

Работу выполнил
Самохин Валентин, 676 гр.

Маршрут IX № 8

под руководством
Артанова А. А.

12 апреля 2017 г.,

Лабораторная работа № 2.2.1: Исследование взаимной диффузии газов

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.

Теоретическая справка. В двухкомпонентной системе плотность потока вещества любого компонента в результате взаимной диффузии определяется законом Фика:

$$j_i = -D_{ij} \frac{\delta n_i}{\delta x}, \quad (1)$$

причём $D_{ij} = D_{ji} \equiv D$ — коэффициент взаимной диффузии компонентов.

Пусть два сосуда с объёмами V_1, V_2 соединены трубкой длины l , сечения S и заполнены смесью двух газов при одинаковом давлении (чтобы исключить макроскопические течения), но с разной концентрацией компонентов, причём один из компонентов преобладает. Вследствие взаимной диффузии концентрации каждого из компонентов со временем выравниваются, однако удобно рассматривать только концентрацию «примеси».

Будем исходить из того, что описанный процесс происходит в основном благодаря диффузии в трубке, и считать процесс установления квазистационарным, тогда

$$J = -DS \frac{n_1 - n_2}{l}, \quad (2)$$

где n_i — концентрация примеси в i -ом сосуде. С учётом сохранения вещества запишем

$$\frac{d(n_1 - n_2)}{dt} = -\frac{n_1 - n_2}{l} DS \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) \Rightarrow \Delta n \equiv n_1 - n_2 = \Delta n_0 \exp \left(-\frac{t}{\tau} \right), \quad (3)$$

$$\tau \equiv \frac{V_1 V_2}{V_1 + V_2} \frac{l}{SD}. \quad (4)$$

Для измерения концентраций будем применять датчики теплопроводности, считая линейными зависимость сопротивления от температуры и коэффициента теплопроводности от разности концентрации (раскладывая по Тейлору до первого члена, такой точности в нашем опыте достаточно).

Экспериментальная установка

Устройство установки: V - сосуды, М - манометр, Т - выключатель, П.Б. - предохранительный баллон, Ф.Н. - форвакуумный насос, D - датчики теплопроводности.

