

Лабораторная 2.2.1
Исследование взаимной диффузии газов

Вячеслав Ждановский, студент 611 группы ФРКТ

Шамиль Вагабов, студент 611 группы ФРКТ

Станислав Токарев, студент 611 группы ФРКТ

23 апреля 2017 г.

Цель работы: 1) регистрация зависимости концентрации гелия в воздухе от времени с помощью датчиков теплопроводности при разных начальных давлениях смеси газов; 2) определение коэффициента диффузии по результатам измерений.

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

Теоретические сведения: диффузией называют самопроизвольное взаимное проникновение веществ друг в друга, происходящее вследствие хаотичного теплового движения молекул. При перемешивании молекул разного сорта говорят о взаимной (или концентрационной) диффузии. В системе, состоящей из двух компонентов а и b (бинарная смесь), плотности потоков частиц (количество частиц, пересекающих единичную площадку в единицу времени) в результате взаимной диффузии определяются законом Фика:

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

где D - коэффициент диффузии, в нашем приближении равный

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

где $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi\mu}}$ - средняя тепловая скорость, λ - средняя длина пробега диффундирующих частиц,

$$\lambda = \frac{1}{n_{\Sigma} \sigma} \quad (3)$$

где n - концентрация, σ - среднее сечение столкновения частиц гелия с воздухом.

$$\Rightarrow D \propto \frac{1}{P_{\Sigma}} \quad (4)$$

Схема установки: Кран К4 обладает повышенной вакуумплотностью и используется для изолирования измерительной части установки от возможных протечек гелия и воздуха. Двухходовой кран К5 служит для подключения форвакуумного насоса к установке, подачи воздуха в установку и соединения форвакуумного насоса с атмосферой. Устройство и назначение кранов К6 и К7 подачи гелия соответствуют основному описанию.

Для исследования взаимной диффузии газов и измерения коэффициента взаимной диффузии D используется два сосуда объёмами V_1 и V_2 ($V_1 \approx V_2 \equiv V$), соединенные трубкой длины L и сечения S (рис. 1). Предполагается, что сосуды заполнены смесью двух газов при одинаковом давлении, но с различной концентрацией компонентов. Вследствие взаимной диффузии, проходящей в соединительной трубке, концентрации компонентов в сосудах с течением времени выравниваются. Отметим, что диффузия — относительно медленный процесс, и для его наблюдения необходимо отсутствие конвекции, т.е. макроскопических течений газа как целого. Для этого необходимо обеспечить равенство давлений в сосудах до начала измерений. Путем преобразований получаем:

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-t/\tau} \quad (5)$$

где n_0 - разность концентраций в сосудах в начальный момент. Влиянием силы тяжести пренебрегаем, т.к. $mgh \ll kT$.

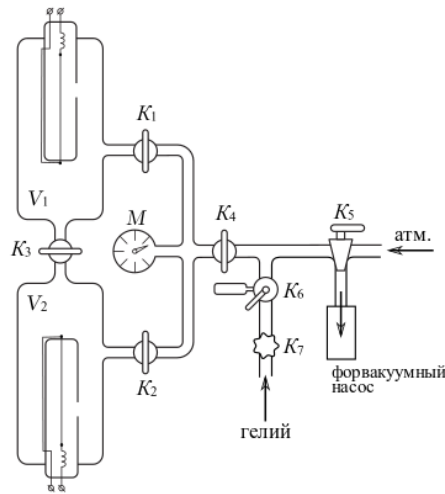


Рис. 1: Схема установки

Для измерения разности концентраций в установке применяются датчики теплопроводности. При этом используется тот факт, что теплопроводность смеси (κ) зависит от её состава. В общем случае зависимость $\kappa(n)$ довольно сложна, однако при малой разности Δn концентраций в сосудах можно ожидать, что разность теплопроводностей будет изменяться прямо пропорционально Δn .

В процессе диффузии показания вольтметра будут убывать по следующему закону:

$$U = U_0 e^{-t/\tau} \quad (6)$$

Ход работы:

1. Включаем все датчики, откачиваем установку, следуя инструкциям.
2. Выбираем в качестве начального давления - 40 торр.
3. Изолируем рабочие объёмы кранами K_1 и K_2 .
4. Балансируем мост.
5. Напускаем гелий и выравниваем давление в сосудах (при этом следим за временем).
6. Открываем кран K_3 и запускаем процесс диффузии.
7. Берем данные с компьютера.
8. Повторим измерения для $P=80$ и 160 торр.

