

Лабораторная работа 2.3.1

Получение и измерение вакуума

Вячеслав Ждановский, студент 611 группы ФРКТ

Шамиль Вагабов, студент 611 группы ФРКТ

Станислав Токарев, студент 611 группы ФРКТ

19 февраля 2017 г.

Цель работы: измерение объёмов форвакуумной и высоковакуумной частей устновки; определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и по улучшению вакуума.

В работе используются: вакуумная установка с манометрами: масляным, термопарным и ионизационным.

1 Схема экспериментальной установки

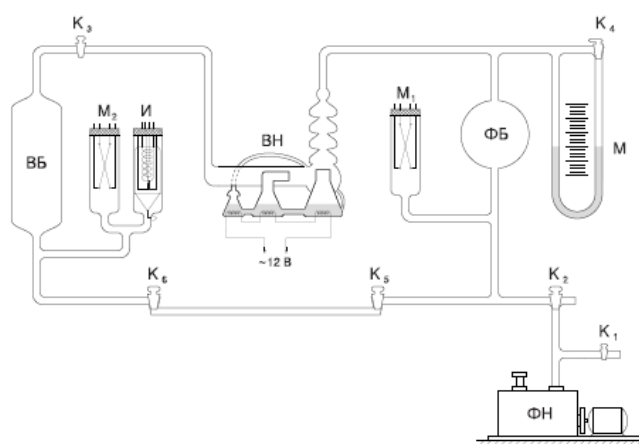


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

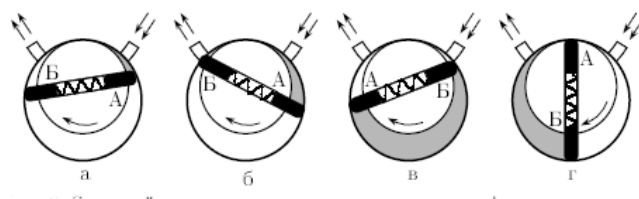


Рис. 2: Схема действия ротационного двухпластинчатого форвакуумного насоса

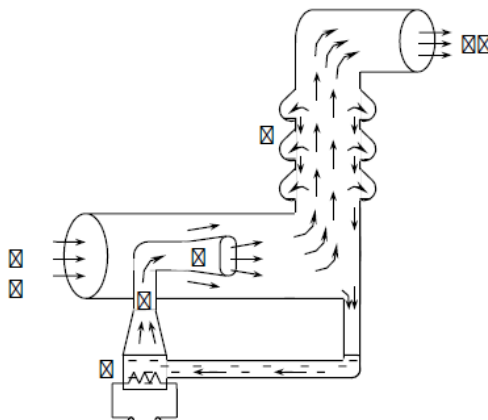


Рис. 3: Схема работы диффузионного насоса

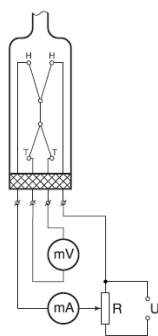


Рис. 4: Схема термопарного манометра с лампой ЛТ-2

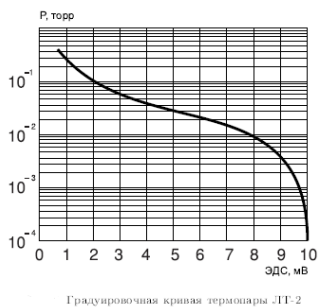


Рис. 5: Градуировочная кривая термопары ЛТ-2

2 Ход работы

2.1 Определение объема форвакуумной и высоковакуумной частей установки

Закроем краны K_5 и K_6 , в этих кранах и соединяющем их капилляре "запирается" $(40 \pm 2) \text{ см}^3$ воздуха. Закроем краны K_1 и K_2 , включим форвакуумный насос и откачаем воздух до

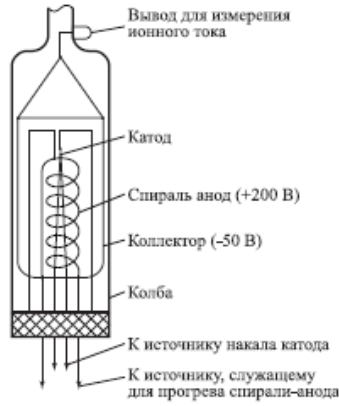


Рис. 6: Схема ионизационной лампы ЛМ-2

$V_{K_5 + K_6 + \text{кап}}, \text{см}^3$	$L_{\text{кап}}, \text{мм}$	$d_{\text{кап}}, \text{мм}$	$P_0, \text{Па} \cdot 10^3$	$\rho_{\text{масла}} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
40 ± 2	75	1,22	102,4	0,885