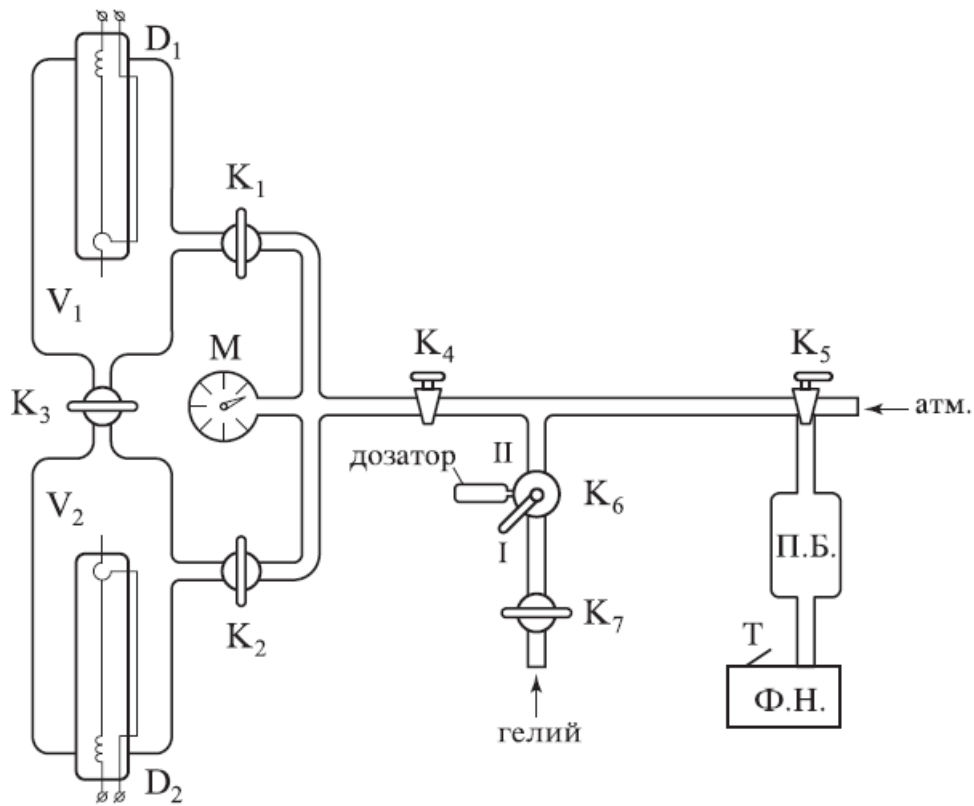


Рис. 1: Устройство установки

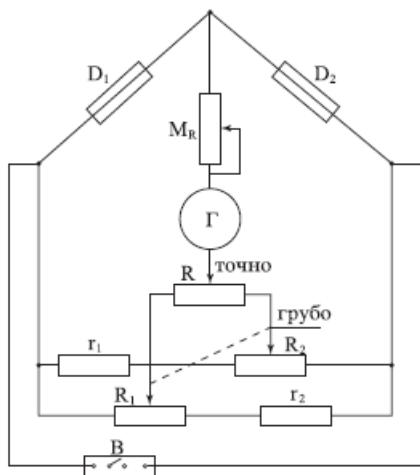


Рис. 2: Устройство моста

Методика эксперимента заключается в том, что разность теплопроводностей изменяется пропорционально разности концентраций. Таким образом, показания гальванометра должны в процессе диффузии убывать по экспоненциальному закону, и установив зависимость показаний во времени, можно найти характерное время τ , а из него коэффициент диффузии.

Выполнение работы

Измерениям предшествовали калибровка моста, сложный процесс закачки газов в объемы V_1 и V_2 , ход которых не влияет на обработку результатов. Как было сказано ранее, замерив зависимость напряжения от времени, а затем прологарифмировав полученные значения, мы, из теории, должны были получить прямую. По ее коэффициенту наклона можно вычислить интересующие нас значения коэффициента диффузии, оценить размер частиц и длину свободного пробега.

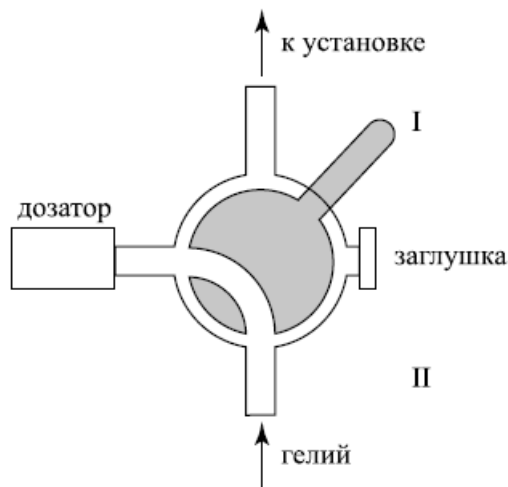


Рис. 3: Кран К6

$t(c)$	$U(мб)$	$\ln U_0/U$
0	255	0.00
8.32	250.7	0.74
16.65	245.4	1.67
24.97	240	2.63
33.29	235.7	3.42
41.62	230.4	4.41
49.94	226	5.24
58.26	221	6.21
66.59	216.4	7.13
74.91	212	8.02
83.24	207	9.06
91.56	203.4	9.82
99.88	199	10.77
108.21	194.8	11.70
116.53	188	13.24
124.84	184.1	14.15
133.18	180	15.13
141.5	176	16.10
149.82	172.2	17.05
158.15	168.9	17.89
166.47	165	18.91
174.79	161.2	19.92
183.12	155	21.62
191.44	152	22.47
199.76	149	23.34
208.09	145	24.52
216.41	141.6	25.55
224.74	138.3	26.57
233.06	135	27.62
241.38	132	28.60
249.71	129	29.60
258.03	126	30.62
266.35	123	31.66
274.68	120	32.74
283	117	33.84

Таблица 1: Показания при рабочем давлении 40 тор

$t(c)$	$U(мб)$	$\ln U_0/U$	$t(c)$	$U(мб)$	$\ln U_0/U$
0	255	0.00	238.45	206	9.27
10.37	253	0.34	248.82	204	9.69
20.73	251	0.69	259.18	201	10.33
31.1	248.9	1.05	269.55	199.4	10.68
41.47	245	1.74	279.92	198	10.99
51.84	243	2.09	290.29	196	11.43
62.2	240.8	2.49	300.65	194	11.87
72.57	238	3.00	311.02	193	12.10
82.94	236.1	3.34	321.39	191	12.55
93.31	234	3.73	331.76	188.2	13.19
103.67	231	4.29	342.12	187	13.47
114.04	229	4.67	352.49	185	13.94
124.41	227	5.05	362.86	184	14.17
134.78	225	5.44	373.22	182	14.65
145.14	223	5.82	383.59	181	14.89
155.51	221	6.21	393.96	179	15.37
165.88	219	6.61	404.33	177.7	15.69
176.24	217	7.01	414.69	176	16.10
186.61	215	7.41	425.06	174	16.60
196.98	213	7.82	435.43	173	16.85
207.35	211	8.23	445.8	171.2	17.30
217.71	209.3	8.58	456.16	170	17.61
228.08	208	8.85	466.53	169	17.87
			476.9	167	18.38
			487.27	165	18.91

