

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Факультет общей и прикладной физики

Отчет о выполнении работы 2.3.1. Получение и измерение вакуума

Выполнил:
Студент гр. Б02-304
Головинов. Г.А.



Долгопрудный, 2024

Аннотация

Цель работы: 1) измерение объёмов 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, термпарным и ионизационным.

Основные теоретические сведения

Принцип работы ионизационного манометра

Ионизационный манометр представляет собой трёхэлектродную лампу. Электроны испускаются накалившимся катодом и увлекаются электрическим полем к аноду. Пролетая за витки анода, электроны замедляются полем коллектора и возвращаются к катоду, а от него вновь увлекаются к аноду.

Перед тем, как осесть на аноде они успевают много раз пройти расстояние между катодом и анодом, на этом пути они ионизируют молекулы газа. Ионы, образовавшиеся между анодом и коллектором, притягиваются его полем. По ионному току в цепи можно понять плотность молекул газа (она пропорциональна току), отсюда уже можно найти давление газа.

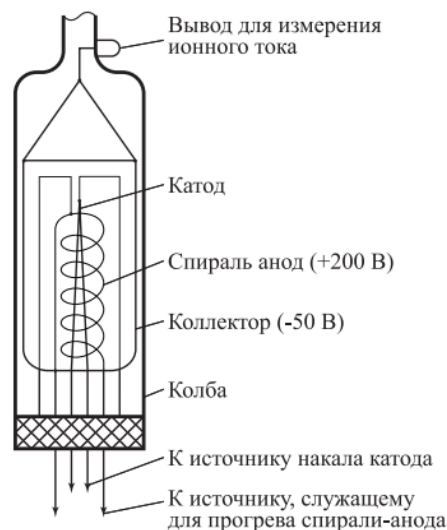


Рис. 1: Схема ионизационной лампы.

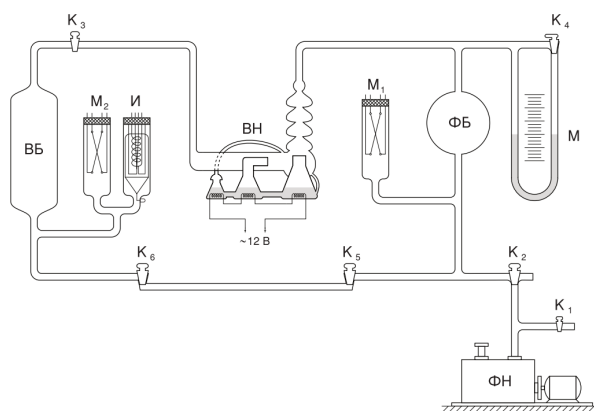


Рис. 2: Схема Экспериментальной установки.

Процесс откачки

Пусть W — скорость откачки насосом, Q_d — количество газа, десорбирующегося с поверхности откачиваемого объема в единицу времени, Q_n — количество газа, проникающего в единицу времени извне, Q_{in} — поток газа, поступающего обратно из насоса. Все потоки Q будем измерять в единицах pV .

$$-V dp = (pW - Q_d - Q_n - Q_{in})dt \quad (1)$$

При достижении предельного давления $p_{пр}$:

$$\frac{dp}{dt} = 0$$

значит

$$p_{пр}W = Q_d + Q_n + Q_{in} \quad (2)$$

Обычно Q_{in} — постоянно, а два других потока слабо зависят от времени, поэтому скорость откачки W можно считать постоянной. Чтобы отойти от предельного давления следует проинтегрировать (1):

$$\begin{aligned} -V \int_{p_{пр}}^p \frac{dp}{p} &= \int_0^t \left(W - \frac{\sum Q_i}{p} \right) dt \\ p - p_{пр} &= (p_0 - p_{пр}) \exp \left(-\frac{W}{V} t \right) \end{aligned}$$

Будем тогда аппроксимировать функцией:

$$p(t) = p_1 \exp \left(-\frac{W}{V} t \right) + p_2 \quad (3)$$

где $p_1 = p_0 - p_{пр}$, $p_2 = p_{пр}$.

Обработка результатов измерений

С помощью капилляра известного объема, крапов и масляного манометра определим объем вакуумной и форвакуумной части установки:

$$\begin{aligned} V_{\text{форвакуумной}} &= 2110 \text{ см}^3 \\ V_{\text{вакуумной}} &= 1141 \text{ см}^3 \end{aligned}$$

После достижения $3 \cdot 10^{-2}$ торр начинаем высоковакуумную откачку с помощью диффузионного насоса. При достижении $7 \cdot 10^{-4}$ торр на термопарном манометре включаем ионизационную лампу. Ждем установления предельного давления. В нашем случае оно составило $2 \cdot 10^{-4}$ торр.

