

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Отчет о выполнении лабораторной работы №2.2.1

Исследование взаимной диффузии газов

Выполнил студент группы Б03-405
Тимохин Даниил

4 марта 2025 г.

1. Аннотация

В данной работе исследуется диффузия бинарных смесей. А также подтверждаются формулы Фика для одномерного случая.

2. Теоретическая справка

Диффузия - процесс самопроизвольного взаимное проникновения веществ друг в друга. В нашем "одномерном" случае можно описать процесс с помощью формулы Фика.

$$j_{He} = -D \frac{dn_{He}}{dx} \quad j_{O_2} = -D \frac{dn_{O_2}}{dx}, \quad (1)$$

где D - коэффициент диффузии. В эксперименте предполагаются, что $P, T = const$, а значит и суммарная концентрация сохраняется. Тогда получаем, что $\Delta n_{He} = -\Delta n_{O_2}$. Поэтому будем рассматривать только поток гелия.

С учётом того, что за счёт меньшей массы и концентрации атомы гелия движутся намного быстрее, чем молекулы кислорода, то мы можем сказать что этот процесс приближённо описывается смешиванием маленьких частиц с большими стационарными. В данном случае можно использовать оценку для коэффициента диффузии

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v} \propto \frac{1}{P} \quad (2)$$

Примем упрощение, что диффузия происходит только в самой трубке. Тогда в трубке $j = -D \frac{\partial n}{\partial x} = const$ Тогда распределение концентрации в гелии $n(x) = \frac{\Delta n}{L} x$

При этом $\Delta n = n_2 - n_1$ и $N_1 = n_1 V$, $N_2 = n_2 V$. С условием, что у нас постоянная площадь S .

$$\frac{dN_1}{dt} = jS \quad \frac{dN_2}{dt} = -jS \quad (3)$$

Находим

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = \frac{\Delta n}{\tau} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{1}{D} \frac{VL}{2S} \quad (5)$$

Получаем

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

Для измерений мы воспользуемся тем, что $\kappa \sim n$ для небольших изменений n . Поэтому $U = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$

3. Оборудование

Экспериментальный стенд

4. Результаты измерений и обработка данных

Проведем замеры скорости диффузии при различных давлениях. В качестве показателя возьмём теплопроводность, а точнее напряжение на электродах. Из теории предположительная зависимость экспоненциальная. поэтому построим логарифм напряжения от времени.

