

---

## Лабораторная работа №2.2.1

### Исследование взаимной диффузии газов

Мещеряков Всеволод, Б02-001, 05.03.2021

#### Введение

Цель работы: определение коэффициента взаимной диффузии гелия и воздуха.

#### Экспериментальная установка

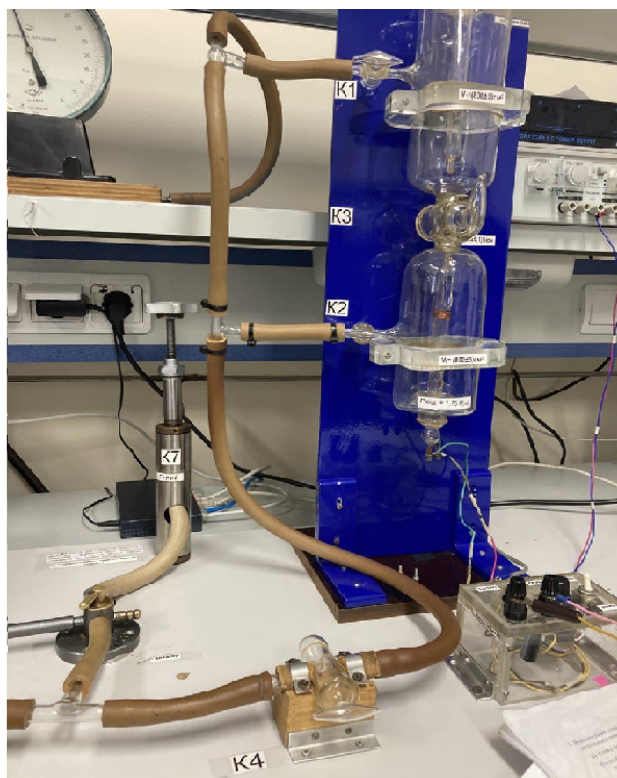
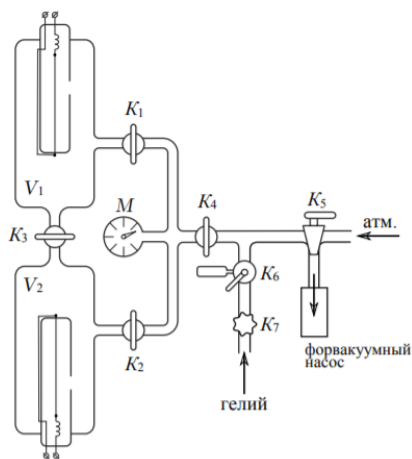


Рис. 1 — *Схема и фотография установки*

Работа проводилась на установке, схема и фотография которой изображены на рисунке 1. На схеме:

- $K_1$  - кран, перекрывающий верхний сосуд  $V_1$ , в который будет нагнетаться гелий;

- 
- К2 - подвижная перегородка, соединяющая сосуды  $V_1$  и  $V_2$ , через которую и будут смешиваться газы;
  - К3 - кран, перекрывающий нижний сосуд  $V_2$ , в который будет нагнетаться воздух;
  - К4 - кран, соединяющий сосуды с форвакуумным насосом;
  - К5 - кран, контролирующий откачку/закачку воздуха из сосудов;
  - К6 - кран, соединяющий сосуды с баллоном, содержащим гелий;
  - К7 - кран баллона, содержащего гелий.

Параметры установки:

$$V_1 = V_2 = (800 \pm 5) \text{ см}^3, L/S = (15,0 \pm 0,1) \text{ см}^{-1}, P_{\text{атм}} = 724 \text{ торр}.$$

## Ход работы

Каждое измерение сопровождается подготовкой установки к работе.

Откачаем воздух из системы:

1. Откроем К4, чем откроем сосуды;
2. Включим форвакуумный насос;
3. Откроем К5, чем соединим насос с сосудами;
4. Дожидаемся  $\approx 0,1$  торр на манометре, после чего перекрываем К5 и изолируем сосуды.

Заполним установку воздухом до рабочего давления. Цену деления манометра интерпретируем под текущее атмосферное давление:

$$P_0 = \frac{724 \text{ торр}}{100 \text{ делений}} = 7,24 \text{ торр/деление}.$$

Первое измерение проведем при  $3,5P_0 \approx 25,34$  торр. Добьемся этого, слабо повернув К5, запустив в систему некоторое количество воздуха. После сбалансируем мост, добившись на нем нулевого значения.

---

Затем напустим в сосуд  $V_1$  гелия согласно указаниям. Контролировать количество вещества будем с помощью манометра, который будет подключен к  $V_1$ .

Изолируем сосуды, закрыв К1 и К2, и запустим процесс диффузии, открыв К3. Вместе с открытием К3 запускаем секундомер и начинаем снимать зависимость напряжения на мосте от времени. Записываем показания каждые 10 секунд до тех пор, пока снимаемая величина не упадет до 30 – 40% от исходной.

## Измерения

Проведем измерения для разных давлений, каждому измерению предшествует подготовка, описанная параграфом выше. Результаты отражены в таблицах 1, 2, 3, приложения. Для каждого из давлений построим графики на осях времени и логарифма показаний вольтметра. Из каждого графика по наклону прямой определяем коэффициент.

