

Лабораторная работа 2.3.1

«Получение и измерение вакуума»

Балдин Виктор, Б01-303

19 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, термомпарным 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.

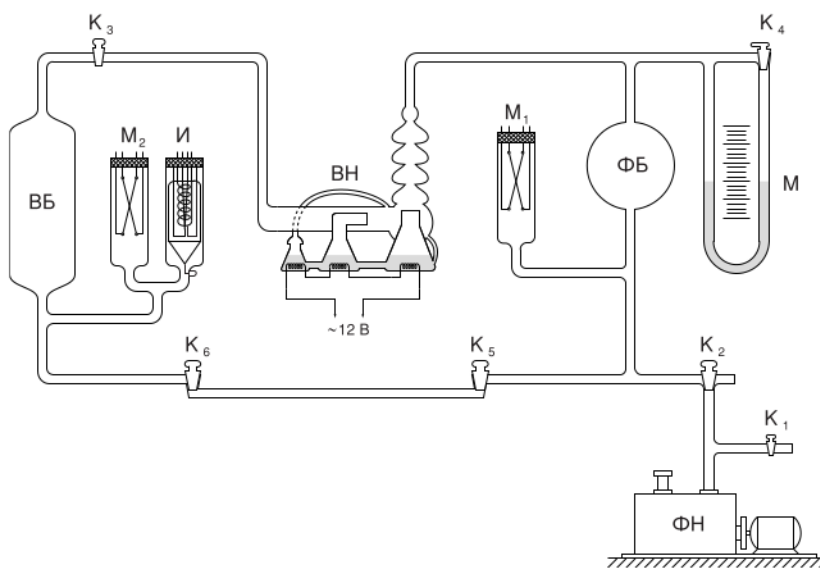


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

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:

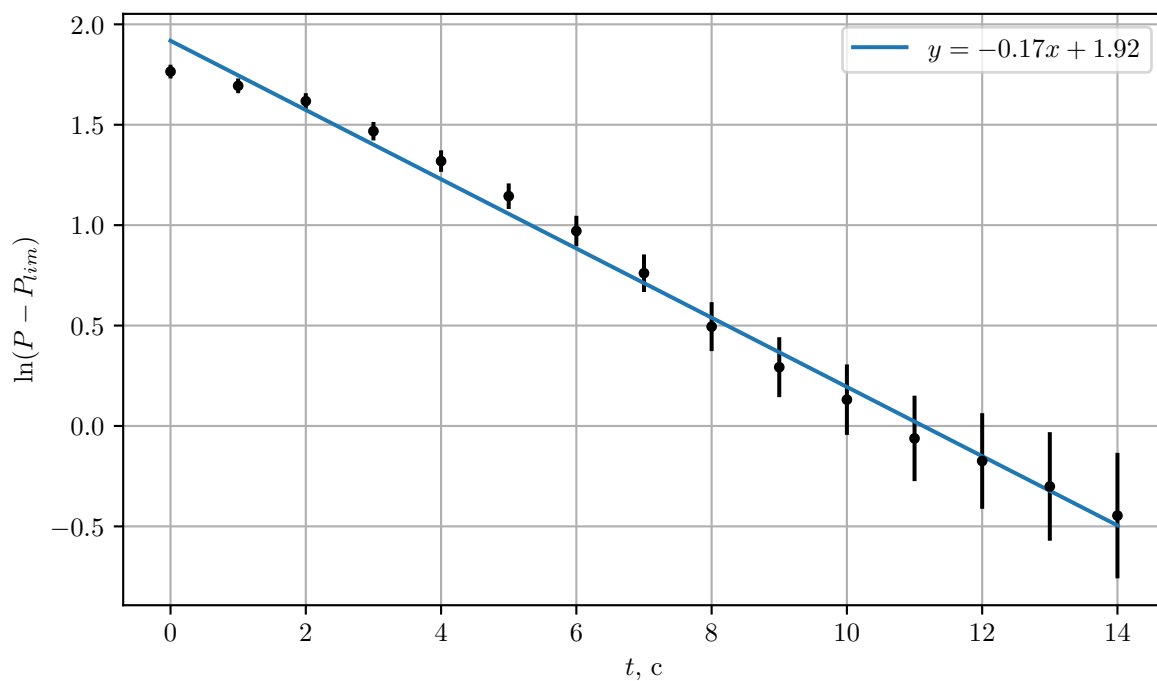


Рис. 2: Откачка 1

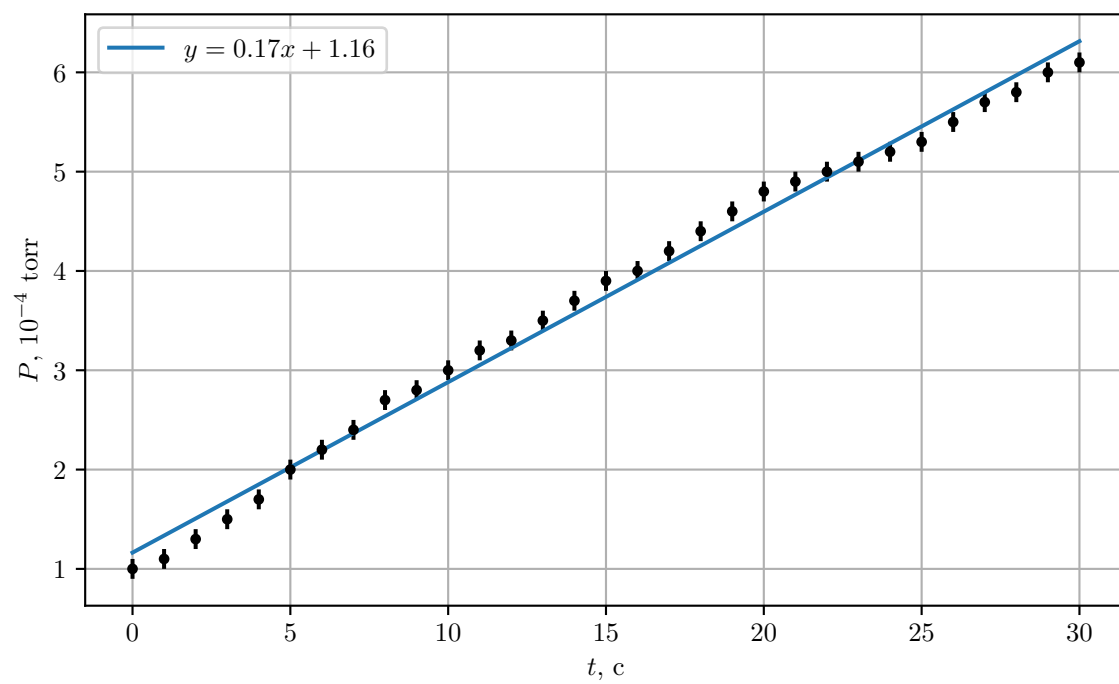


Рис. 3: Ухудшение вакуума 1

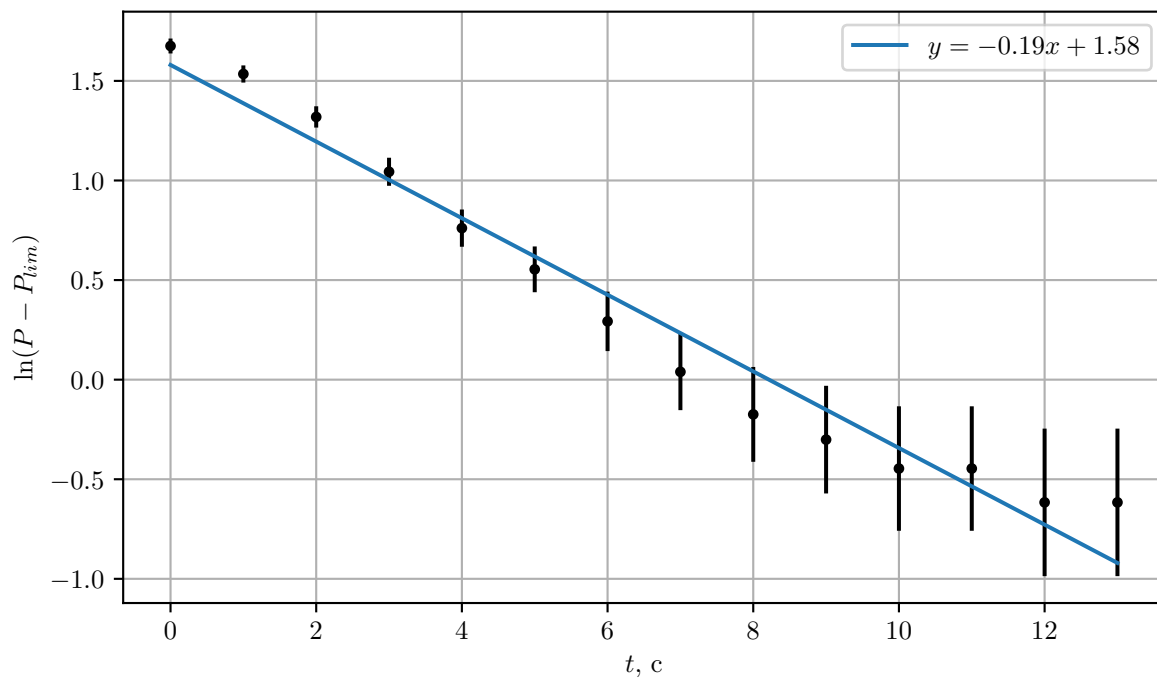


Рис. 4: Откачка 2

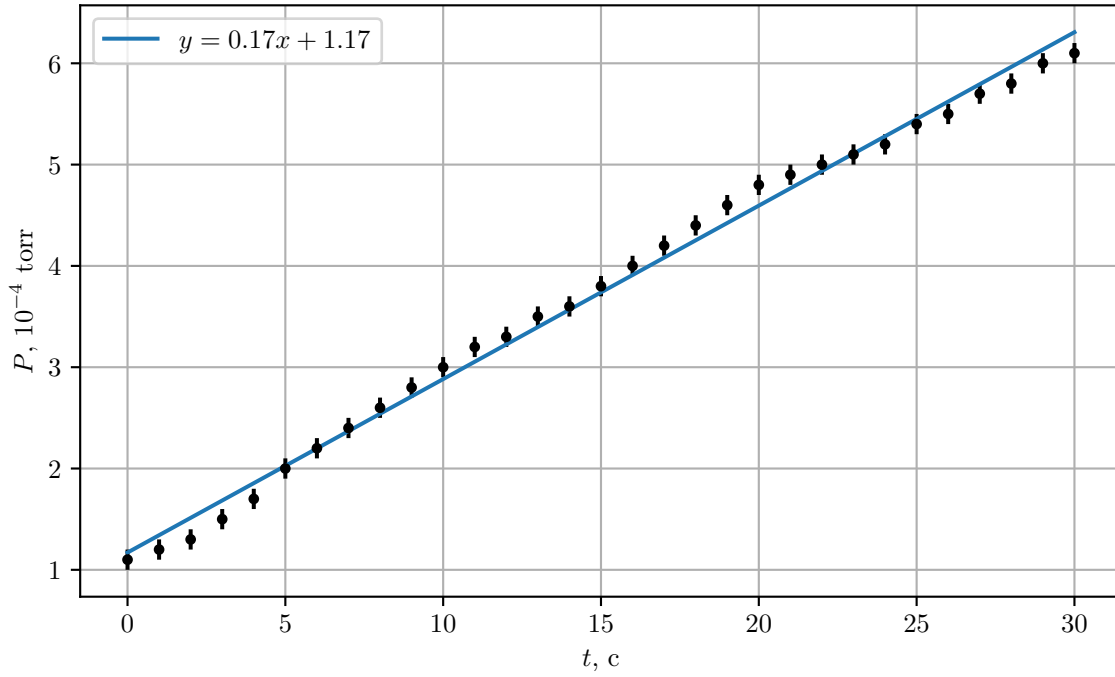


Рис. 5: Ухудшение вакуума 2

19. По графикам 2 и 4 $W = -\bar{k}V_{\text{вв}} = (207 \pm 15) \text{ см}^3/\text{с}$.
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 $Q_{\text{н}} \approx Q_{\text{н}} + Q_{\text{д}}$.
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 $P_{\text{уст}} = (5,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ торр}$, откуда $W = (114 \pm 20) \text{ см}^3/\text{с}$.

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.