

# Лабораторная работа №2.3.1

## Получение и измерение вакуума.

Каграманян Артемий, группа Б01-208

19 апреля 2023 г.

### 1 Аннотация

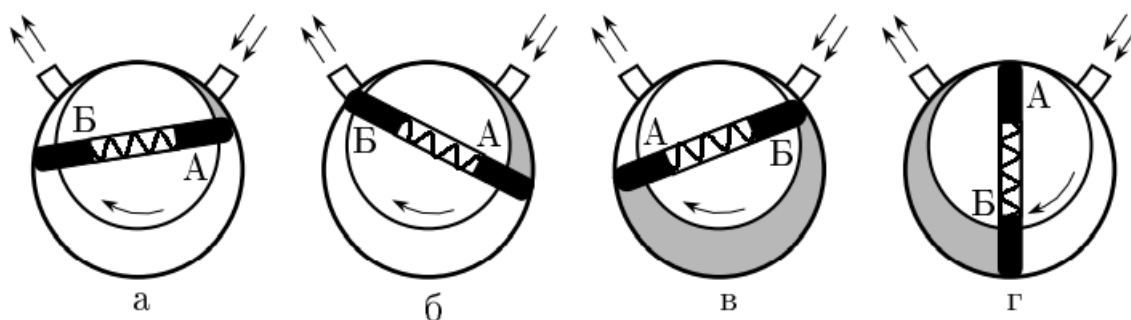
**Цель работы:** Измерение объемов форвакуумного и высоковакуумного баллонов установки. Определение скорости откачки системы в стационарном режиме, по улучшению и ухудшению вакуума.

**Оборудование:** Установка с манометрами: масляным, термомпарным и ионизационным.

### 2 Теоритическая справка

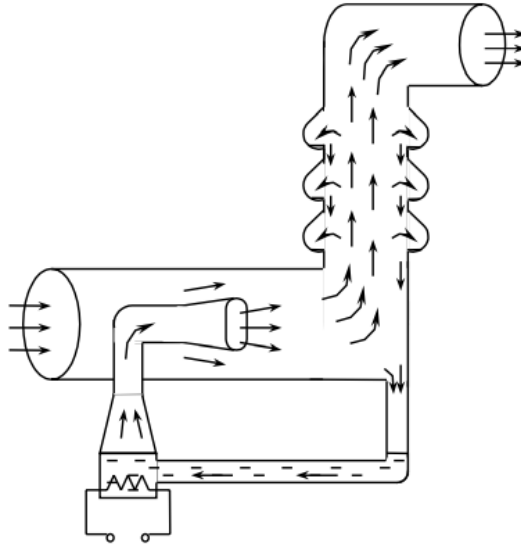
Ваккумные установки делят на три типа: низковакуумные ( $10^{-2} - 10^{-3}$  торр), высоковакуумные ( $10^{-4} - 10^{-7}$  торр), установки сверхвысокого вакуума ( $10^{-8} - 10^{-11}$  торр). Так же можно определить высокий вакуум как газ, в котором длина свободного пробега частиц сравнима с размерами установками. В этой работе нам предстоит получить высокий и низкий вакуум с помощью форвакуумного насоса и диффузионного масляного насоса.

Форвакуумный насос работает следующим образом. В цилиндрической части насоса расположен ротор так, что он всегда соприкасается со своей верхней частью при помощи пружин.



Как показано на рисунке, воздух порциями гоняется из правой трубки в левую из-за вращения ротора.

Диффузионный насос работает по такому принципу: нагревается масло, пары которого выходят через сопло, направляя частицы воздуха в ту же сторону. Воздух выходит из системы, а масло конденсируется на стенках колбы в виде елочки и стекает обратно в начальное положение установки. При работе с таким насосом важно, чтоб давление в системе было достаточно низким, чтобы образовался поток масляных паров. Иначе масло просто будет выгорать.



Скорость откачки диффузионного насоса намного выше скорости форвакуумного насоса, в чем нам предстоит убедиться.

В установке так же присутствуют 3 манометра: масляной, термопарный и ионизационный. Масляной манометр работает следующим образом: просто есть сообщающиеся 2 трубки, одна подсоединенная к системе, другая к атмосфере. Разность высот в этих столбах как раз показывает давление в установке.

Термопарный манометр измеряет давление путем измерения теплоемкости газа с помощью термопары, которая зависит от давления газа (при давлениях  $< 1$  Торр).

