

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Лабораторная работа № 2.2.1
Измерение вязкости воздуха по течению в тонких трубках

Выполнил студент группы Б02-202
Сулимов Марк

Долгопрудный, 2023 г.

1 Аннотация

Работа посвящена исследованию зависимости теплопроводности от концентрации компонентов бинарной смеси газов при малом изменении концентраций. Измерялась теплопроводность газов во время диффузии. В результате была подтверждена линейная зависимость теплопроводности от концентрации, и найден коэффициент взаимной диффузии смеси воздух - гелий.

2 Введение

Многие приборы анализирующие состав газов непосредственно измеряют теплопроводность, таким образом для интерпретации данных полученных такими приборами необходимо знать зависимость теплопроводности от концентрации газов в смеси. Тем не менее даже для бинарной смеси газов зависимость весьма сложна. Одна из возможных эмпирических зависимостей описывается как [1]:

$$K = \frac{K_1}{1 + A \frac{n_1}{n_2}} + \frac{K_2}{1 + B \frac{n_2}{n_1}},$$

где K_1, K_2 - коэффициенты теплопроводности газов смеси, n_1, n_2 - их концентрации, A, B - коэффициенты. Основываясь на этом уравнении и предполагая изменение концентрации малым, можно выразить теплопроводность, через начальные концентрации n_{01}, n_{02} :

$$K = -\frac{K_1 \cdot \Delta n}{1 + An_{01}} + \frac{K_2 \cdot \Delta n}{1 + Bn_{02}}.$$

То есть теплопроводность линейно зависит от изменения концентрации.

Меж тем, теория диффузии хорошо описана во многих источниках. Так если рассмотреть квазистатический процесс диффузии в трубке при постоянных концентрациях на концах. Получим выражение для изменения концентрации примеси [2]:

$$\Delta n = \Delta n_0 \exp \frac{t}{\tau}, \tau = \frac{-VL}{2DS}$$

где τ - характерное время, D - коэффициент диффузии, S - площадь сечения трубки, V - объем сосудов, L - длина трубки, Δn_0 - начальная концентрация.

Таким образом, если теплопроводность линейно зависит от концентрации то она также должна описываться экспонентой к характерным временем τ .

3 Методика измерений

Схема установки изображена на рис ???. Установка состоит из двух сосудов V_1 и V_2 соединенных краном K_3 , форвакуумного насоса с выключателем T , манометра M и системы напуска гелия, включающей в себя краны K_6 и K_7 . Кран K_5 позволяет соединять форвакуумный насос либо с установкой, либо с атмосферой. Манометр M регистрирует давление газа, в сосудах. В силу того, что в сосуд требуется подавать малое количество гелия, между кранами K_7 и K_4 стоит кран K_6 , снабженный дозатором. Датчик теплопроводности меняет выходное напряжение в пропорционально теплопроводности газа, таким образом измеряя его можно найти τ .

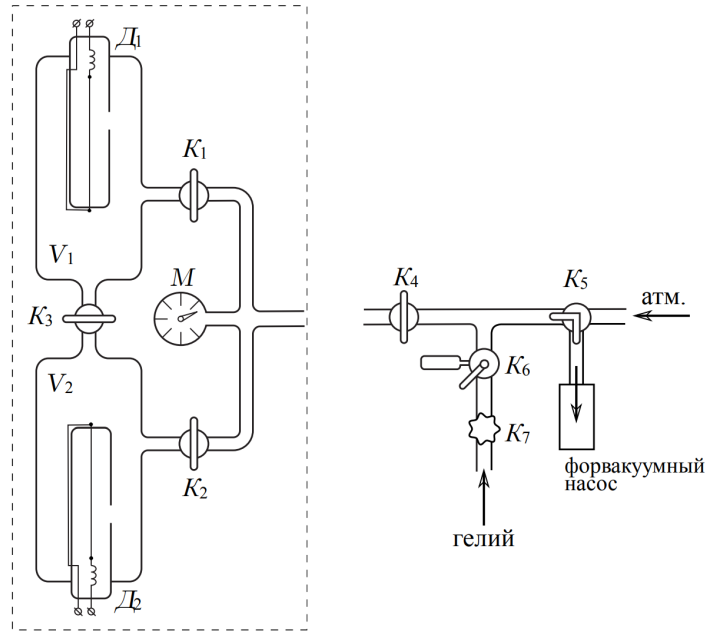


Рис. 1: Схема установки

4 Обсуждение результатов

Ниже на рис. 4 представлена зависимость времени от логарифма напряжения датчика теплопроводности во время диффузии при различных давлениях. Видно, что зависимость хорошо описывается линейной функцией. Из чего следует, что теплопроводность линейно зависит от концентрации.

