



Московский Физико-Технический Институт
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

Современные средства получения и измерения вакуума

Работа №2.3.1; дата: 11.10.21

Семестр: 2

Выполнил:
Кошелев Александр

Группа:
Б05-105

1. Аннотация

Цель работы:

- 1) Измерение объемов форвакуумной и высоковакуумной частей установки
- 2) Определение скорости откачки системы

Схема установки:



Рис. 1: Схема установки

В работе используются: вакуумная установка с форвакуумным пластинчато-роторным насосом и турбомолекулярным насосом для достижения высокого вакуума. Используются параллельно терморезисторный, термоэлектронный и магнетронный вакуумметры.

2. Теоретические сведения

Одна из основных характеристик систем, работающих при вакууме – число Кнудсена:

$$Kn = \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

λ – длина свободного пробега молекул газа, d – характерный размер системы.

В зависимости от значений числа Кнудсена определяют:

- 1) низкий вакуум – $Kn \ll 1$
- 2) средний вакуум – $Kn \sim 1$
- 3) высокий вакуум – $Kn \gg 1$

Выпишем основные формулы, отображающие теоретические зависимости между исследуемыми величинами.

Скорость откачки:

$$S = \frac{dV}{dt}; \quad (2)$$

Падение давления:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}; \quad (3)$$

Пропускная способность:

$$U = \frac{Q}{\Delta P}; \quad (4)$$

Основное уравнение вакуумной механики:

$$\frac{1}{S_0} = \frac{1}{S_{text}} + \frac{1}{U}; \quad (5)$$

$$Q_H = V \frac{P_K - P_H}{\Delta t} \quad (6)$$

Проводимость отверстия:

$$U_{отв} = \frac{1}{4} \pi R^2 \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \sim R^2 \sqrt{T/m} \quad (7)$$

Проводимость длинного трубопровода

$$U_{тр} = \frac{4}{3} \frac{R^3}{L} \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} \sim \frac{R^3}{L} \sqrt{\frac{T}{m}} \quad (8)$$

Уравнение откачки газа

$$P(t) = P_1 \exp\left(-\frac{S_0}{V_0} t\right) \quad (9)$$

3. Проведение эксперимента

Определение объемов частей установки

Введем обозначения: p_1 – давление в установке сразу после откачки ТМН, p_2 – давление в вакуумной камере после выравнивания с сильфоном, p_3 – давление в вакуумной камере после выравнивания с объемом ТМН, $V_{сильф} = 265 \text{ ml}$ – объем сильфона, V_K – объем вакуумной камеры, $V_{ТМН}$ – суммарный объем вакуумной магистрали и рабочего объема ТМН.

Теперь при помощи закона Бойля-Мариотта можем вывести связи объемов частей установки:

$$V_K = \frac{p_{атм} - p_2}{p_2 - p_1} V_{сильф} \quad V_{ТМН} = \frac{p_2 - p_3}{p_3 - p_1} (V_{сильф} + V_K)$$

Давление в установке 170 mbar, давление камеры 220 mbar, а значит объем камеры:

$$V_K = (0.84 \pm 0.05) \text{ л}$$

Объем установки:

$$V_0 = (1.26 \pm 0.05) \text{ л}$$

Определение эффективной скорости откачки форвакуумным насосом

По причине большого объема данных здесь таблицу приводить не станем. Построим график зависимости $\ln \frac{P}{P_0}(t)$ в области, где эта зависимость близка к линейной.

Согласно формуле 9:

$$P = P_0 \exp\left(-\frac{S_0}{V_0} t\right) \Rightarrow \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{S_0}{V_0} t = -\frac{t}{\tau}$$

