

# Лабораторная работа 2.3.1

## «Получение и измерение вакуума»

Балдин Виктор, Б01-303

20 февраля 2024 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  $Q_{\text{и}}$ , 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  $Q_{\text{и}}$  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.

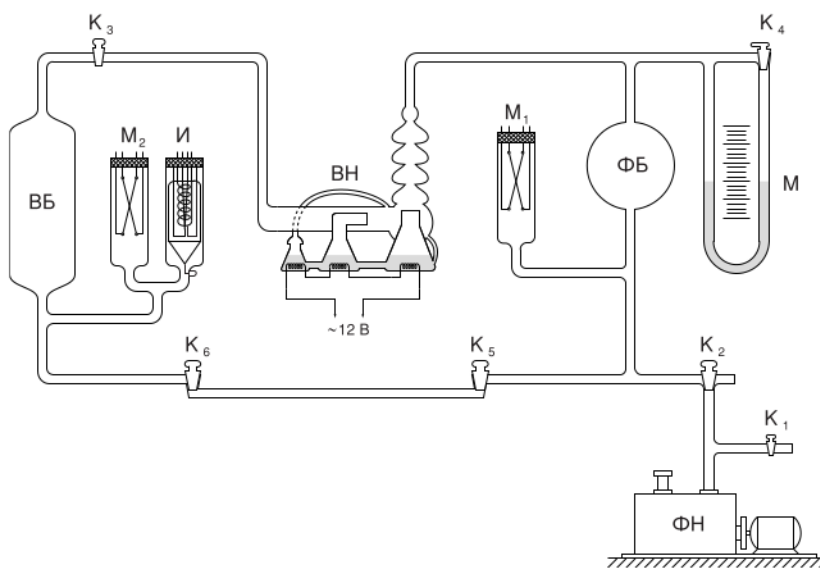


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

## 3 Ход работы

### 3.1 Определение объема форвакуумной и высоковакуумной частей установки

1. Атмосферное давление равно  $P_A = (748 \pm 1)$  торр.
2. Впустим в установку атмосферный воздух через краны К1 и К2.
3. Закроем краны К5 и К6, запрем  $V_{\text{зап}} = 50 \text{ см}^3$  воздуха.
4. Закроем краны К1 и К2, включим форвакуумный насос. Подключим установку к форвакуумному насосу краном К2 и откачаем ее до давления  $10^{-2}$  торр.
5. Повернув рукоятку крана К2, отсоединим установку от форвакуумного насоса. Откроем кран К1.
6. Перекрыв К3, отделим ВВ от ФБ.
7. Закроем К4.
8. Откроем К5, измерим уровень масла слева и справа, которые дадут нам давление  $P_1$ . Из закона Бойля-Мариотта  $V_{\text{фв}} = V_{\text{зап}} P_A / P_1$ .
9. Аналогичным методом измерим объем  $V_{\text{вв}}$ , открыв кран К3.
10. Повторим все измерения еще раз. Все результаты в таблице. Погрешность измерения уровня примем  $\Delta h = 0,1 \text{ см}$ .

$h_1, \text{ см}$	$h_2, \text{ см}$	$P_1, \text{ торр}$	$h_3, \text{ см}$	$h_4, \text{ см}$	$P_2, \text{ торр}$
34,6	6,2	18,6	29,6	11,4	11,8
34,5	6,1	18,6	29,8	11,4	12,0

Таблица 1: Таблица показаний масляного манометра

11. Получим  $V_{\text{фв}} = (2010 \pm 40) \text{ см}^3$ ,  $V_{\text{вв}} = (1150 \pm 30) \text{ см}^3$ . Относительная погрешность может быть вычислена в обоих случаях как  $\varepsilon_V = \varepsilon_P + \varepsilon_{P_A}$ .  $\varepsilon_{V_{\text{фв}}} = 0,2$ ,  $\varepsilon_{V_{\text{вв}}} = 0,3$ .

### 3.2 Получение высокого вакуума и измерение скорости откачки

12. Установим ток в лампе  $I_0 = 0,6 \text{ А}$ .
13. После того, как давление упало ниже  $3 \cdot 10^{-2}$  торр, закроем К6 и установим ток  $I_{\text{max}} = 1,29 \text{ А}$  для нагревания масла.
14. Когда давление достигнет  $10^{-3}$  торр, включим ионизационный манометр.
15. По достижении  $1,6 \cdot 10^{-4}$  торр начнем дегазацию.
16. Получаем предельное давление  $P_{\text{пр}} = 5,6 \cdot 10^{-5}$  торр.