Закрывая и открывая кран, ведущий к диффузионному насосу, оценим ухудшение и улучшение вакуума:

Ухудшение давления в высоковакуумной части

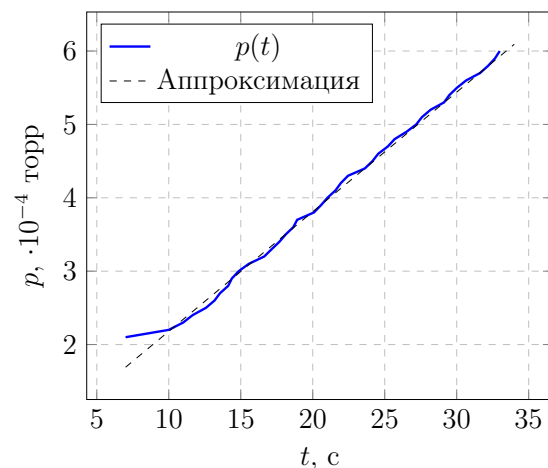


Рис. 3: Ухудшение давления со временем из-за течи в системе.

Улучшение давления в высоковакуумной части

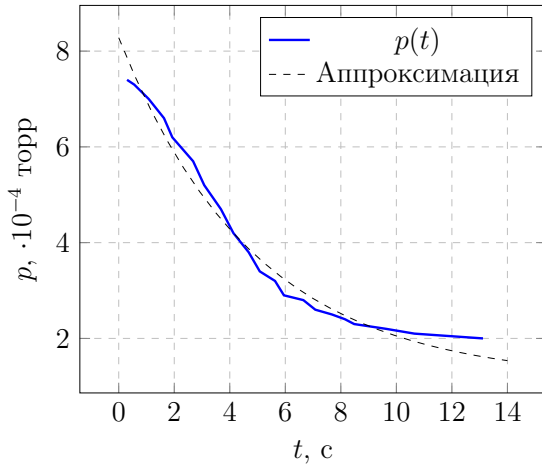


Рис. 4: График улучшения давления при работающем диффузионном насосе.

Аппроксимируя по методу χ^2 получим характерное значение $\tau = (4.88 \pm 0.29)$ с. При этом $p_1 = (7.15 \pm 0.07)$ Па, $p_2 = (1.12 \pm 0.10)$ Па.

Из него получим по формуле $\tau = V/W$:

$$W = (233.8 \pm 13.9) \text{ см}^3/\text{с}$$

Получим величину откачки другим образом: сделаем искусственную течь. Установившееся давление при этом равно $2.9 \cdot 10^{-4}$ торр.

$$W(p_{\text{уст}} - p_{\text{пр}}) = \frac{d(pV)_{\text{капилляра}}}{dt}$$

$$W = \frac{4}{3} \frac{r^3}{L} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \cdot \frac{p_{\text{фв}}}{p_{\text{уст}} - p_{\text{пр}}}$$

Учитывая давление в форвакуумной части $p_{\text{фв}}$ получим $W \approx 290 \text{ см}^3/\text{с}$, что несколько больше W из аппроксимации. Это может быть связано с тем, что в установке появились новые течи, а также с тем, что в реальности W все же зависит от давления.

Теперь оценим величину $Q_{\text{н}}$. Это можно сделать следующим образом:

Из 3 найдем наклон прямой: $V \cdot dp/dt = Q_{\text{н}} + Q_{\text{д}}$. $Q_{\text{н}}$ свой вклад в данном случае не вносит, так как насос не имеет доступа к высоковакуумной части установки в это время.

Тогда используя формулу (2) найдем $Q_{\text{н}}$:

$$Q_{\text{н}} = p_{\text{пр}} W - (Q_{\text{и}} + Q_{\text{д}}) = p_{\text{пр}} W - V \cdot \frac{dp}{dt} \quad (4)$$

Точки достаточно хорошо ложатся на прямую, коэффициент $k = dp/dt \approx 0.16 \cdot 10^{-4}$ торр/с. Получим:

$$Q_{\text{н}} = (280.7 \pm 16.7) \text{ торр} \cdot \text{см}^3/\text{с}$$

Выводы

В результате работы мы познакомились с методами получения и измерения вакуума, с помощью диффузионного насоса получили довольно высокий вакуум, исследовали характеристики насоса при этих давлениях двумя ме-

тодами. Сравнили результаты.

Значения несколько расходятся, это может быть объяснено в том числе тем, что производительность насоса зависит от давления.