Таблица 2: Показания при рабочем давлении 104 тор

$t(c)$	$U(мБ)$	$\ln U_0/U$	$t(c)$	$U(мБ)$	$\ln U_0/U$
0	13.95	0.00	270	11.67	7.75
10	13.84	0.34	280	11.6	8.01
20	13.76	0.60	290	11.52	8.31
30	13.67	0.88	300	11.44	8.61
40	13.57	1.20	310	11.37	8.88
50	13.49	1.46	320	11.3	9.15
60	13.4	1.75	330	11.23	9.42
70	13.31	2.04	340	11.15	9.73
80	13.21	2.37	350	11.08	10.00
90	13.12	2.66	360	11	10.32
100	13.03	2.96	370	11.93	6.79
110	12.95	3.23	380	10.86	10.87
120	12.86	3.53	390	10.8	11.12
130	12.78	3.80	400	10.73	11.40
140	12.71	4.04	410	10.66	11.68
150	12.62	4.35	420	10.59	11.97
160	12.53	4.66	430	10.52	12.26
170	12.45	4.94	440	10.45	12.55
180	12.37	5.22	450	10.38	12.84
190	12.29	5.50	460	10.31	13.13
200	12.22	5.75	470	10.25	13.39
210	12.14	6.04	480	10.18	13.68
220	12.06	6.32	490	10.12	13.94
230	11.98	6.61	500	10.05	14.24
240	11.91	6.87	510	9.99	14.50
250	11.83	7.16	520	9.92	14.81
260	11.75	7.45	530	9.86	15.07
			540	9.8	15.33

Таблица 3: Показания при рабочем давлении 150 тор

$t(c)$	$U(мБ)$	$\ln U_0/U$
0	20.64	0.00
10	20.05	1.26
20	19.44	2.60
30	18.85	3.94
40	18.27	5.30
50	17.7	6.67
60	17.15	8.04
70	16.61	9.43
80	16.12	10.73
90	15.63	12.08
100	15.18	13.34
110	14.74	14.62
120	14.31	15.91
130	13.88	17.23
140	13.49	18.47
150	13.1	19.74
160	12.72	21.02
170	12.36	22.27
180	12.02	23.48

Таблица 4: Показания при изменении долей газов

$t(c)$	$U (мв)$	$\ln U_0/U$	$t(c)$	$U (мв)$	$\ln U_0/U$	$t(c)$	$U (мв)$	$\ln U_0/U$
0	15.76	0.00	210	14.12	4.77	410	12.75	9.20
10	15.71	0.14	220	14.05	4.99	420	12.68	9.44
20	15.64	0.33	230	13.98	5.20	430	12.61	9.68
30	15.55	0.58	240	13.91	5.42	440	12.55	9.89
40	15.47	0.81	250	13.84	5.64	450	12.49	10.10
50	15.38	1.06	260	13.76	5.89	460	12.43	10.31
60	15.3	1.29	270	13.69	6.12	470	12.37	10.52
70	15.21	1.54	280	13.62	6.34	480	12.31	10.73
80	15.13	1.77	290	13.55	6.56	490	12.25	10.94
90	15.05	2.00	300	13.48	6.79	500	12.19	11.16
100	14.97	2.23	310	13.41	7.01	510	12.13	11.37
110	14.89	2.47	320	13.34	7.24	520	12.07	11.58
120	14.8	2.73	330	13.28	7.44	530	12.01	11.80
130	14.73	2.94	340	13.21	7.67	540	11.96	11.98
140	14.65	3.17	350	13.14	7.90	550	11.9	12.20
150	14.57	3.41	360	13.08	8.09	560	11.84	12.42
160	14.49	3.65	370	13	8.36	570	11.79	12.60
170	14.42	3.86	380	12.94	8.56	580	11.73	12.83
180	14.34	4.10	390	12.88	8.76	590	11.67	13.05
190	14.28	4.28	400	12.81	9.00	600	11.62	13.24
200	14.2	4.53						

