{\pi R^4} = Q \cdot k$$

Q , мл/с	ΔP , Па
06,4	9,81
17,8	29,42
31,0	49,04
44,4	68,65
57,2	88,26
69,7	107,88
84,0	127,49
85,0	133,38
92,3	147,11
98,0	166,72
102,7	186,33
104,2	205,95
106,4	225,56
109,9	245,18
Q , мл/с	ΔP , Па
27,0	9,81
86,0	29,42
52,0	19,61
116,8	39,23
138,5	49,04
149,7	58,84
158,7	68,65
165,0	78,46
171,0	88,26
203,0	127,49
233,0	166,72
263,0	205,95
285,0	239,29

Таблица 1: Для трубки d_1

Тогда для погрешности систематической получаем (с учётом, что погрешность ΔP есть погрешность измерения высоты столба воды, то есть равна $\sigma_{\Delta P} = 0,2 \cdot 9,807 \cdot \sigma_h = 1,9$ Па):

$$\sigma_k^{\text{сист}} = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta P}}{\Delta P_{\text{max}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_Q}{Q_{\text{max}}}\right)^2}$$

Из МНК имеем, что:

$$k = \frac{\langle Q \cdot \Delta P \rangle - \langle Q \rangle \cdot \langle \Delta P \rangle}{\langle Q^2 \rangle - \langle Q \rangle^2} \quad (2)$$

$$\sigma_k^{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \left(\frac{\langle \Delta P^2 \rangle}{\langle Q^2 \rangle} - k^2 \right)} \quad (3)$$

$$\sigma_k = \sqrt{(\sigma_k^{\text{случ}})^2 + (\sigma_k^{\text{сист}})^2} \quad (4)$$

$$\sigma_\eta = \eta \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2 + 4^2 \cdot \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2} \quad (5)$$

	d_1	d_2
$k \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	1,53	0,37
$\sigma_k^{\text{случ}} \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	0,02	0,03
$\sigma_k^{\text{сист}} \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	0,02	0,01
$\sigma_k \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	0,03	0,03
$\eta \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$	6,96	8,05
$\sigma_\eta \cdot 10^{-6}, \text{Па} \cdot \text{с}$	0,38	0,71

Таблица 2: Результаты из МНК и графика

То есть окончательно имеем, что:

$$\eta_1 = (6,96 \pm 0,38) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_2 = (8,05 \pm 0,71) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Далее найдём значение $Re = \frac{\rho Q}{\pi R \eta}$, $\sigma_{Re} = Re \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_Q}{Q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\eta}{\eta}\right)^2}$ для каждой трубки.

- d_1 : $Q_{\text{крит}} = 0,085 \text{ л/с}$. То есть $Re = 2304 \pm 140$.
- d_2 : $Q_{\text{крит}} = 0,149 \text{ л/с}$. То есть $Re = 2370 \pm 208$.

Далее определим длину участка трубы, на котором происходит установление потока. Построим график $P(x)$ для каждой трубы. Будем проводить прямую через все точки кроме первой, считая, что на них уже должно было почти установиться течение.

- d_1 . Ожидаемая длина: $l_{\text{уст}} = 0,2 \cdot R_1 \cdot Re = 0,91$ м.
- d_2 . Ожидаемая длина: $l_{\text{уст}} = 0,2 \cdot R_2 \cdot Re = 1,39$ м.

Вывод

Экспериментально исследовались свойства течения газов по тонким трубкам при различных числах Рейнольдса; выявить область применимости закона Пуазейля и с его помощью определить коэффициент вязкости воздуха. Получили вязкость воздуха:

$$\eta_1 = (6,96 \pm 0,38) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_2 = (8,05 \pm 0,71) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Учтя, что $\eta_{\text{табл}} = (1,3) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$. Это значение отличается от табличного, возможно это связано с тем, что был не правильно выбран "нулевой" уровень для измерения давления.

Число Рейнольдса получилось $Re_1 = 2304 \pm 140$ и $Re_2 = 2370 \pm 208$, что тоже отличается от $Re \sim 1000$, что скорее всего также связано с неправильным выбором "нулевого" уровня.