Таблица 1: Данные установки

10^{-2} торр. Перекрытием крана K^3 отсоединим высоковакуумную часть от форвакуумной. Закрыв кран K_4 , приведем масляный манометр в готовность. Откроем, выпустив запертый воздух, кран K_5 . Измерим изменение давления в установке (откачали до $p = 7 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. при $I = 128$ мА).

$$\Delta h_{\text{ф.в.}} = h_1 - h_2 = (30,9 - 21,5) = 9,40 \text{ мм} \quad (1)$$

Закон Бойля-Мариотта:

$$V_{\text{ф.в.}} \approx \frac{P_0 V_{K_5 + K_6 + \text{кап}}}{\rho g \Delta h} = 0,05 \text{ м}^3 \quad (2)$$

$$\sigma V = V * \sqrt{0,0025 + 0,0028} = 0,05V = 0,0026 \text{ м}^3 \quad (3)$$

$$V_{\text{ф.в.}} = 0,05 + 0,0026 \text{ м}^3 \quad (4)$$

Откроем, чтобы газ распротранился на всю установку:

$$\Delta h = 29,5 - 23,1 \text{ мм} = 6,4 \text{ мм} \quad (5)$$

$$V_{\text{в.в.}} \approx \frac{P_0 V_{K_5 + K_6 + \text{кап}}}{P_2} - V_{\text{ф.в.}} \approx \frac{P_0 V_{K_5 + K_6 + \text{кап}}}{\rho g \Delta h_2} - V_{\text{ф.в.}} = 0,02 \text{ м}^3 \quad (6)$$

$$\sigma_V = 0,001 \text{ м}^3 \quad (7)$$

$$V_{\text{в.в.}} = 0,020 + 0,001 \text{ м}^3 \quad (8)$$

2.2 Получение высокого вакуума

Откачаем установку форвакуумным насосом. После того, как давление упало ниже $3 \cdot 10^{-2}$, закроем кран и начнем высоковакуумную откачку. Включим ионизационный манометр. Измерим предельное давление в системе:

$$P_{\text{пр}} = (2,1 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ торр} \quad (9)$$

t, с	0,8	1,3	2,8	4,4	5,95	9,15	12	15,8	22	32,7
P, 10 ⁻⁴ торр	10	9,1	8,2	7,0	5,9	5	4,4	3,9	3,5	3,0
ln(P - P _{пр})	-7,14	-7,26	-7,4	-7,62	-7,87	-8,14	-8,37	-8,62	-8,87	-9,32

Таблица 2: Изменение показаний показаний ионизационного манометра во времени при улучшении вакуума

$$\ln(P - P_{\text{пр}}) = -\frac{W}{V}t + \ln P_0 \rightarrow W = \frac{\ln P_0 - \ln(P - P_{\text{пр}})}{t} V = 8,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (10)$$

$$\sigma_W = 1,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{л}}{\text{с}} \rightarrow W = (8,7 \pm 1,1) \cdot 10^{-2} \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (11)$$

Оценим величину потока. Для этого перекроем и отметим изменение показаний ионизационного манометра во времени:

t, с	0	4,65	16,35	28,95	44,5	59,1	73,5	97
P, 10 ⁻⁴ торр	2,5	3	4	5,1	6,3	7	8,5	9,5

Таблица 3: Изменение показаний показаний ионизационного манометра во времени при ухудшении вакуума [$k = (0,068 \pm 0,003) \cdot 10^{-4} \frac{\text{торр}}{\text{с}}$]

Мы знаем, что в данном случае (без откачки) изменение давления во времени описывается уравнением:

$$V_{\text{вв}} dP = (Q_{\text{д}} + Q_{\text{н}}) dt \rightarrow Q_{\text{д}} + Q_{\text{н}} = k V_{\text{вв}} \quad (12)$$

Также

$$Q_{\text{н}} = P_{\text{пр}} W - Q_{\text{д}} - Q_{\text{н}} \quad (13)$$

Тогда:

$$Q_{\text{н}} = P_{\text{пр}} W - k V_{\text{вв}} = (1,69 \pm 0,4) \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (14)$$

