

Лабораторная работа 2.2.1
Исследование взаимной диффузии газов

Кагарманов Радмир Б01-106

17 мая 2022 г.

Цель работы: исследовать взаимную диффузию двух газов.

В работе используется: два сосуда объёмами V_1 и V_2 , соединённые трубкой длиной L и сечения S ; система откачки и напуска воздуха и гелия; форвакуумный насос; манометр.

Теоретические сведения

Диффузией называют самопроизвольное взаимное проникновение веществ друг в друга, происходящее вследствие хаотичного теплового движения молекул.

Диффузия в системе, состоящей из двух компонентов а и b (бинарная смесь), подчиняется закону Фика. Перемешивание газов в работе можно приближенно описывать как диффузию примеси лёгких частиц Не на практически стационарном фоне воздуха. Коэффициент диффузии в таком приближении равен:

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

где $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ - средняя тепловая скорость частиц примеси, $\lambda = \frac{1}{n_0\sigma}$ - их длина свободного пробега, n_0 - концентрация рассеивающих центров(фона), σ - сечение столкновения частиц примеси с частицами фона. Для бинарной смеси формула (1) сохраняется, если 1) под λ понимать величину $\lambda = \frac{1}{n_{\Sigma}\sigma}$, где $n_{\Sigma} = n_{\text{He}} + n_{\text{B}} = \frac{P}{k_{\text{B}}T}$ - полная концентрация частиц и 2) под \bar{v} понимать среднюю относительную скорость частиц разных сортов.

Таким образом, теория предсказывает, что коэффициент диффузии бинарной смеси обратно пропорционален давлению в системе $D \propto \frac{1}{P}$.

Разность концентраций будет убывать по экспоненциальному закону:

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

где $\tau = \frac{1}{D} \frac{VL}{2S}$.

В процессе диффузии разность концентраций убывает по закону (2), и по тому же закону изменяется напряжение:

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

Установка

Измерительная часть установки состоит из двух сосудов V_1 и V_2 , размещённых вертикально. Краны K_1 и K_2 служат для управления откачкой и подачей воздуха/гелия в сосуды. Диффузия осуществляется через тонкую короткую трубку, соединяющую сосуды, оснащённую краном K_3 .

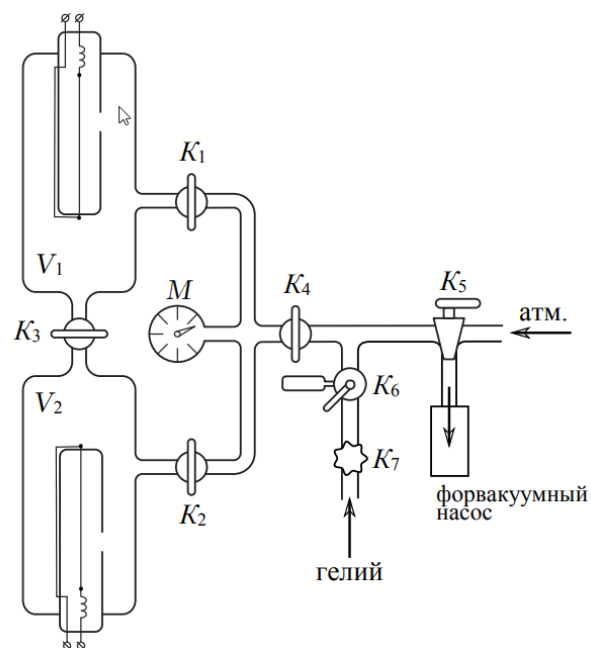


Рис. 1: Экспериментальная установка

К соединительным трубкам подключен манометр M , измеряющий разность давлений между соединительными трубками и атмосферой, и позволяющий измерять давления в разных частях системы (в зависимости от положения кранов).