Таблица 5: Показания при рабочем давлении 200 тор

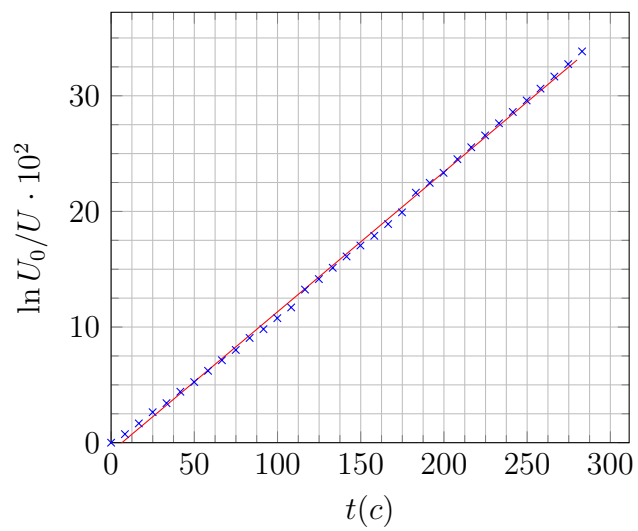


Рис. 4: График при $P = 40$ тор

$$y = 0,121x - 0,785$$

$$1/\tau = 0,121$$

$$M = (0,440 \pm 0,002) \mathcal{M}^2$$

$$D = \frac{1}{\tau M}$$

$$D = (0,281 \pm 0,007) 10^{-2} \mathcal{M}^2/c$$

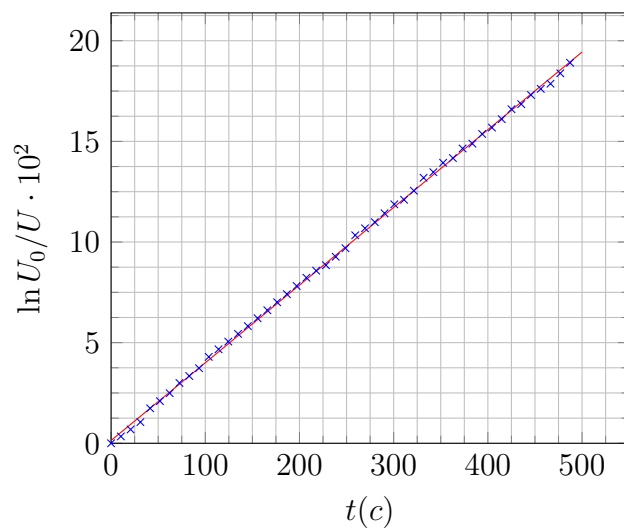


Рис. 5: График при $P = 104$ тор

$$y = 0,0386x - 0,1399$$

$$1/\tau = 0,0386$$

$$M = (0,440 \pm 0,002) \mathcal{M}^2$$

$$D = \frac{1}{\tau M}$$

$$D = (0,087 \pm 0,001) 10^{-2} \mathcal{M}^2/c$$

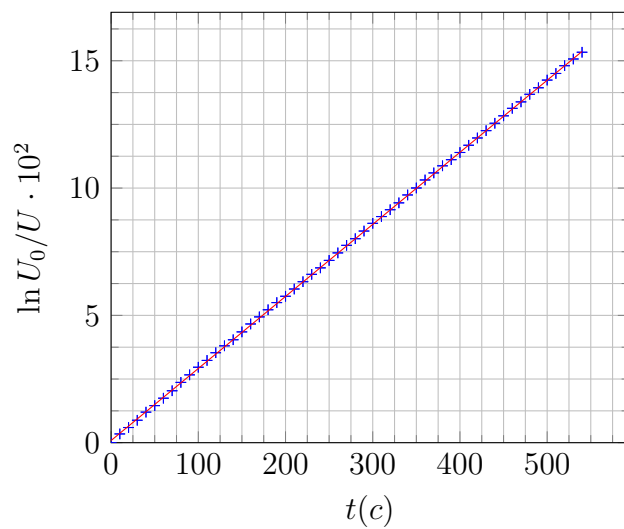


Рис. 6: График при $P = 150$ тор

$$\begin{aligned}
 y &= 0,0283x + 0,0846 \\
 1/\tau &= 0,0283 \\
 M &= (0,440 \pm 0,002) \mathcal{M}^2 \\
 D &= \frac{1}{\tau M} \\
 D &= (0,064 \pm 0,001) 10^{-2} \mathcal{M}^2/c
 \end{aligned}$$