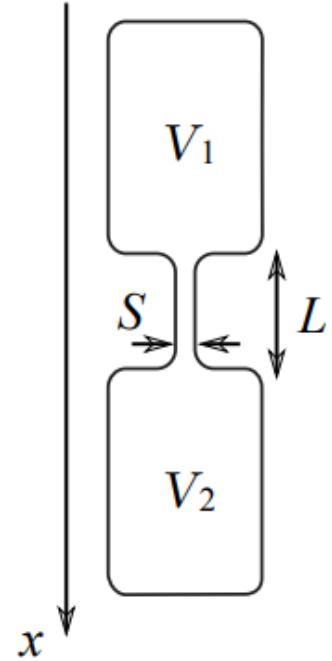


Рис. 1. Схема смешивания

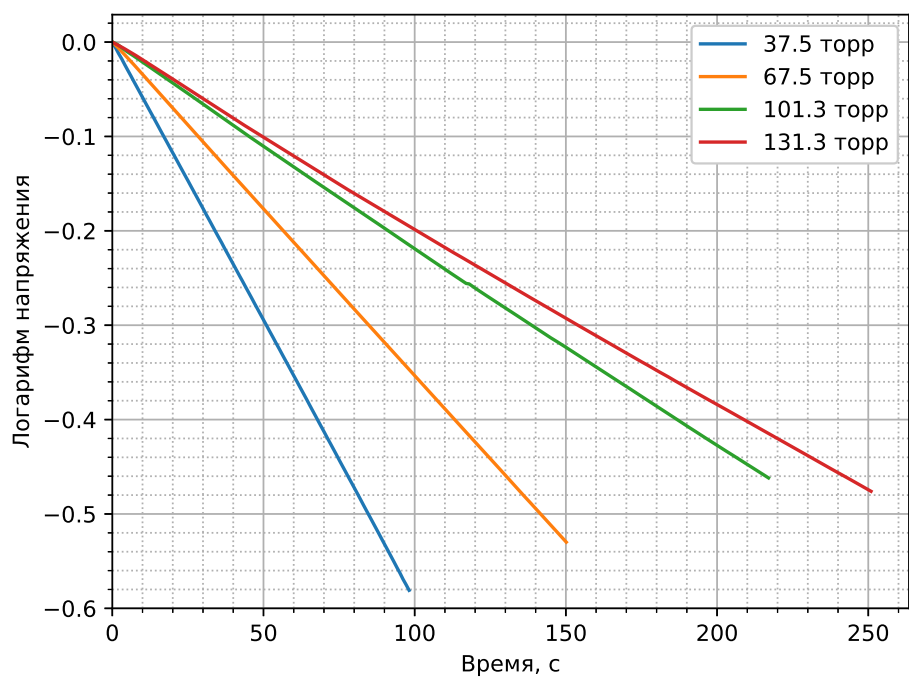


Рис. 2. График экспериментальных данных с логарифмической шкалой

давление, торр	коэффициент наклона, 1/с	характерное время диффузии, с	Коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{с}$	ε
37.5	-0.0059	169.0	12.15	0.0003
67.5	-0.0035	282.8	7.26	0.0002
101.3	-0.0021	469.4	4.37	0.001
131.3	-0.0018	528.0	3.89	0.001

Таблица 1. Обработанные данные

Получаем различные коэффициенты наклона с очень хорошей точностью. Из них находим коэффициент диффузии по формуле 5. и Построим зависимость D от P^{-1} .

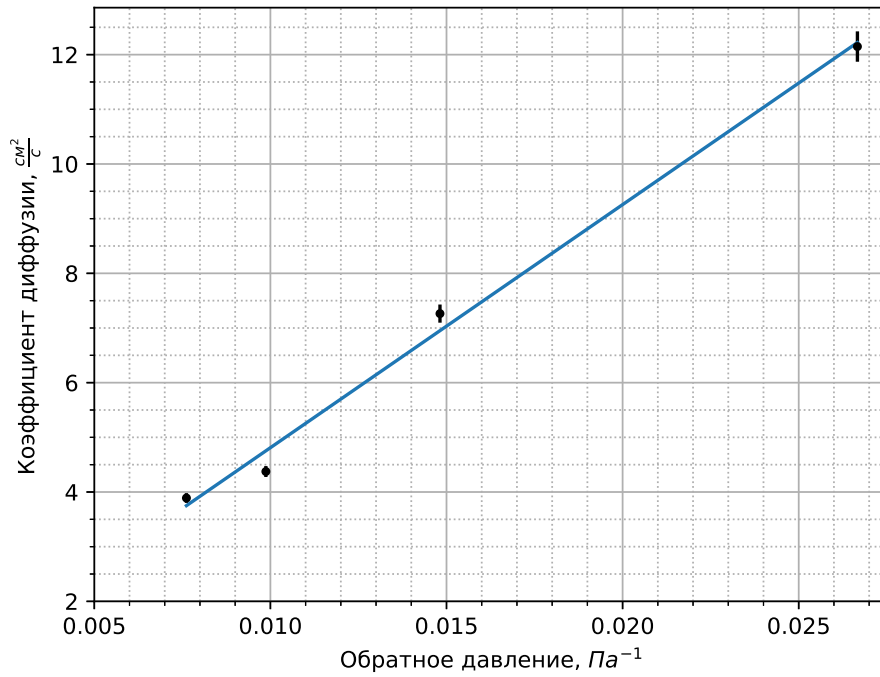


Рис. 3. График зависимости $D(P^{-1})$

Коэффициенты для линейной зависимости $D = k \cdot P^{-1} + b$:

$$k = 0.0445 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Па}}{\text{с}} \text{ и } \varepsilon_k = 0.03, b = 3.6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \text{ и } \varepsilon_b = 0.35$$

Из полученных значений получаем коэффициент диффузии для гелия в воздухе при атмосферном давлении равным $D_{760} = 9.5 \cdot 10^{-1} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$ и $\varepsilon_{D_{760}} = 0.14$.

Тогда для первого эксперимента проведем оценку. Используем оценку 2.

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad \lambda = \frac{3D}{\bar{v}} \quad (7)$$

Температура в комнате примерно была равна 21.5°C что равно 294.5K . Получаем $\lambda = 2.9 \cdot 10^{-6}\text{м}$.

$$\sigma = \frac{1}{\lambda n_0} \quad n_0 = \frac{N_a P}{RT} \quad (8)$$

Подставляя данные, получим $\sigma = 2.8 \cdot 10^{-19}\text{м}^2$ и газо-кинетический диаметр молекул $d = 3 \cdot 10^{-10}\text{м}$

5. Обсуждение результатов и выводы

Мы смогли с хорошей точностью определить коэффициент диффузии гелия в воздухе при атмосферном давлении. Он примерно равен $D_{760} = 9.5 \cdot 10^{-1} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$ и $\varepsilon_{D_{760}} = 0.14$.

Также были оценены длина свободного пробега и эффективное сечение столкновений: $\lambda = 2.9 \cdot 10^{-6}\text{м}$ и $\sigma = 2.8 \cdot 10^{-19}\text{м}^2$.

Было подтверждено, что коэффициент диффузии падает с ростом давления в бинарной смеси.