

Лабораторная работа № 2.2.1
Исследование взаимной диффузии газов

1 Аннотация

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; гальванометр; секундомер.

2 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 в результате взаимной диффузии определяются законом 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. Знак «минус» отражает тот факт, что диффузия идёт в направлении выравнивания концентраций. Равновесие достигается при равномерном распределении вещества по объёму.

В данной работе исследуется взаимная диффузия гелия и воздуха. Отметим, что давление и температура в системе предполагаются неизменным: $P_0 = (n_{He} + n_v)kT = const$, где n_{He} и n_v — концентрации диффундирующих газов. Поэтому для любых изменений концентраций справедливо $\Delta n_v = -\Delta n_{He}$. Следовательно, достаточно ограничиться описанием диффузии одного из компонентов, например гелия.

Приведём теоретическую оценку для коэффициента диффузии. В работе концентрация гелия, как правило, мала ($n_{He} \ll n_v$). Кроме того, атомы гелия легче молекул, составляющих воздух ($m_{He} \ll m_{N_2}, m_{O_2}$), значит их средняя тепловая скорость велика по сравнению с остальными частицами. Поэтому перемешивание газов в работе можно приближенно описывать как диффузию примеси лёгких частиц He на практически стационарном фоне воздуха. Коэффициент диффузии в таком приближении равен

$$D = \frac{1}{3} \lambda \langle v \rangle, \quad (2)$$

где $\lambda = \frac{1}{n\sigma}$ — длина свободного пробега диффундирующих частиц; $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ — их средняя тепловая скорость.

Предполагая, что процесс диффузии будет квазистационарным, можно показать, что разность концентраций будет убывать по экспоненциальному закону

$$\Delta n = \Delta n_0 e^{-t/\tau}, \quad (3)$$

где τ — характерное время выравнивания концентраций между сосудах, определяемое следующей формулой

$$\tau = \frac{1}{D} \frac{VL}{2S}. \quad (4)$$

3 Используемое оборудование

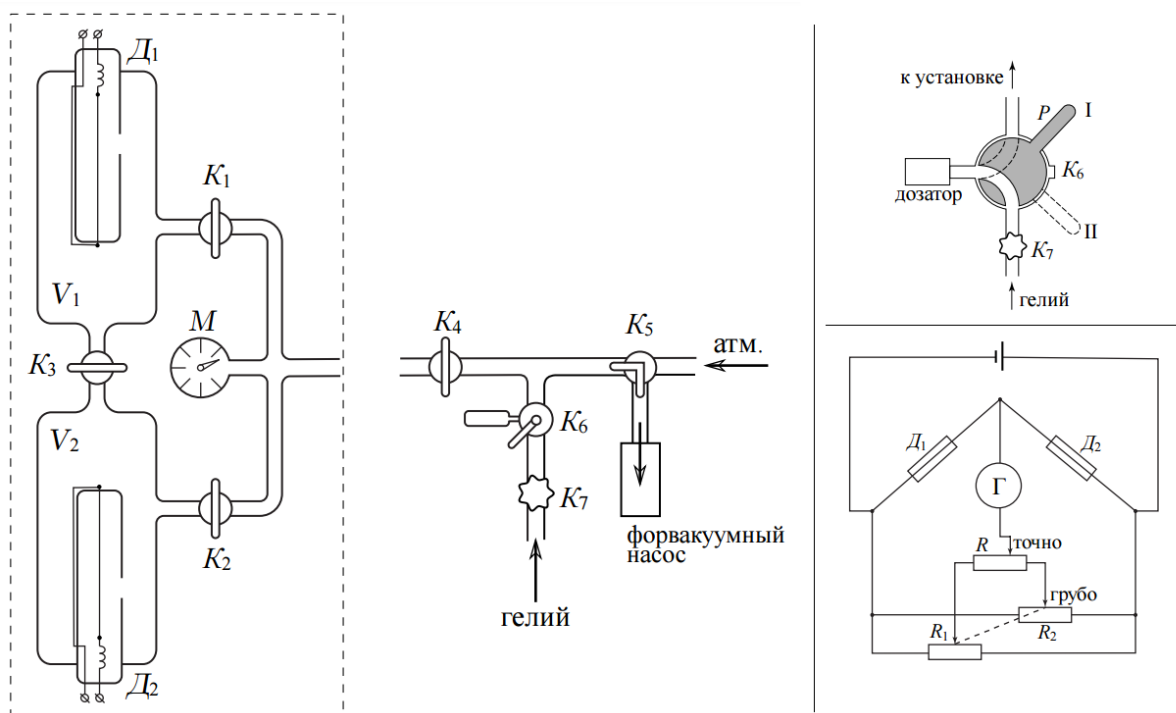


Рис. 1: Установка

Здесь V_1 , V_2 – два сосуда с примерно равным объемом, в которые мы будем загонять воздух и гелий.

Данная конструкция позволяет провести диффузию, которая возможна только при равенстве давлений.

Основное оборудование, с помощью которого мы будем снимать измерения – датчики теплопроводности, через которые пропускают ток. Они подключены к мосту, который позволяет нам устанавливать начальное равновесное состояние.

При изменении концентрации в колбах вольтметр покажет нам разность напряжений на датчиках, что, из-за их конструкции, означает разность концентраций.

С помощью изменения напряжения мы и будем изучать процесс диффузии, т.к. во время ее протекания концентрации газов начинают устанавливаться, что заметно на графике разницы напряжений от времени.