

Лабораторная работа 2.2.1

Исследование взаимной диффузии газов

Татаурова Юлия Романовна

17 апреля 2024 г.

Теоретические сведения

Диффузия в системе из двух компонентов а и b подчиняется закону Фика:

$$j_a = -D \frac{\partial n_a}{\partial x}; j_b = -D \frac{\partial n_b}{\partial x} \quad (1)$$

где D - коэффициент взаимной диффузии компонентов.

В работе исследуется взаимная диффузия гелия и воздуха. Давление и температура предполагаются постоянными:

$$P = (n_{\text{He}} + n_{\text{в}})kT = \text{const} \Rightarrow \quad (2)$$

$$\Rightarrow \Delta n_{\text{в}} = -\Delta n_{\text{He}} \quad (3)$$

В работе концентрация гелия мала, к тому же атомы гелия легче молекул, составляющих воздух. Поэтому перемешивание газов в работе можно приближенно описывать как диффузию примеси легких частиц гелия на стационарном фоне воздуха. Тогда коэффициент диффузии равен:

$$D = \frac{1}{3} \lambda \bar{v} \quad (4)$$

где $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$ - средняя тепловая скорость частиц примеси; λ - длина свободного пробега

Таким образом, теория предполагает обратную пропорциональность коэффициента взаимной диффузии двух газов и давления.

Экспериментальная установка

Теоретические справки

Для исследования взаимной диффузии газов и измерения коэффициента взаимной диффузии D используется два сосуда объемами V_1 и V_2 ($V_1 \approx V_2$), соединенные трубкой длины L и сечения S .

В трубке установится стационарный поток частиц, одинаковый в каждом сечении трубки, иначе частицы бы накапливались там, и процесс не был бы стационарным. Исходя из этих соображений можно записать:

$$j = -D \frac{\partial n}{\partial x} = \text{const} \Rightarrow \quad (5)$$

$$\Rightarrow n(x) = \frac{\Delta n}{L} x \quad (6)$$

$$j = -D \frac{\Delta n}{L} \quad (7)$$

где Δn - разность концентраций гелия на концах трубки.

Также будем считать процесс квазистатическим, предполагая медленность его протекания. Т.е время процесса должно оказаться намного больше времени диффузии отдельной частицы вдоль трубки длиной L и сечением S .
 $\tau_{\text{диф}} \sim \frac{L^2}{2D} \ll \tau$

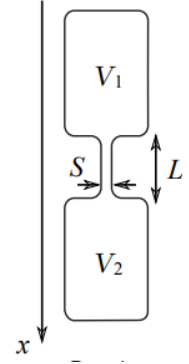


Рис. 1: Сосуд

$$\frac{dN_1}{dt} = jS ; \frac{dN_2}{dt} = -jS \Rightarrow \quad (8)$$

$$\Rightarrow \frac{d(\Delta n)}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau} \quad (9)$$

$$\tau = \frac{1}{D} \frac{VL}{2S} \quad (10)$$

Из уравнений выше получаем:

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

а также условие квазистатичности: $\tau_{\text{диф}} \ll \tau \Rightarrow SL \ll V$

Методика измерений

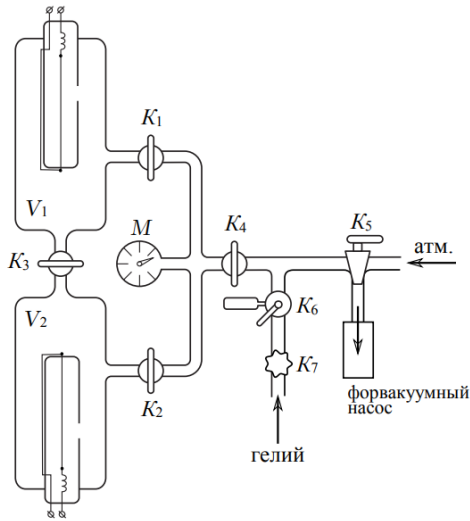
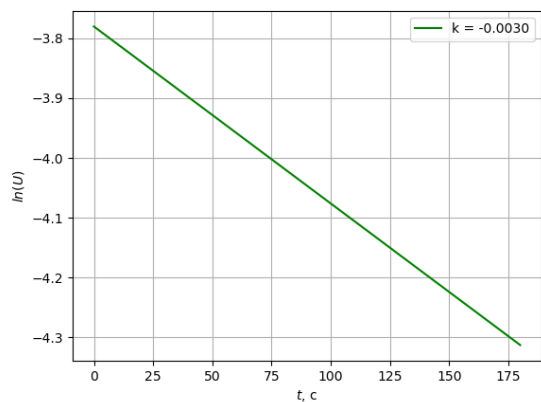
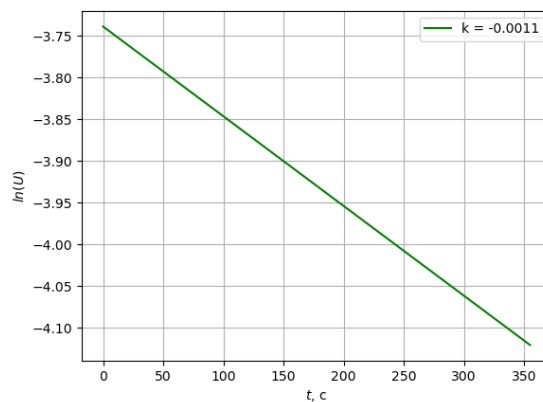