Обработка результатов

1. Построим график зависимости $\ln U$ от t , чтобы по формулам (3) и $\tau = \frac{1}{D} \frac{VL}{2S}$ найти D для каждого эксперимента. Коэффициент диффузии

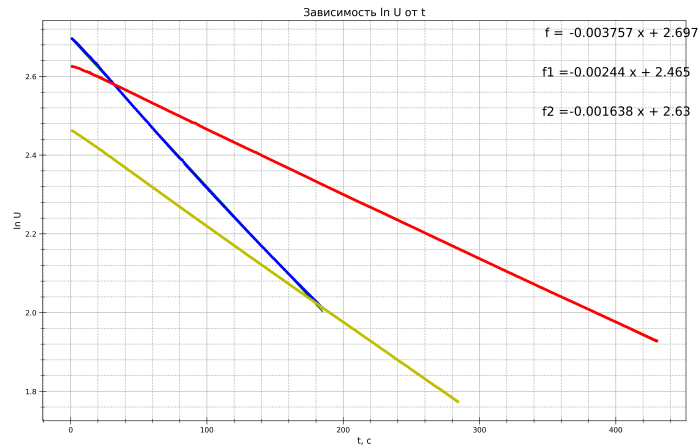


Рис. 2: Графики зависимости $\ln U$ от t

рассчитывается по формуле $D = -\frac{kVL}{2S}$, его ошибка будет составлять $\sigma_D = D \sqrt{(\frac{\sigma_V}{V})^2 + (\frac{\sigma_k}{k})^2 + (\frac{\sigma_{L/S}}{L/S})^2}$

Параметры установки: $V = 420 \pm 10 \text{ см}^3$, $L/S = (9,0 \pm 0,1) \frac{1}{\text{см}}$.

$$\begin{aligned}
 P_1 = 41,47 \text{ торр} : D_1 &= 7,10 \pm 0,19 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} \\
 P_2 = 82,94 \text{ торр} : D_1 &= 4,61 \pm 0,12 \frac{\text{см}^2}{\text{с}} \\
 P_3 = 120,64 \text{ торр} : D_1 &= 3,10 \pm 0,08 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}
 \end{aligned}$$

2. На Рис. 3 изображена зависимость $D(\frac{1}{P})$. С её помощью мы найдём коэффициент диффузии при атмосферном давлении.

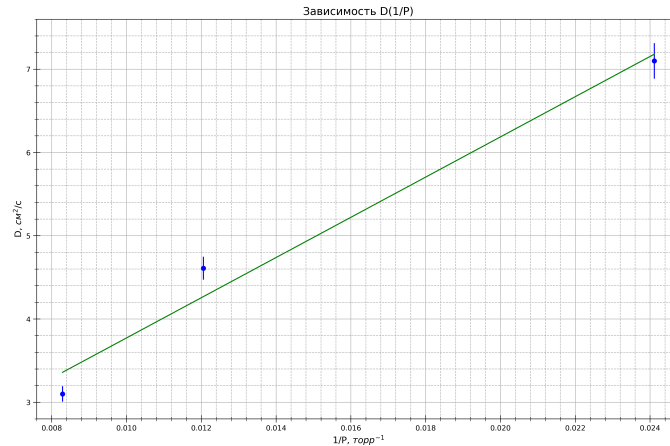


Рис. 3: График зависимости $D(\frac{1}{P})$

$$D_a = 0,675 \pm 0,061 \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$$

3. Оценим длину свободного пробега молекулы по формуле:

$$\lambda = 3D\sqrt{\frac{\pi\mu}{8RT}}$$

Возьмём температуру 296 K. Тогда $\lambda = 162$ нм.

Оценим эффективное сечение столкновений атомов гелия с частицами воздуха при температуре 299 K и давлении 10^5 Па:

$$\sigma = \frac{kT}{\lambda P} = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$$

Вывод: в данной лабораторной работе мы исследовали взаимную диффузию воздуха и гелия. Были найдены длина свободного пробега атомов гелия в воздухе $\lambda = 162$ нм и эффективное сечение столкновений атомов гелия с воздухом $\sigma = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$