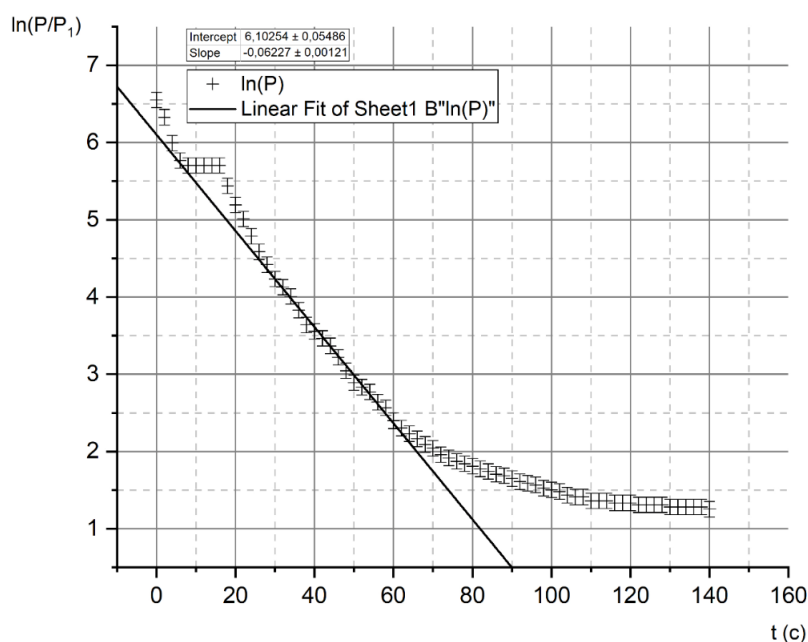


Рис. 2: График зависимости $\ln \frac{P}{P_0}(t)$

Вычислим эффективную скорость форвакуумной откачки. Для этого требуется найти коэффициент наклона графика. На интервале, где зависимость можно считать линейной. Таким образом получим:

$$\tau = \frac{t}{\ln(P/P_0)} = (16.06 \pm 0.02) \text{ s}$$

Отсюда найдём скорость откачки форвакуумным насосом:

$$S = (0.25 \pm 0.05) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Определение эффективной скорости откачки турбомолекулярным насосом

Приведем аналогичный предыдущему пункту график:

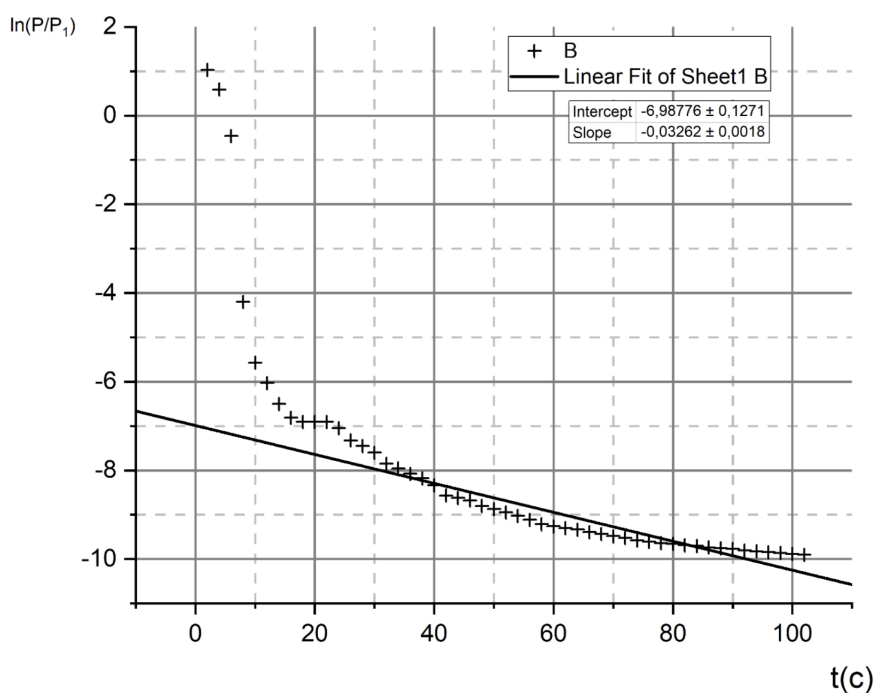


Рис. 3: График зависимости $\ln \frac{P}{P_0}(t)$

Из графика зависимости получаем τ :

$$\tau = 0.049 \text{ s}$$

Отсюда найдём скорость откачки турбомолекулярным насосом:

$$S = 49 \frac{\text{л}}{\text{с}}$$

4. Вывод

- 1) В результате выполнения данной работы, был получен вакуум $P \sim 10^{-5}$ торр.
- 2) Определена скорость откачки форвакуумным насосом $S = (0.25 \pm 0.05) \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
- 3) Определена скорость откачки турбомолекулярным насосом $S = 49 \frac{\text{л}}{\text{с}}$