Рис. 2: Экспериментальная установка

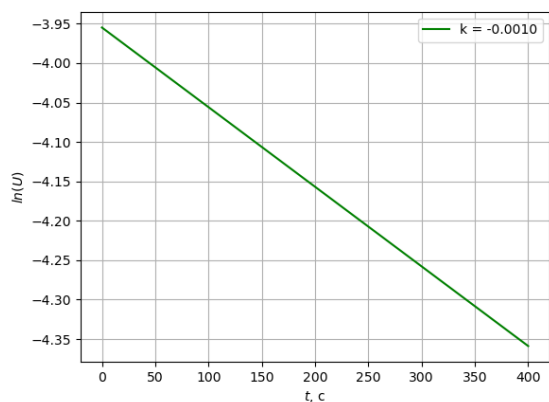
Для измерения разности концентраций в установке применяются датчики теплопроводности. Теплопроводность смеси зависит от ее состава и при малой разности Δn можно ожидать, что разность теплопроводностей будет прямо пропорциональна Δn : $\Delta k = k(n_2) - k(n_1) \approx \text{const} \cdot \Delta n$. Для измерения сопротивлений используется мостовая схема. Мост балансируется при заполнении сосудов одной и той же смесью. При заполнении сосудов смесями различного состава возникает «разбаланс» моста. При незначительном различии в составах смесей показания вольтметра будут изменяться по такому же закону, как и разность концентраций: $U = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$. Сама экспериментальная установка показана слева.



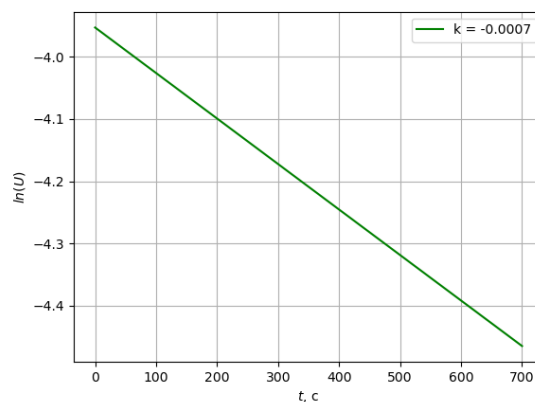
(a) $\ln(U)(t)$ при $P_1 = 41$ торр



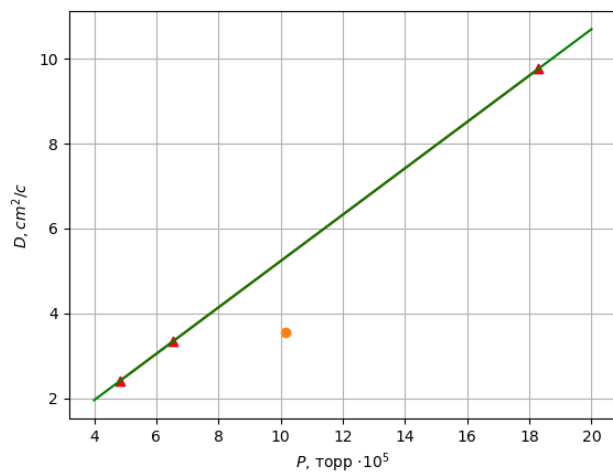
(b) $\ln(U)(t)$ при $P_2 = 74$ торр



(c) $\ln(U)(t)$ при $P_3 = 120$ торр



(d) $\ln(U)(t)$ при $P_4 = 155$ торр



P , торр	41	74	120	155
D , $\frac{\text{см}^2}{\text{с}}$	9.77	3.55	3.33	2.41
λ , $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	2.35	0.86	0.8	0.58

Экстраполируя полученную зависимость, находим значение коэффициента взаимной диффузии гелия с воздухом при атмосферном давлении и комнатной температуре $D = 0.31 \text{ см}^2/\text{с}$. Табличное значение этой величины при 0°C $0.62 \text{ см}^2/\text{с}$.