

Получение и измерение Вакуума

М. Аношин¹ Д. Шашков¹

МФТИ, Февраль 2023

Цель работы - Получение и измерение параметров установки высокого вакуума

В работе используются: Вакуумная установка с манометрами: масляным, термодинамическим, ионизационным.

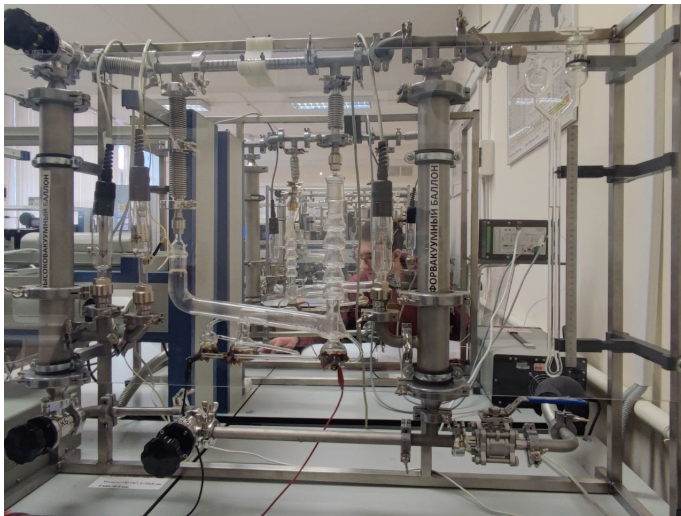
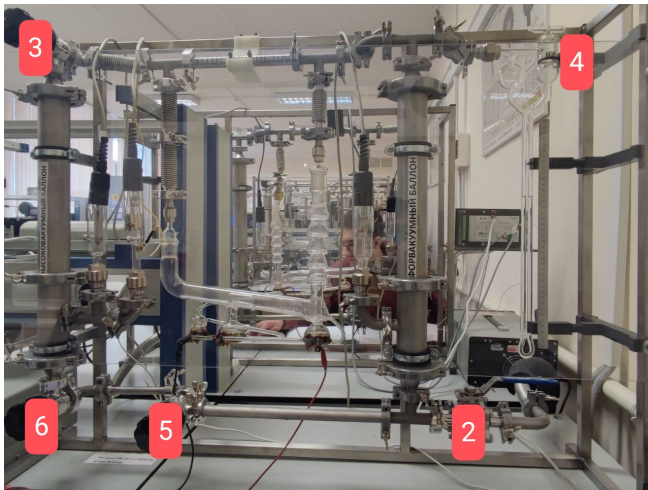


Рис.: 1. Полная фотография установки

Ход работы: определение объёмов

Изначально все краны открыты, в установке находится атмосферный воздух. Далее закрываются краны **5** и **6** и включается форвакуумный насос, объём запертого в перемычке между ними воздуха $V_1 = 50 \text{ см}^3$



Ход работы: определение объёмов

По достижении $p_{c0} \approx 10^{-2}$ мм.рт.столба закрываем 2 и 4 краны, форвакуумный насос работает. Манометр уже готов к работе, в его правом колене вакуум.



Ход работы: определение объёмов

Далее закрывается 3 кран, отделяющий форвакуумную часть от высоковакуумного баллона. Масляный манометр показывает высоты (см.масл.столб)

h_{up}	h_{down}
39.9 ± 0.1	12.9 ± 0.1

Что дает давление:

$$p_1 = 27.0 \pm 0.2 \text{ см.масл.столба} = 17.36 \pm 0.13 \text{ мм.рт.столба}$$

Откуда объем форвакуумной части ($T = T_{room}$)

$$V_f = V_0 \frac{p_0}{p_1} = 2.88 \pm 5 \cdot 10^{-2} \text{ л}$$

Далее открывается высоковакуумный баллон, и манометр показывает

h_{up}	h_{down}
35.3 ± 0.1	18.3 ± 0.1

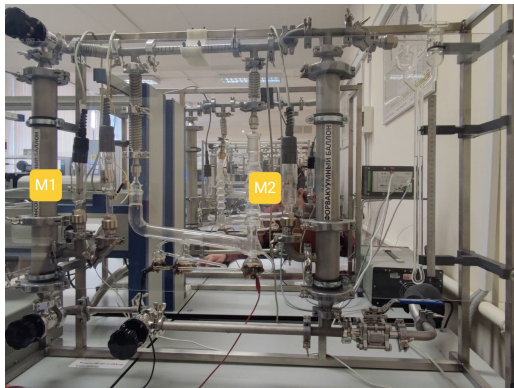
Откуда давление в системе:

$$p_2 = \rho g (h_1 - h_2) = 17.0 \pm 0.2 \text{ см.масл.столб}$$

$$\text{И объем баллона } V_h = V_f \left(\frac{p_1}{p_2} - 1 \right) = 1.82 \pm 5 \cdot 10^{-2} \text{ л}$$

Ход работы: создание высокого вакуума

После измерения объёмов открываем **все** краны, откачиваем воздух. Проводим измерение давления в высоковакуумной и форвакуумной частях при помощи термopарных манометров.



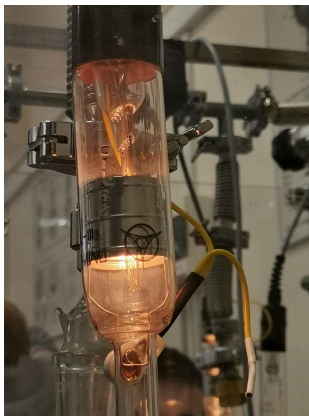
Ход работы: создание высокого вакуума

При достижении давления p_{c0} закрывается кран **б**, высоковакуумный баллон остается связанным с форвакуумной частью только включенным масляным насосом.



Ход работы: создание высокого вакуума

Когда давление в высоковакуумном баллоне становится ниже $p_{c1} = 1.2 \cdot 10^{-4}$ мм.рт.столба происходит инициация ионизационного манометра. Можно приступить к измерению скоростей откачки



Основное уравнение откачки газа из высоковакуумного баллона:

$$-V_h dp = (pW - Q_v - Q_c) dt \quad (1)$$

При достижении p_{lim} , $\frac{dp}{dt} = 0$, тогда

$$p_{lim} W = Q_v + Q_c \quad (2)$$

Проинтегрировав (1), получим

$$p - p_{lim} = p_0 - p_{lim} \cdot \exp\left(-\frac{W}{V_h} t\right)$$

Графики откачки

Измеряем p

Открываем кран и с помощью ионизационного манометра получаем зависимость $p(t)$. Давление убывает по экспоненциальному закону:

$$p - p_{lim} = (p_0 - p_{lim}) \exp - \frac{W}{V_h} t$$

откуда $W = -k_1 V_h$

измеренное $p_{lim} = 5.6 \pm 0.1 \cdot 10^{-5} \text{ Torr}$.

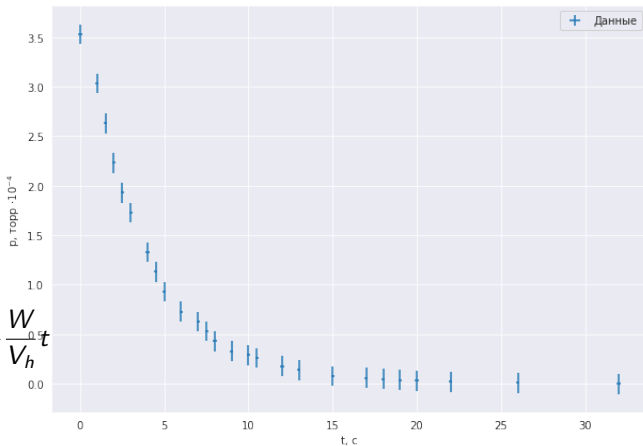


Рис.: Чистые данные

График откачки - Логарифм

Из МНК:

$k_1 = -0.23$, откуда:

$$W = 41.9 \pm 0.5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

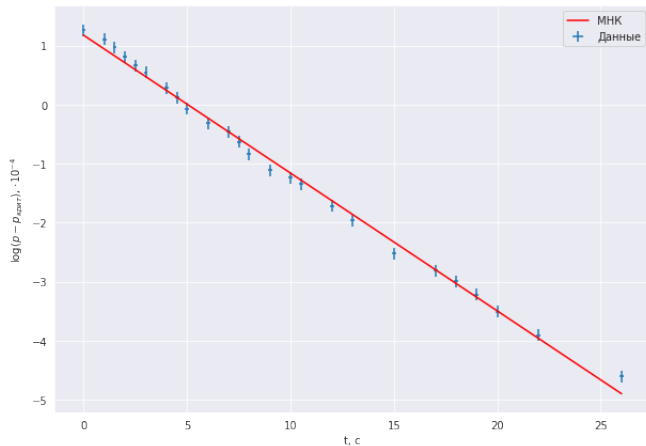


Рис.: Логарифм + МНК

Графики откачки

Снова закрываем кран 3 и получаем зависимость давления от времени (p от t) для истечения через микротечи.

Здесь насос не возвращает воздух в систему, поэтому $Q_v = 0$ откуда:

$$V_h dp = Q_c dt$$

$$Q_c = 1.82 \pm 0.33 \cdot 10^{-5}$$

$$k_2 = 0.1 - \text{коэфф. наклона} \Rightarrow$$

$$Q_v = p_{lim} W - Q_c = 0.82 \pm 0.1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Торр} \cdot \text{Л}}{\text{с}}$$

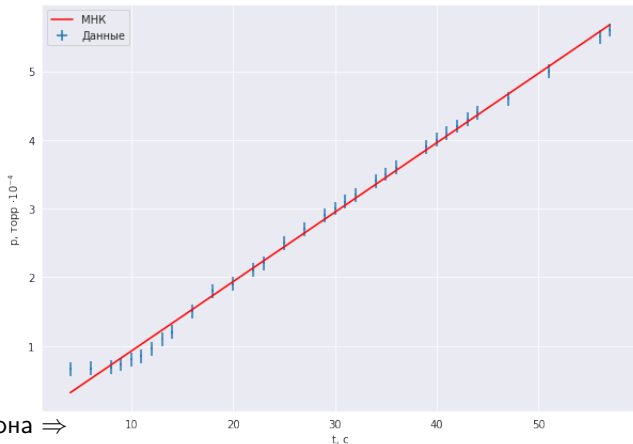


Рис.: Микротечи

Проверка формулы Кнудсена

Откроем кран б, чтобы создать искусственную течь и измерить производительность насоса в предположении формулы Кнудсена.

$$p_{lim} W = Q$$

$$p_{const} W = Q + \frac{d(pV)}{dt}$$

$$\frac{d(pV)}{dt} = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{p_2 - p_1}{l}$$

Подставив $p_1 = p_{const}$, $p_2 = p_f$ - давление в форвакуумной части, получим:

$$W = \frac{4}{3} \frac{r^3}{l} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{p_f - p_{const}}{p_{const} - p_{lim}}$$

Полученные в эксперименте значения:

$$r = 9 \pm 0.1 \text{ мм}, \quad l = 63 \pm 1 \text{ мм}.$$

$$p_{const} = (1.4 \pm 0.1) \cdot 10^{-4} \text{ Торр}, \quad p_f = (4.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-3} \text{ Торр},$$

Откуда скорость откачки:

$$W_{\text{Кнуд}} = (23 \pm 3) \cdot 10^{-2} \text{ л/с}.$$

Вывод:

Вывод: В ходе работы был получен высокий вакуум (через 3 стадии) с

$$p_{lim} = 6.7 \pm 0.1 \cdot 10^{-5} \text{ торр}$$

расчитаны объемы частей насоса:

$$V_f = 1.82 \pm 0.05 \text{ л и } V_f = 2.88 \pm 0.05 \text{ л}$$

и скорости откачки:

$$Q_c = 1.82 \pm 0.33 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Торр} \cdot \text{Л}}{\text{с}} \text{ и } Q_v = 0.81 \pm 0.1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Торр} \cdot \text{Л}}{\text{с}}$$

Скорость откачки экспериментальное и теоретическое:

$$W = 41.9 \pm 0.5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Л}}{\text{с}} \quad W_{\text{кнуд}} = 23 \pm 3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Л}}{\text{с}}$$

- Github с обработкой данных и .tex презентацией
- Снятые данные