Ионизационный манометр представляет собой трехэлектронную лампу. Электроны испускаются накалившимся катодом и летят к аноду. Затем они замедляются полем коллектора и летят обратно к катоду, и по новой. Прежде чем осесть на аноде, они успевают много раз пройти пространство между катодом и коллектором. Эти электроны ионизируют молекулы газа, которые определяют ток. По нему можно определить давление в лампе, потому что ток определяется давлением газа. Если будет очень большое давление в лампе, то катод просто перегорит из-за большого тока.

Производительность насоса определяется скоростью откачки  $W$  - это объем газа, который удаляется из системы за секунду при данном давлении. Таким образом, скорость откачки форвакуумного насоса - это объем его воздушной камеры, умноженный на частоту ротора. Обозначим количество газа, которое приходит в трубку в процессе откачки за  $Q$ . Измерять его будем в единицах  $PV$ . Тогда мы можем записать уравнение:

$$-VdP = (PW - Q)dt$$

Но при предельном давлении  $\frac{dP}{dt} = 0 \Rightarrow Q = P_{\text{пр}}W$ . Подставим это в начальное уравнение и проинтегрируем и, учитывая что  $P_0 \gg P_{\text{пр}}$ ,  $P - P_{\text{пр}} = P_0 e^{-Wt/V}$  (1).

Для течения газа через трубу при высоком вакууме справедлива формула:

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

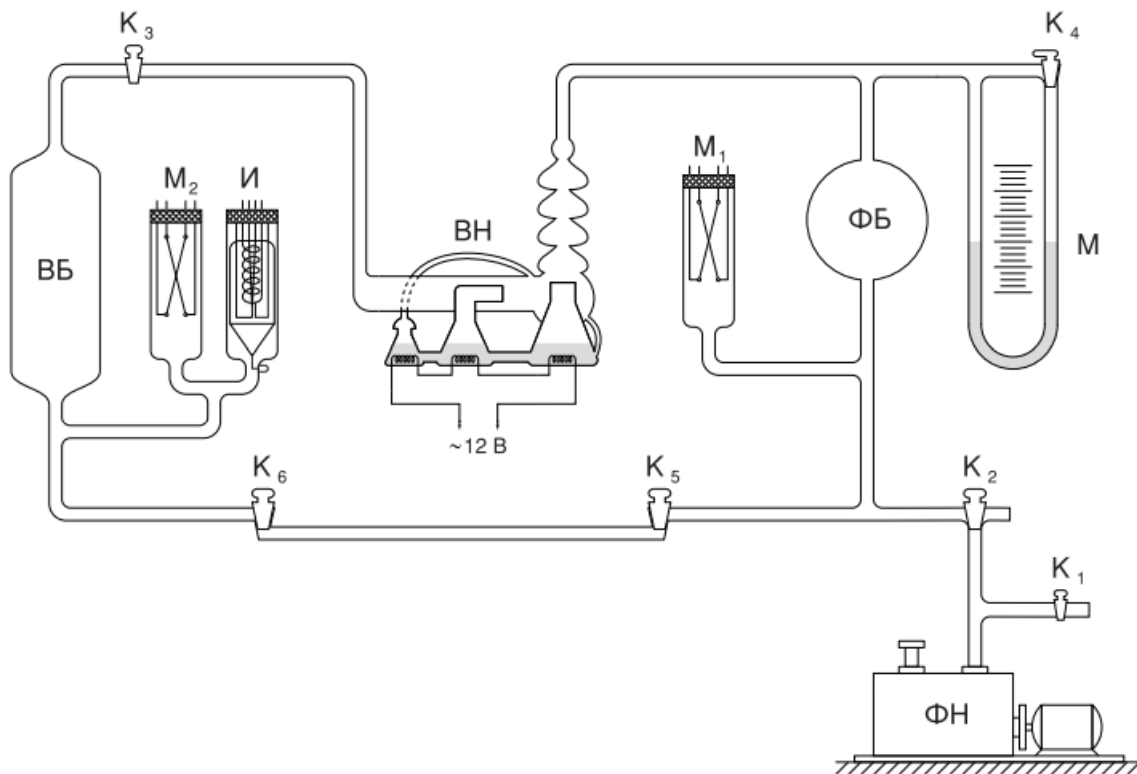
Если пренебречь давлением  $P_1$  у конца, обращенного к насосу, получаем формулу для пропускной способности трубы:

$$C_{\text{тр}} = \frac{dV}{dt} = \frac{4}{3} \frac{r^3}{L} \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}}$$

Для пропускной способности отверстия (например в кранах) имеем формулу:

$$C_{\text{отв}} = S \frac{\bar{v}}{4}$$

### 3 Установка



На этом рисунке можно увидеть, где расположены манометры М - масляной,  $M_1$  — термопарный манометр,  $M_2$  — ионизационный манометр, а так же диффуз ионный и форвакуумные насосы.