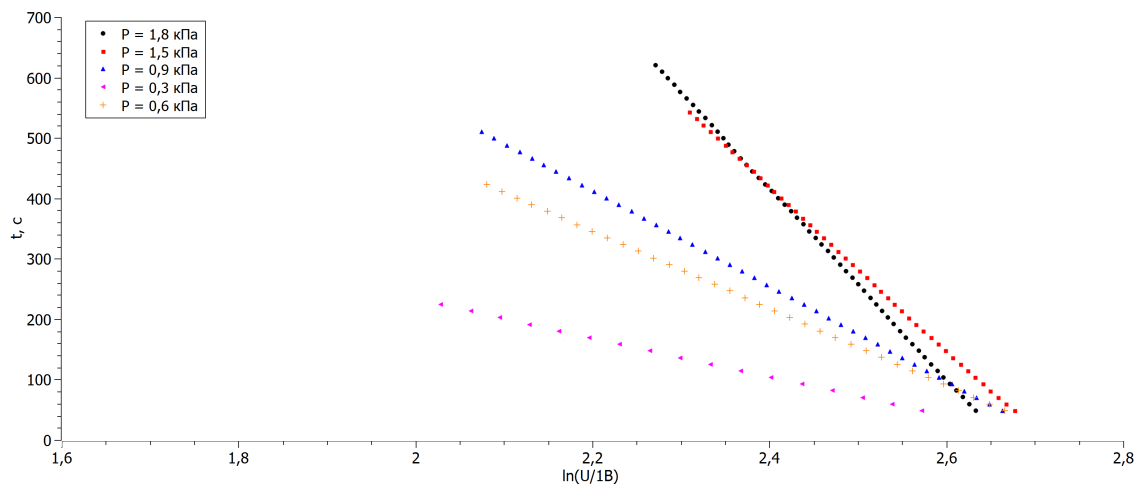


Рис. 2: Зависимость времени от логарифма напряжения

Из графика получены значения характерного времени τ для процессов диффузии при различных давлениях газа, они приведены в приложении А.

Ниже представлен график зависимости коэффициента диффузии от величины обратной давлению, в этих координатах зависимость хорошо описывается прямой. В результате аппроксимации $4 D_{\text{атм}} = 0,66 \pm 0,7 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ - коэффициент диффузии при атмосферном давлении.

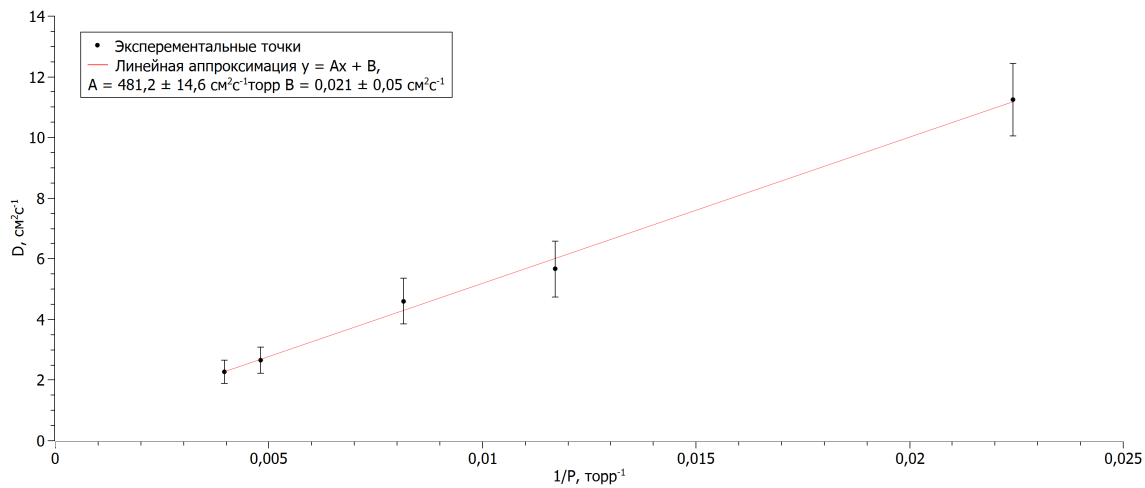


Рис. 3: зависимости коэффициента диффузии от величины обратной давлению

5 Выводы

В ходе работы проверено, что при малых концентрациях примесей в бинарной смеси газов зависимость теплопроводности от концентрации линейна. На исследуемом интервале коэффициент диффузии обратно пропорционален давлению, на что видно из рисунка 4. Аппроксимируя полученную зависимость, получено значение коэффициента диффузии при атмосферном давлении $D_{\text{атм}} = 0,66 \pm 0,7 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$.

Список литературы

- [1] Srivastava B N, Saxena S C. Thermal Conductivity of Binary and Ternary Rare Gas Mixtures // Proceedings of the Physical Society. Section B. 1957. apr. Т. 70, № 4. С. 369. URL: <https://dx.doi.org/10.1088/0370-1301/70/4/303>.
- [2] П. Попов В. Исследование взаимной диффузии газов. URL: https://mipt.ru/education/chair/physics/S_I/lab/rabota221/221.pdf.

А Экспериментальные данные

В приложении приведены таблицы и измеренными значениями.

P, торр	τ , с	D см ² с ⁻¹	σ_D см ² с ⁻¹
252,50	1588,00	2,28	0,38
208,00	1358,80	2,67	0,43
122,60	787,00	4,60	0,76
44,60	322,00	11,25	1,20
85,40	639,00	5,67	0,92

Таблица 1: Зависимость характерного времени τ и коэффициента диффузии D от давления P, σ_D - погрешность определения коэффициента диффузии