## Обработка результатов

Из теории имеем, что разность концентраций будет убывать по экспоненциальному закону. Отсюда следует, что и показания вольтметра будут изменяться так же:

$$U = U_0 e^{-t/\tau}.$$

В формуле выше  $U_0$  - начальное показание вольтметра,  $U$  - показания вольтметра в момент времени  $t$ ,  $t$  - время от начала процесса,  $\tau$  - характерное время, определяемое формулой (1):

$$\tau = \frac{V_1 V_2}{V_1 + V_2} \frac{l}{SD}. \quad (1)$$

Отсюда получаем, что измеренные данные из таблиц 1, 2, 3 можно представить в виде линейной зависимости (см. Рис2 приложения), коэф-

коэффициент наклона которой позволит вычислить искомую величину D:

$$\ln \frac{U(t)}{U_0} = k \cdot t. \xRightarrow{\text{формула(1)}} D = k \frac{Vl}{2S}. \quad (2)$$

Из полученных по МНК графиков вычисляем k для каждого из давлений:

$$k_{25\text{торр}} = (41,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} (1/\text{с}) \xRightarrow{(2)} D_{25\text{торр}} = (24,6 \pm 1,2) (\text{см}^2/\text{с})$$

$$k_{40\text{торр}} = (21,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-4} (1/\text{с}) \xRightarrow{(2)} D_{40\text{торр}} = (13,0 \pm 1,5) (\text{см}^2/\text{с})$$

$$k_{70\text{торр}} = (16,4 \pm 0,8) \cdot 10^{-4} (1/\text{с}) \xRightarrow{(2)} D_{70\text{торр}} = (9,84 \pm 1,4) (\text{см}^2/\text{с})$$

Тогда можем экстраполировать зависимость  $D(\frac{1}{P})$ , из которой увидим значение искомого коэффициента при атмосферном давлении:

$$D_{\text{атм}} = (79 \pm 14) \cdot 10^{-2} (\text{см}^2/\text{с}), \varepsilon_{D_{\text{атм}}} = 18\%$$

$$D_{\text{атм}} = 57 \cdot 10^{-2} (\text{см}^2/\text{с}) - \text{табличное значение.}$$

## Приложение

Таблица 1 — U(t) при давлении  $3,5P_0 = 25$  торр

<b>t, сек</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>
<b>U, мВ</b>	0,86	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,67	0,64	0,62
<b>t, сек</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>190</b>
<b>U, мВ</b>	0,59	0,57	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45	0,43	0,41
<b>t, сек</b>	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>230</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>270</b>	<b>280</b>	<b>290</b>
<b>U, мВ</b>	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27

Таблица 2 —  $U(t)$  при давлении  $5,5P_0 = 40$  торр

<b>t, сек</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>
<b>U, мВ</b>	1,14	1,13	1,11	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96
<b>t, сек</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>190</b>
<b>U, мВ</b>	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76
<b>t, сек</b>	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>230</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>270</b>	<b>280</b>	<b>290</b>
<b>U, мВ</b>	0,74	0,72	0,71	0,69	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
<b>t, сек</b>	<b>300</b>	<b>310</b>	<b>320</b>	<b>330</b>	<b>340</b>	<b>350</b>	<b>360</b>	<b>370</b>	<b>380</b>	<b>390</b>
<b>U, мВ</b>	0,59	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49
<b>t, сек</b>	<b>400</b>	<b>410</b>	<b>420</b>	<b>430</b>	<b>440</b>	<b>450</b>	<b>460</b>	<b>470</b>	<b>480</b>	<b>490</b>
<b>U, мВ</b>	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,40
<b>t, сек</b>	<b>500</b>	<b>510</b>	<b>520</b>	<b>530</b>	<b>540</b>	<b>550</b>	<b>560</b>	<b>570</b>	<b>580</b>	<b>590</b>
<b>U, мВ</b>	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,32
<b>t, сек</b>	<b>600</b>	<b>610</b>	<b>620</b>							
<b>U, мВ</b>	0,32	0,31	0,31							

Таблица 3 —  $U(t)$  при давлении  $9,5P_0 = 70$  торр

<b>t, сек</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>
<b>U, мВ</b>	2,29	2,26	2,23	2,19	2,16	2,12	2,09	2,05	2,02	1,99
<b>t, сек</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>	<b>140</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>190</b>
<b>U, мВ</b>	1,95	1,92	1,89	1,85	1,82	1,80	1,77	1,74	1,70	1,68
<b>t, сек</b>	<b>200</b>	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>230</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>260</b>	<b>270</b>	<b>280</b>	<b>290</b>
<b>U, мВ</b>	1,65	1,62	1,60	1,56	1,54	1,52	1,49	1,46	1,44	1,42
<b>t, сек</b>	<b>300</b>	<b>310</b>	<b>320</b>	<b>330</b>	<b>340</b>	<b>350</b>	<b>360</b>	<b>370</b>	<b>380</b>	<b>390</b>
<b>U, мВ</b>	1,39	1,37	1,35	1,32	1,30	1,28	1,25	1,24	1,22	1,18
<b>t, сек</b>	<b>400</b>	<b>410</b>	<b>420</b>	<b>430</b>	<b>440</b>	<b>450</b>	<b>460</b>	<b>470</b>	<b>480</b>	<b>490</b>
<b>U, мВ</b>	1,18	1,16	1,14	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05	1,03	1,02
<b>t, сек</b>	<b>500</b>	<b>510</b>	<b>520</b>	<b>530</b>	<b>540</b>	<b>550</b>	<b>560</b>	<b>570</b>	<b>580</b>	<b>590</b>
<b>U, мВ</b>	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91

Рис. 2 — Графики зависимости  $-\ln \frac{U}{U_0}(t)$  при разных начальных давлениях

