

Московский физико-технический институт (МФТИ-Физтех)

Лабораторная работа 2.3.1:
Получение и измерение вакуума

Иванов Артём, Б05-409

6 февраля 2025 г.

Цель работы: 1) измерение объемов форвакуумной и высоковакуумной частей установки; 2) определение скорости откачки системы в стационарном режиме, а также по ухудшению и улучшению вакуума.

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

1 Теоретическая часть

1.1 Процесс откачки

Пусть W — объем газа, удаляемого из сосуда при данном давлении за единицу времени, Q_i для различных значений i обозначим различные притоки газа в сосуд (в единицах PV), такие как течи извне $Q_{\text{н}}$, десорбция с поверхностей внутри сосуда $Q_{\text{д}}$, обратный ток через насос $Q_{\text{н}}$. Тогда имеем:

$$-VdP = \left(PW - \sum Q_i \right) dt \quad (1)$$

При достижении предельного вакуума устанавливается $P_{\text{пр}}$, и $dP = 0$. В таком случае:

$$W = \frac{\sum Q_i}{P_{\text{пр}}} \quad (2)$$

Поскольку обычно $Q_{\text{н}}$ постоянно, а $Q_{\text{н}}$ и $Q_{\text{д}}$ слабо зависят от времени, также считая постоянной W , можем проинтегрировать (1) и получить:

$$P - P_{\text{пр}} = (P_0 - P_{\text{пр}}) \exp \left(-\frac{W}{V} t \right) \quad (3)$$

Полная скорость откачки W , собственная скорость откачки насоса $W_{\text{н}}$ и проводимости элементов системы C_1, C_2, \dots соотносятся согласно формуле (4), и это учтено в конструкции установки.

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_{\text{н}}} + \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad (4)$$

1.2 Течение газа через трубу

Характер течения газа существенно зависит от соотношения между размерами системы и длиной свободного пробега молекул. При атмосферном и форвакуумном давлениях длина свободного пробега меньше диаметра трубок, и течение газа определяется его вязкостью, т.е. взаимодействием молекул. При переходе к высокому вакууму столкновения молекул между собой начинают играть меньшую роль, чем соударения со стенками.

Для количества газа, протекающего через трубу длины l и радиуса r в условиях высокого вакуума, справедлива формула:

$$\frac{d(PV)}{dt} = \frac{4}{3} r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \cdot \frac{P_2 - P_1}{l} \quad (5)$$

Если труба соединяет установку с насосом, то давлением P_1 у его конца можно пренебречь. Давление в сосуде $P = P_2$. Тогда пропускная способность трубы:

$$C_{\text{тр}} = \left(\frac{dV}{dt} \right)_{\text{тр}} = \frac{4r^3}{3l} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \quad (6)$$

2 Экспериментальная установка

Установка изготовлена из стекла, и состоит из форвакуумного баллона (ФБ), высоковакуумного диффузионного насоса (ВН), высоковакуумного баллона (ВБ), масляного (М) и ионизационного (И) манометров, термопарных манометров (M_1 и M_2), форвакуумного насоса (ФН) и соединительных кранов ($K_1, K_2, \dots K_6$) (Рис. 1). Кроме того, в состав установки входят: реостат и амперметр для регулирования тока нагревателя диффузионного насоса.

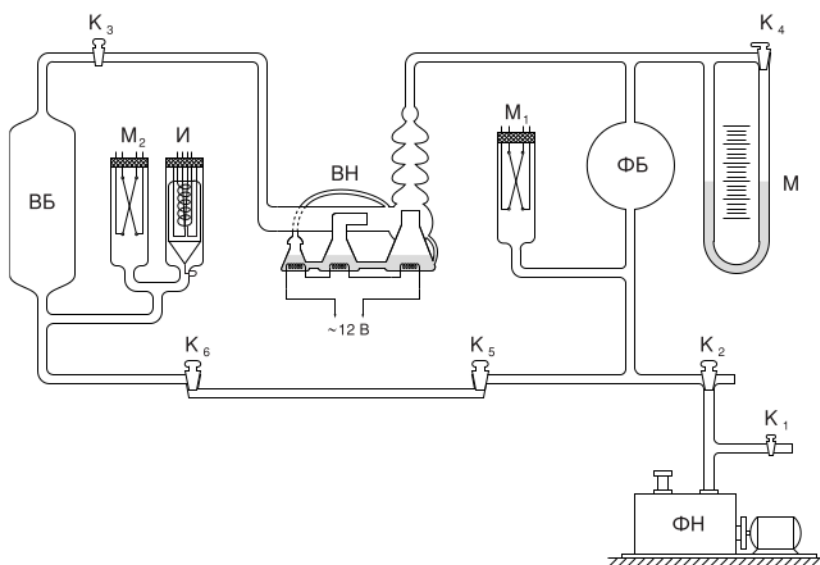


Рис. 1: Схема экспериментальной установки