P, торр	D, $\frac{cm^2}{s}$	$\sigma_D \frac{cm^2}{s}$
39.6	10,55	1.00
84	5.33	4.88
162	2.95	0.27

Таблица 1: Полученные коэффициенты

9. Построим график зависимости D от $1/P$.
10. Найдем из графика D при $P = 760$ торр.

$$D = 0,55 \pm 0.01 \frac{cm^2}{s} \quad (7)$$

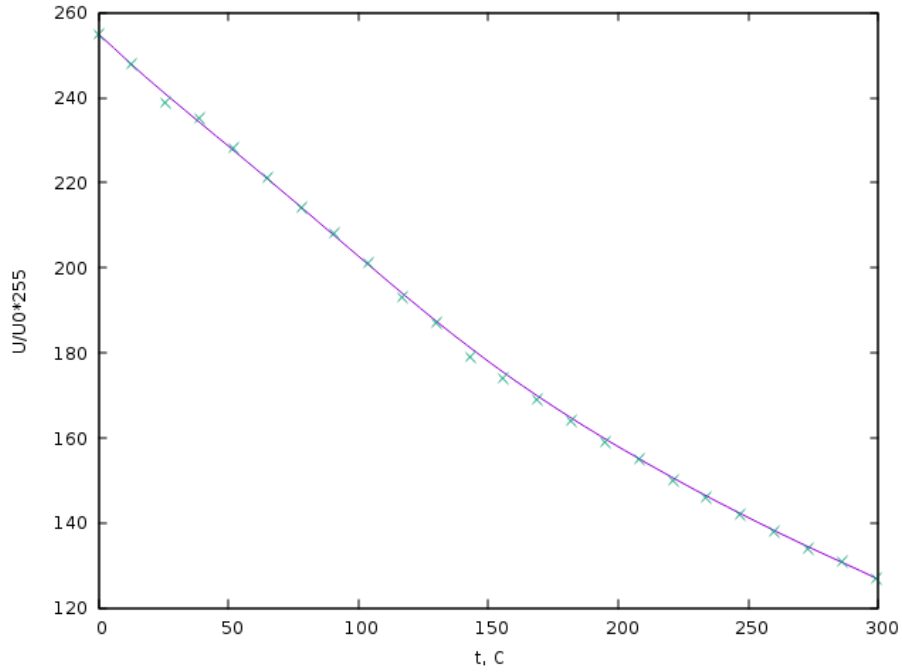


Рис. 2: P=40 торр

11. Оценим по формулам из теории длину свободного пробега и эффективное сечение столкновения атомов гелия с частицами воздуха.

$$\lambda_{He} = (137.22 \pm 1.27) \cdot 10^{-9} m \quad (8)$$

$$\sigma = (27.12 \pm 0.25) \cdot 10^{-20} m^2 \quad (9)$$

Подведение итогов: данный метод позволяет максимально полно исследовать явление диффузии газов, экспериментально подтверждая факт того, что к-т диффузии бинарной смеси обратно пропорционален давления и не зависит от пропорций компонентов, а также получать близкие к табличным значения коэффициентов диффузии.