### 4 Выполнение работы

#### 4.1 Измерение объема высоковакуумной части

Проделав все действия, которые указаны в задании, мы получили следующие результаты:

$\Delta h_1$ , см	25,2
$\Delta h_2$ , см	16,1

Таблица 1: 1 - для форвакуумной части, 2 - для двух баллонов

Таким образом, получилось:

$$V_{\text{фв}} = \frac{PV_{\text{зап}}}{\rho_{\text{м}}g\Delta h_1} = 2259 \pm 9 \text{ см}^3$$

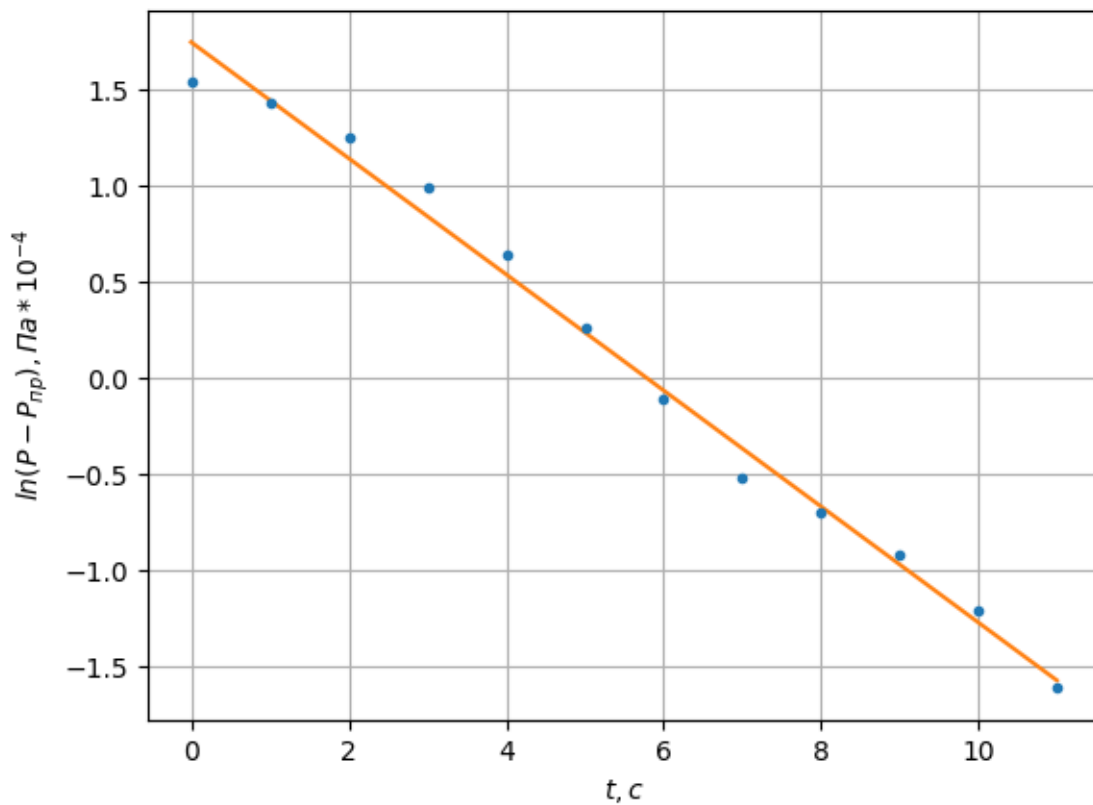
$$V_{\text{об}} = \frac{PV_{\text{зап}}}{\rho_{\text{м}}g\Delta h_1} = 3536 \pm 22 \text{ см}^3$$

$$\underline{V_{\text{вв}} = V_{\text{об}} - V_{\text{фв}} = 1277 \pm 31 \text{ см}^3}$$

## 4.2 Получение высокого вакуума и измерение скорости откачки

Чтобы найти скорость откачки диффузионного насоса, воспользуемся прологарифмированной формулой (1):

$$\ln(P - P_{\text{пр}}) = -\frac{W}{V}t + \ln P_0$$



Таким образом, мы получили, что  $\underline{W_{\text{д}} = 385 \pm 9 \text{ см}^3/\text{с}}$ .

