

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, термопарным и ионизационным.

## Основные теоретические сведения

## Принцип работы ионизационного манометра

Ионизационный манометр представляет собой трёхэлектродную лампу. Электроны испускаются накали́нным катодом и увлекаются электрическим полем к аноду. Проскакивая 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.

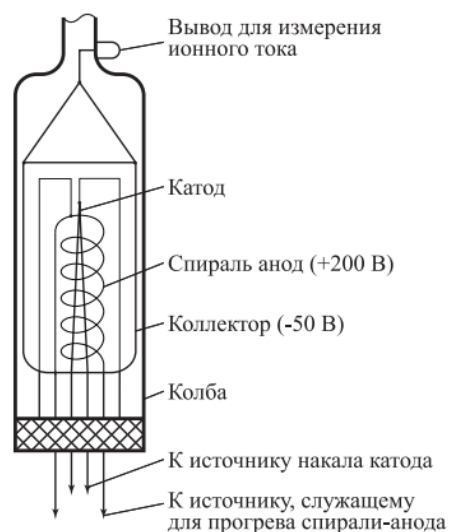


Рис. 1: Схема ионизационной лампы.

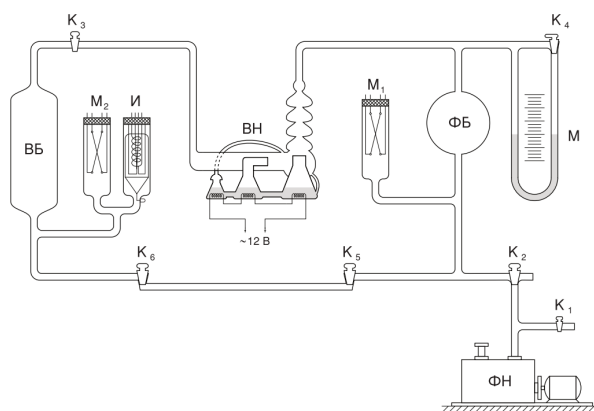


Рис. 2: Схема Экспериментальной установки.

## 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,  $Q_{\text{и}}$  — поток газа, поступающего обратно из насоса. Все потоки  $Q$  будем измерять в единицах  $pV$ .

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

При достижении предельного давления  $p_{\text{пр}}$ :

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

значит

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

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

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

Будем тогда аппроксимировать функцией:

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

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

## 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

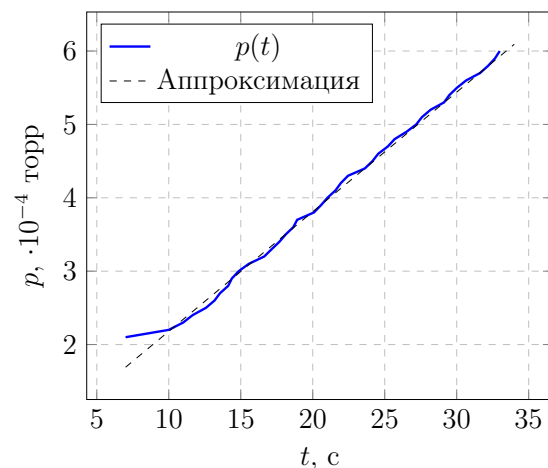


Рис. 3: Ухудшение давления со временем из-за течи в системе.

Улучшение давления в высоковакуумной части

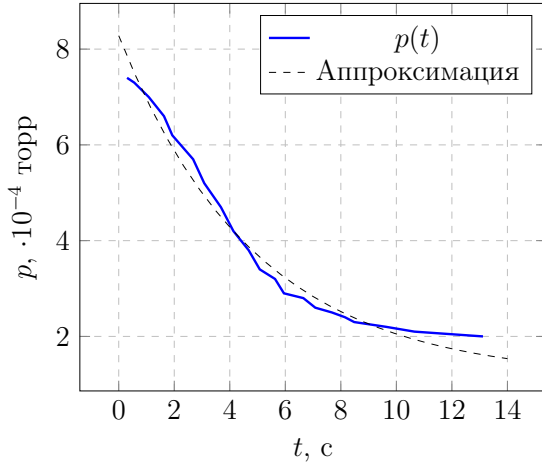


Рис. 4: График улучшения давления при работающем диффузионном насосе.

Аппроксимируя по методу  $\chi^2$  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.