17. Остановим откачку и откроем кран КЗ. Снимем зависимость  $P(t)$  в процессе ухудшения, а затем в процессе улучшения вакуума.
18. Все результаты представим на графиках:

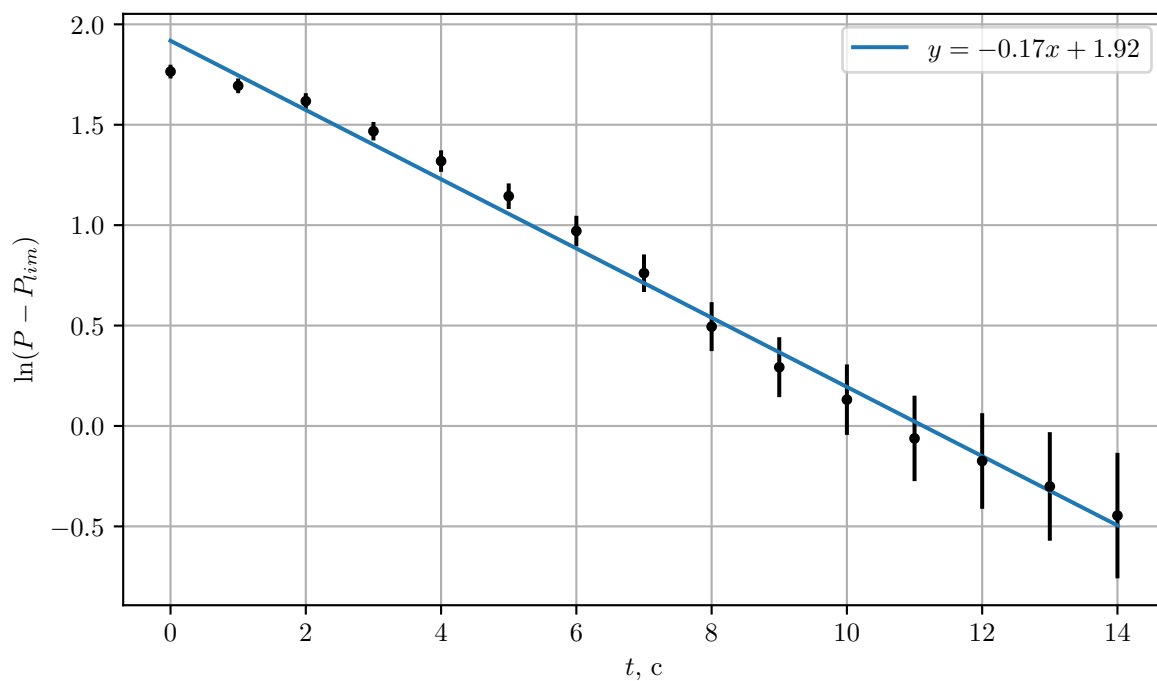


Рис. 2: Откачка 1

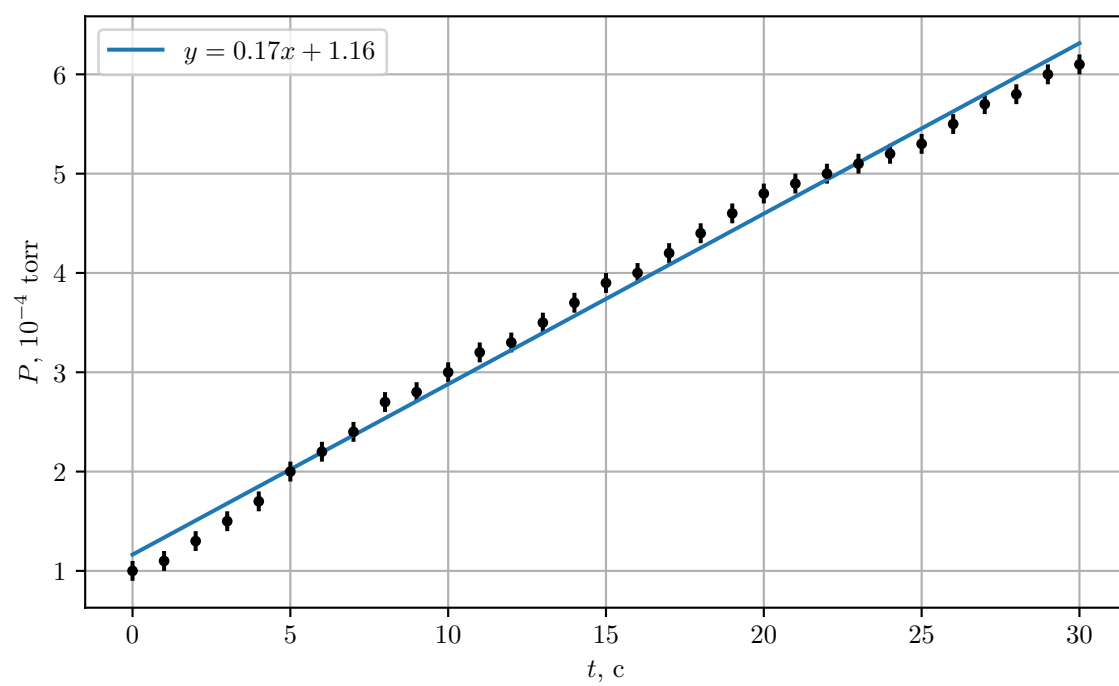


Рис. 3: Ухудшение вакуума 1

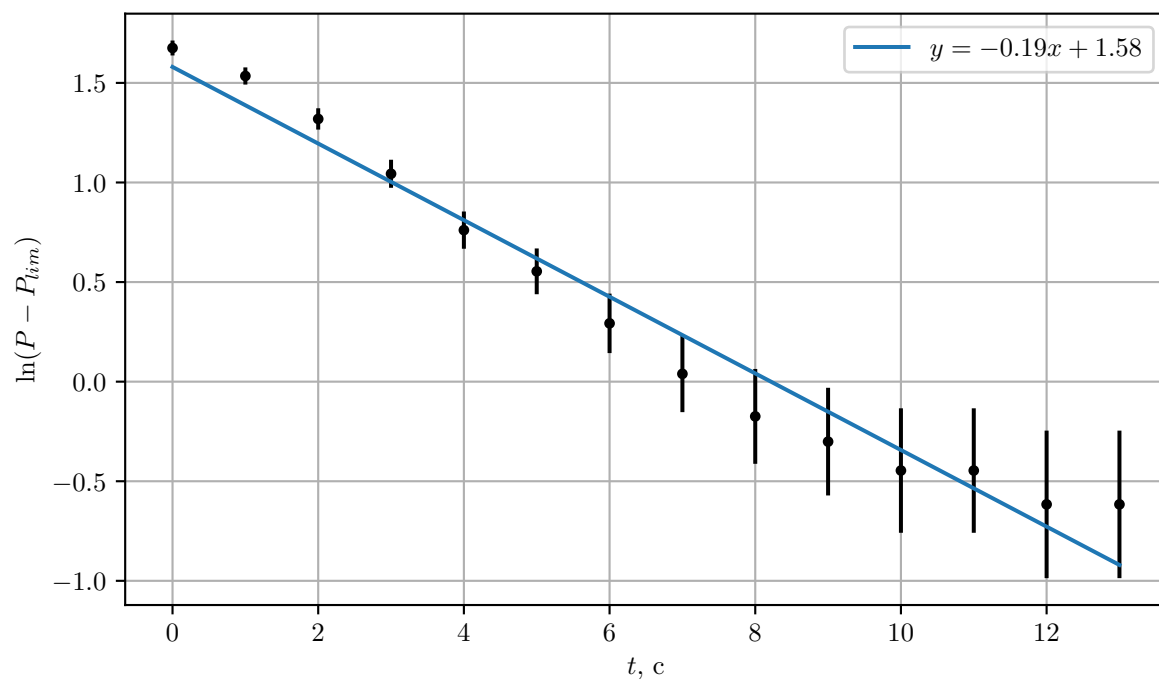


Рис. 4: Откачка 2

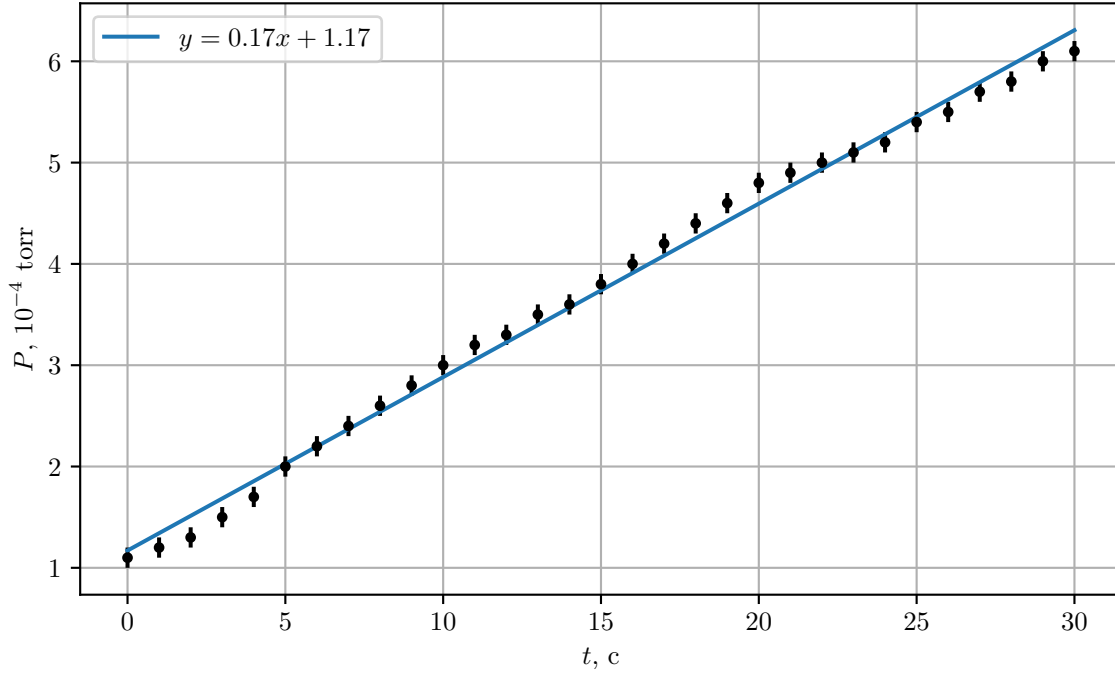


Рис. 5: Ухудшение вакуума 2

19. По графикам 2 и 4  $W = -\bar{k}V_{\text{вв}} = (207 \pm 15) \text{ см}^3/\text{с}$  ( $\varepsilon_W = 0,07$ ).