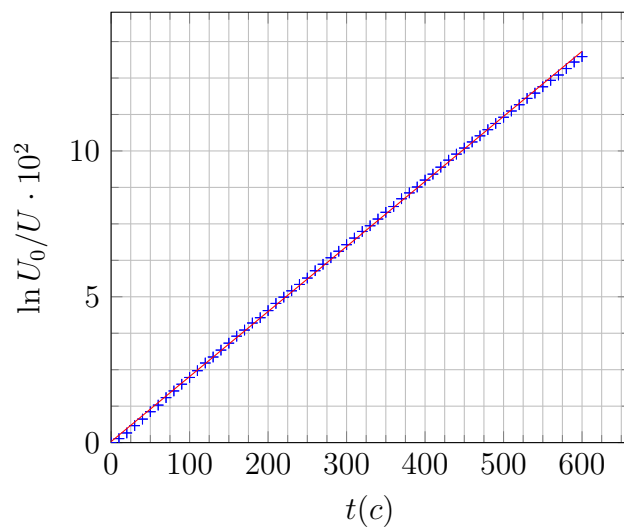
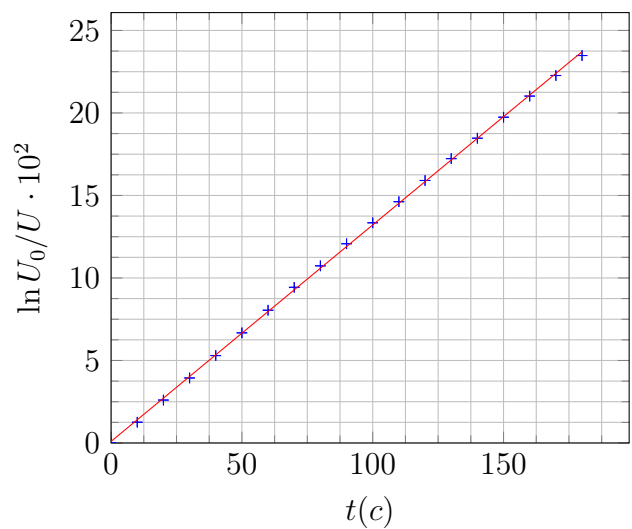


Рис. 7: График при $P = 200$ тор

$$\begin{aligned}
 y &= 0,0223x + 0,0343 \\
 1/\tau &= 0,0223 \\
 M &= (0,440 \pm 0,002) \mathcal{M}^2 \\
 D &= \frac{1}{\tau M} \\
 D &= (0,051 \pm 0,001) 10^{-2} \mathcal{M}^2/c
 \end{aligned}$$



$$y = 0,1312x + 0,0946$$

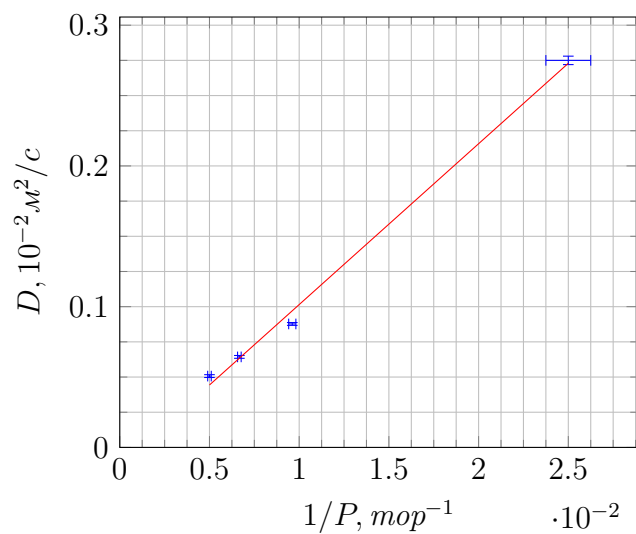
$$1/\tau = 0,0283$$

$$M = (0,440 \pm 0,002) \mathcal{M}^2$$

$$D = \frac{1}{\tau M}$$

$$D = (0,298 \pm 0,005) 10^{-2} \mathcal{M}^2/c$$

Рис. 8: График при $P = 40$ тор (при измененных пропорций)



$$y = 11,429x - 0,0128$$

Экстраполяция даст:

$$D_{атм} = (2,23 \pm 0,01) 10^{-5} \mathcal{M}^2/c$$

Рис. 9: График зависимости коэф. диффузии D от $1/P$

Оценим длину свободного пробега λ и размер молекулы d :

$$\lambda = 3D\sqrt{\frac{\mu}{3RT}} = (4,17 \pm 0,03)10^{-7} \text{ м}$$

$$d = \sqrt{\frac{kT}{P\lambda}} \sim 10^{-10} \text{ м}$$

Вывод

1. Во-первых, по данным хорошо видно, что коэффициент взаимной диффузии газов не зависит от их пропорций (первый и последний опыты).
2. Во-вторых, последний график недостаточно хорош. Видно, что не все точки лежат на прямой, что связано с плохой работой компьютера, использовавшегося с первых опытах.
3. Наконец, оценка, произведенная в конце работы для размеров молекул, верна, что может говорить об относительно достоверных результатах.