

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет общей и прикладной физики

## Отчет о выполнении работы 2.2.1. Исследование взаимной диффузии газов

Выполнил:  
Студент гр. Б02-304  
Головинов. Г.А.



Долгопрудный, 2024

## Аннотация

**Цель работы:** получить зависимость коэффициента диффузии от давления

**В работе используются:** компьютеризированная установка для измерений, манометр, барометр (для определения атмосферного давления).

## Основные теоретические сведения

*Диффузия* — самопроизвольное взаимное проникновение веществ друг в друга, происходящее вследствие теплового движения молекул.

Диффузия двух веществ подчиняется закону Фика: плотности потока компонентов  $j_{a,b}$  — количество частиц, пересекающих единичную площадку в единицу времени — пропорциональны градиентам концентраций  $\nabla n_{a,b}$ . В одностороннем случае:

$$j_a = -D \frac{\partial n_a}{\partial x}, \quad j_b = -D \frac{\partial n_b}{\partial x},$$

где  $D$  — коэффициент взаимной диффузии.

В нашем опыте исследуется взаимная диффузия гелия и воздуха. Причем мы считаем, что давление и температура в процессе опыта не изменяется, поэтому для любых изменений справедливо  $\Delta n_1 = -\Delta n_2$ , где индексом «1» будем обозначать воздух, «2» — гелий. Тогда достаточно описать диффузию одного компо-

нента, например воздуха:

$$j_1 = -D \frac{\partial n_1}{\partial x} \quad (1)$$

В работе мы используем малые концентрации гелия, поэтому можно приблизить  $n_2 \ll n_1$ . Кроме того, гелий намного меньше воздуха ( $\mu_{\text{He}} \ll \mu_{\text{N}_2}, \mu_{\text{O}_2}$ ), поэтому скорость частиц гелия много больше скорости частиц воздуха, поэтому его можно вообще считать стационарным. В таком случае коэффициента диффузии равен:

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

где  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$  — средняя тепловая скорость частиц,  $\lambda = \frac{1}{n\sigma}$  — длина свободного пробега,  $n$  — концентрация фона,  $\sigma$  — сечение столкновения примеси с фоном.

Таким образом,  $D \sim \lambda \sim \frac{1}{n} \sim \frac{1}{p}$ .

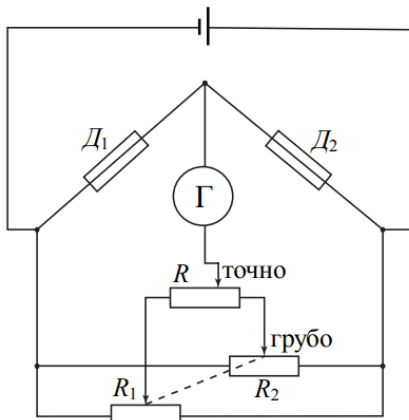


Рис. 1: Схема моста

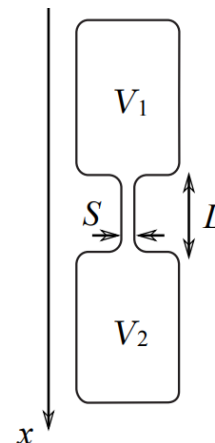


Рис. 2: Расположение сосудов с веществами

## Схема эксперимента

Если на концах трубки, соединяющей сосуда, поддерживается постоянная концентрация гелия (это можно принять так, выходит из предыдущих приближений), то распределение концентрации в трубке  $n(x)$  — линейная функция:

$$n(x) = \frac{\Delta n}{L}x \quad (3)$$

где  $L$  — длина трубки,  $\Delta n = n_2 - n_1$  — разница концентраций гелия на концах трубки.

Плотность потока частиц всюду постоянная и равна:

$$j = -D \frac{\Delta n}{L} \quad (4)$$

Концентрации на концах  $n_1, n_2$  меняются со

временем (так как гелий переходит из одного сосуда в другой). Предположим, что изменение мало и за это время успевает установиться стационарное течение.  $N_1 = n_1 V$ ,  $N_2 = n_2 V$  — полное число частиц. Через него можно выразить поток:

$$\frac{dN_1}{dt} = jS, \quad \frac{dN_2}{dt} = -jS \quad (5)$$

Тогда можно выразить скорость изменения  $\Delta n$ :

$$\frac{d(\Delta n)}{dt} = -\frac{\Delta n}{\tau}, \quad \tau = \frac{1}{D} \cdot \frac{VL}{2S} \quad (6)$$

Интегрируя, получим  $\Delta n = \Delta n_0 \exp(-t/\tau)$ . Отсюда видно, что  $\tau$  — характерное время выравнивания концентраций между сосудами.