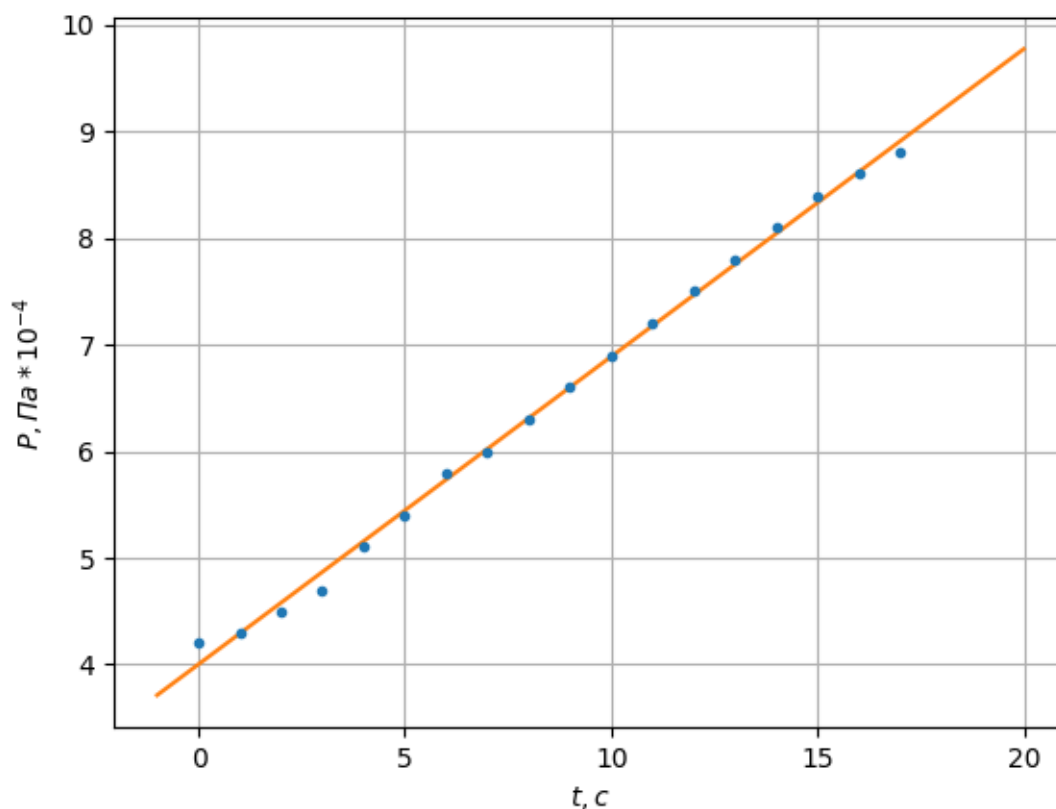
Дальше нам нужно определить  $Q_{\text{н}}$ . Если мы закроем КЗ, то насос отсоединится от системы, уравнение, описывающее давление в системе от времени примет такой вид:

$$V_{\text{вв}}dP = Qdt$$

Проинтегрировав это, получим:

$$P = \frac{Q}{V_{\text{вв}}}t + \text{const}$$

Построим график:



Итого, получилось, что  $Q' = kV_{\text{вв}} = (36,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $Q = P_{\text{пр}}W = (46,2 \pm 1,3) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$

Значит,  $Q_{\text{н}} = Q - Q' = (9,5 \pm 2,1) \cdot 10^{-9} \text{ Дж} \cdot \text{с}^{-1}$

### 4.3 Измерение скорости откачки путем создания искусственной течи

Мы пытались сделать нормально первые два пункта, но установка взяла верх над нами и мы из-за нее ничего не успели, но боги лаб (Александр Дмитриевич и какая-то добрая бабушка) сказали, что можно взять данные для этого пункта у других наших любимых одногруппников, но никто нам не помог((((.

## 5 Заключение

Мы убедились в правильности теории, по которой мы делали лабораторную работу, получили скорости откачки диффузионного насоса.