Откроем К₆, создадим таким образом искусственную течь. Измерим установившееся давление P_{уст}.

$$P_{\text{уст}} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ торр} \quad (15)$$

Рассчитаем производительность насоса по разнице P_{уст} и P_{пр}. Для этого используем формулу течения газа через трубу, получим из нее $\frac{d(PV)}{dt}$ для капилляра.

$$\frac{d(PV)}{dt} = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{P_{\text{фв}} - P_{\text{уст}}}{L} \quad (16)$$

Стационарное состояние установки без течи (P=P_{пр}):

$$P_{\text{пр}} W = Q, [Q - \text{воздухопотери}] \quad (17)$$

Стационарное состояние установки с течью (P=P_{уст}):

$$P_{\text{уст}} W = Q + \left(\frac{d(PV)}{dt} \right)_{\text{капилл}} = P_{\text{пр}} + \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{P_{\text{фв}} - P_{\text{уст}}}{L} \quad (18)$$

Откуда:

$$W = \frac{4}{3}r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu} \frac{P_{\text{фв}} - P_{\text{уст}}}{L(P_{\text{уст}} - P)}} = (9,9 \pm 0,9) \cdot 10^{-2} \frac{\text{л}}{\text{с}} \quad (19)$$

Учитывая погрешность, можно считать, что результат совпал с ранее вычисленным значением.

3 Графики

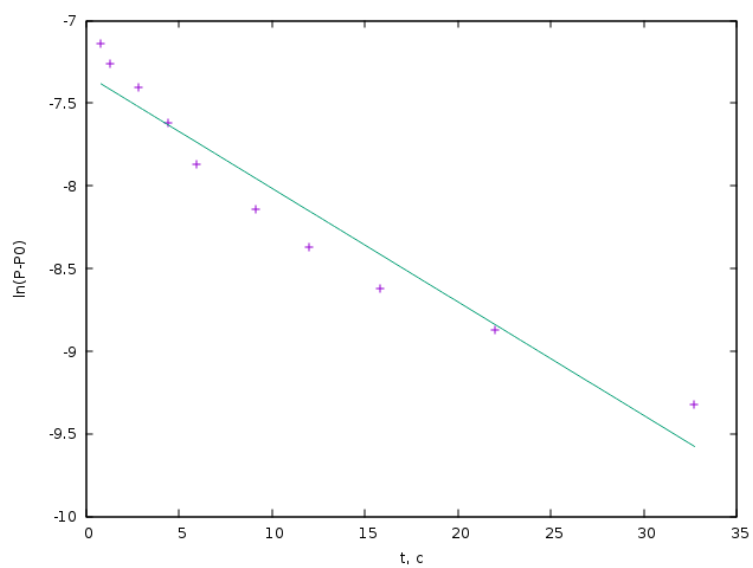


Рис. 7: Изменение показаний ионизационного манометра во времени при улучшении вакуума

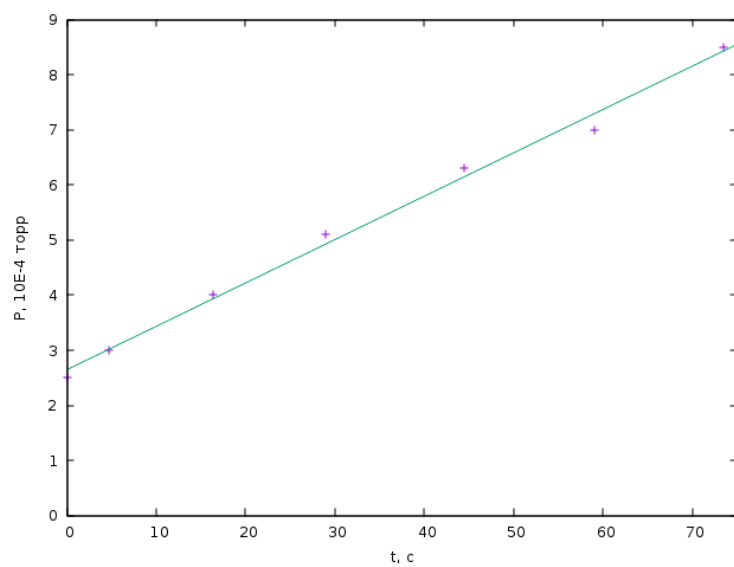


Рис. 8: Изменение показаний ионизационного манометра во времени при ухудшении вакуума