## Методика измерений

Для измерения разности концентраций применяются датчики теплопроводности. Теплопроводность  $\kappa$  зависит от концентрации при малых ее изменениях следующим образом:

$$\Delta \kappa = \kappa(n_2) - \kappa(n_1) \approx \text{const} \cdot \Delta n \quad (7)$$

Для разных концентраций гелия соответственно разная теплопроводность смеси, соответственно разная температура нити (если теплопроводность хуже, значит температура повысится). Повышение (понижение) температуры нити можно измерить с помощью мостовой схемы, показанной на рисунке 1.

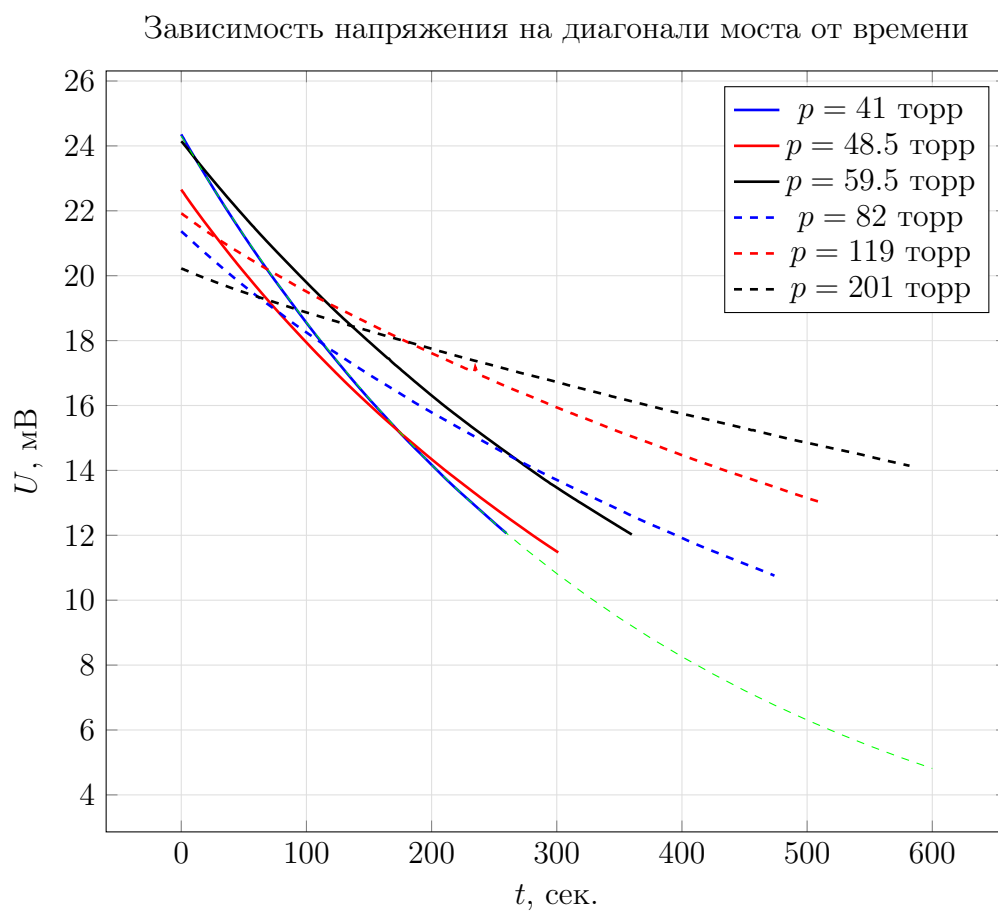
При незначительных отличиях в составах смесей показания вольтметра, присоединенного по диагонали в мост будут пропорциональны разнице теплопроводности, которая пропорциональна разнице концентраций:

$$U \sim \Delta \kappa \sim \Delta n$$

Тогда получим зависимость показания вольтметра от времени:

$$U(t) = U_0 \exp(-t/\tau) \quad (8)$$

где  $U_0$  — начальное показание вольтметра.



Аппроксимируя зависимость  $U(T)$  с помощью функции времени:  $U_0 e^{-t/\tau}$  получим следующие значения  $\tau$ :

Зависимость коэффициента диффузии от  $1/p$