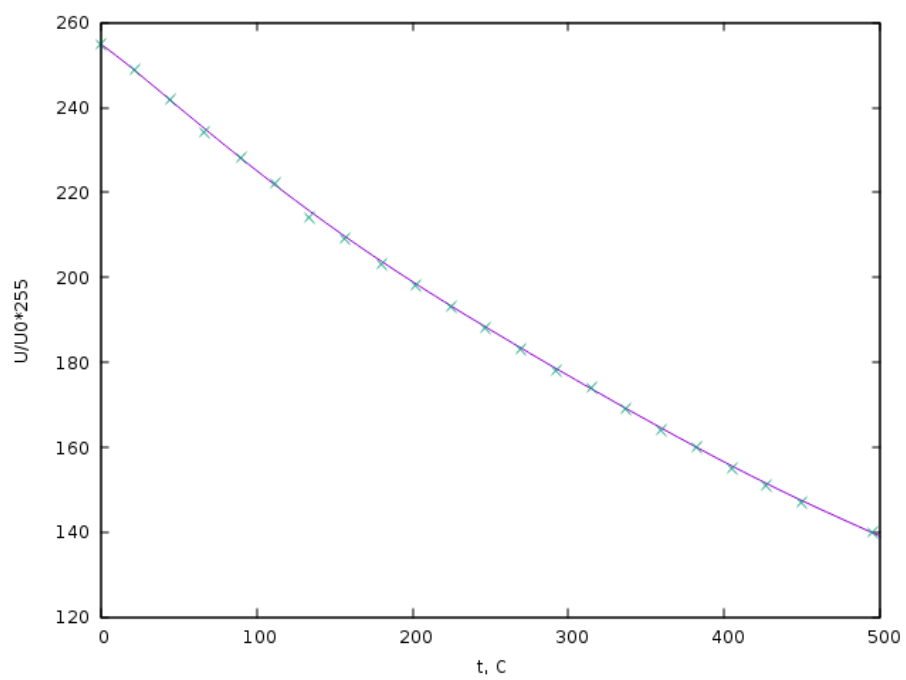


Рис. 3: $P=80$ торр

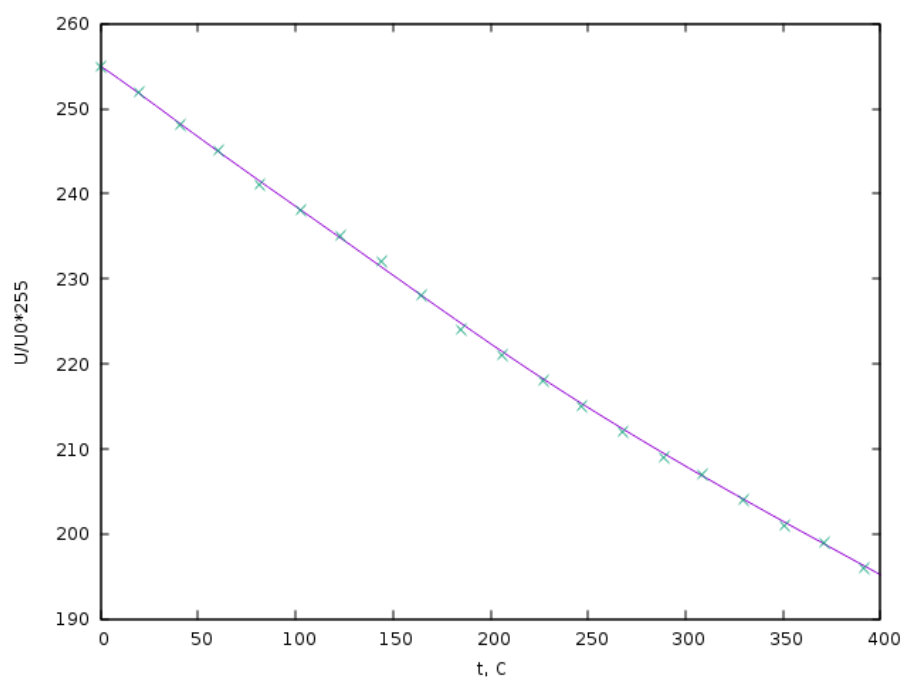


Рис. 4: $P=160$ торр

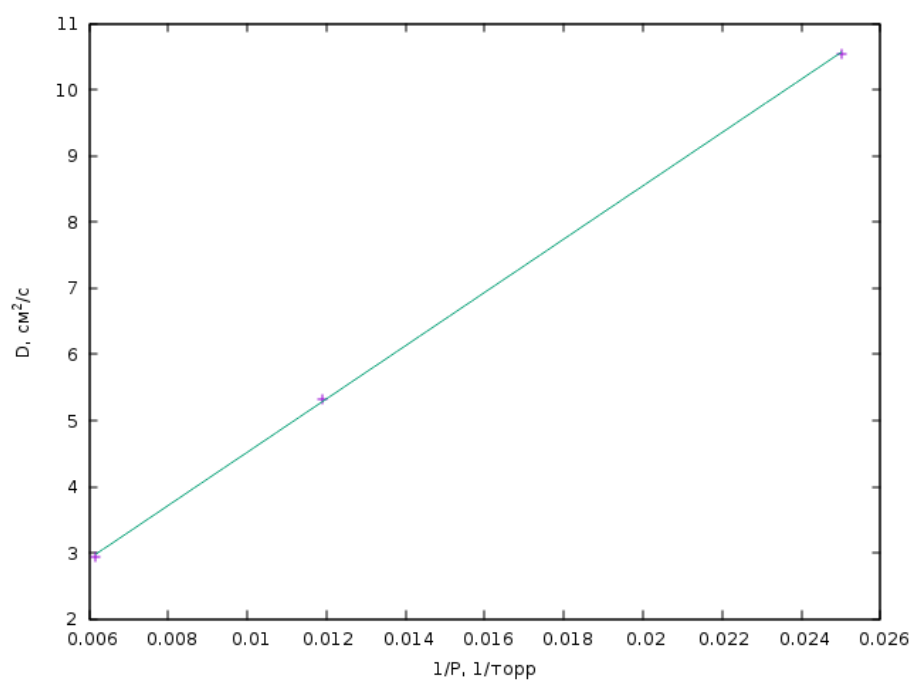


Рис. 5: Зависимость D от $\frac{1}{P}$