20. По графикам 3 и 5  $Q_{\text{н}} + Q_{\text{д}} = \bar{k}V_{\text{вв}} = (19,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \text{ торр} \cdot \text{см}^3/\text{с}$ . Пренебрегая эффектом десорбции, считаем  $Q_{\text{н}} \approx Q_{\text{н}} + Q_{\text{д}}$ ,  $\varepsilon_Q = 0,005$
21. Теперь попробуем получить тот же результат для  $W$  методом создания искусственной течи. Для этого откроем кран К6 и подождем, пока давление установится. Используя формулу 5 для расчета скорости истечения газа, получаем:

$$(P_{\text{уст}} - P_{\text{пр}})W = \frac{4}{3}r^3 \sqrt{\frac{2\pi RT}{\mu}} \frac{P_{\text{фв}}}{L},$$

22. В результате создания искусственной течи получим  $P_{\text{уст}} = (5,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ торр}$  ( $\varepsilon_P = 0,3$ ), откуда  $W = (114 \pm 20) \text{ см}^3/\text{с}$  ( $\varepsilon_W = 0,18$ ).

## 4 Выводы

В данной работе мы получили вычислили параметры установки: объемы баллонов, производительность насоса  $W$ , обратный ток газа через насос  $Q_{\text{н}}$ . Как можно видеть, при создании искусственной течи  $W$  существенно изменяется. Это можно обосновать тем, что после открытия К6 эффективная пропускная способность системы вместе с капилляром снижается, что не позволяет достичь максимальной производительности насоса.