

В данной задаче требуется оценка погрешностей.

Внутри ЧЯ находится замкнутый герметичный сосуд, состоящий из двух камер. Вторая камера может изменять свой объем за счет подвижного поршня. Снаружи ЧЯ находятся выходы двух медицинских полых игл, ведущих к этому объему. К ним можно подсоединять манометр и шприцы. Корпус не является герметичным и свободно сообщается с атмосферой.

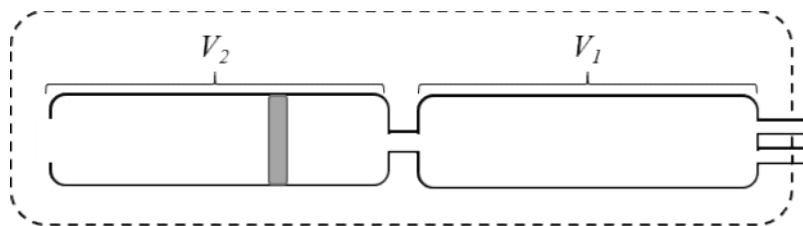


Рис. 1. Устройство ЧЯ

Задание

Измерьте объемы внутренних камер ЧЯ. Атмосферное давление p_0 вам сообщит организатор.

Оборудование. Исследуемый черный ящик, шприц 50 мл, шприц 5 мл, манометр.

Внимание

Камеры ящика могут потерять свою герметичность. Чаще всего это связано с многократным подсоединением шприца или манометра к выходам игл. Для обеспечения герметичности надавите на иглу вдоль осевой линии, сделав ее контакт с пробкой более плотным.

Категорически запрещено вытаскивать иглы из пробки.

Категорически запрещено использовать манометр для измерения давления **более 300 мм. рт. ст.**, так как в таком случае он **выйдет из строя**.

При нарушении вышеуказанных правил вы будете **дисквалифицированы**.

Решение

Атмосферное давление примем равным $p_0 = 770$ мм. рт. ст. Измерим сначала внутренний объем манометра V_M . Для этого подключим к нему шприц объемом 5 мл с набранным в него воздухом при атмосферном давлении. Будем надавливать на поршень шприца, уменьшая его объем, и измерим зависимость показаний манометра от объема воздуха внутри шприца.

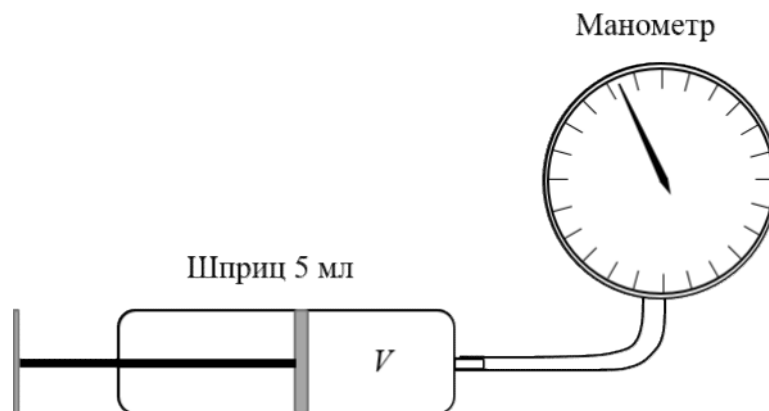


Рис. 2. Измерение внутреннего объема манометра

Для связи давления в системе с объемом воздуха внутри шприца V можем записать из закона Бойля-Мариотта:

$$p_0(V_{01} + V_M) = (p_0 + p)(V + V_M), \quad (1)$$

где $V_{01} = 5.0 \pm 0.1$ мл - начальный объем газа в шприце, p - показания манометра. После небольшого преобразования получим:

$$V = \frac{p_0}{p + p_0}(V_{01} + V_M) - V_M. \quad (2)$$

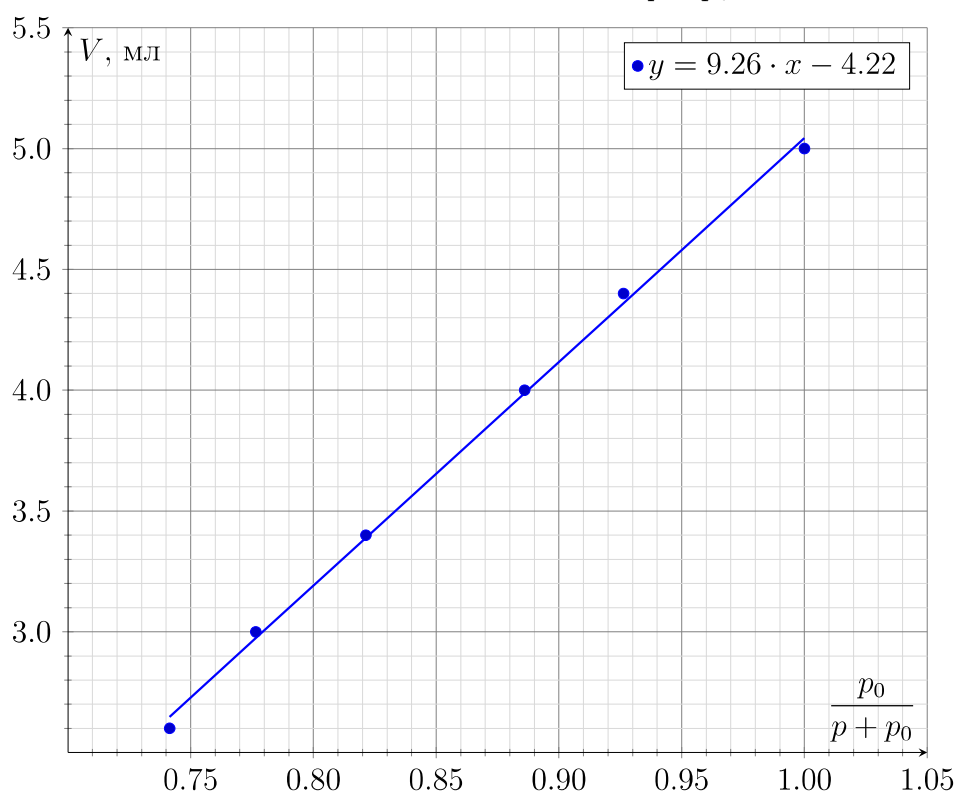
Построим график зависимости $V\left(\frac{p_0}{p+p_0}\right)$. Угловой коэффициент полученного графика составляет:

$$k_1 = V_{01} + V_M = 9.26 \pm 0.14 \text{ мл}. \quad (3)$$

Таким образом, внутренний объем манометра:

$$V_M = k_1 - V_{01} = 4.3 \pm 0.2 \text{ мл}. \quad (4)$$

V , мл	p , мм. рт. ст.	$\frac{p_0}{p + p_0}$
5.0	0	1.00
4.4	60	0.93
4.0	97	0.89
3.4	164	0.82
3.0	217	0.78
2.6	263	0.74

График зависимости V от $\frac{p_0}{p + p_0}$ 

Теперь подсоединим манометр к одному входу ЧЯ, а ко второму шприц на 50 мл с поршнем установленным на отметку «ноль». Вытянем поршень шприца до максимальной отметки. Отключим шприц от ЧЯ и повторим операцию несколько раз, чтобы добиться перемещения внутреннего поршня ЧЯ в крайнее положение, отвечающее минимальному внутреннему объему ЧЯ. Теперь подключим к ЧЯ шприц на 50 мл заполненный воздухом при атмосферном давлении. Будем изменять объем шприца и измерять давление воздуха в ЧЯ с помощью манометра.

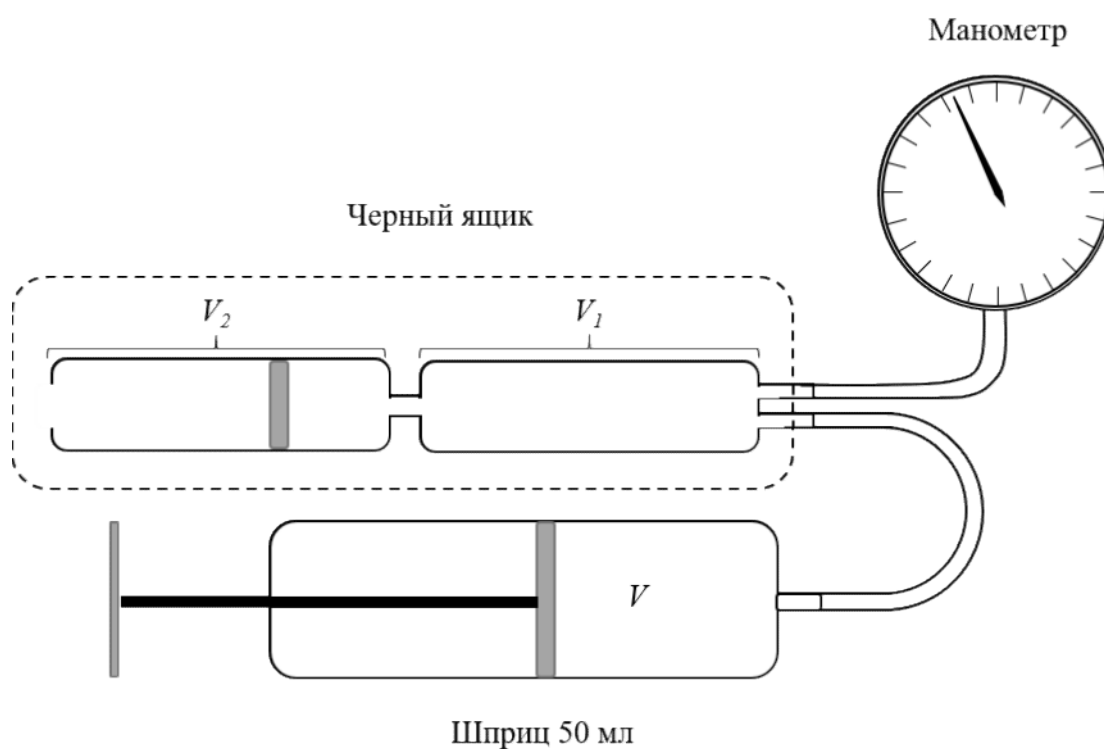
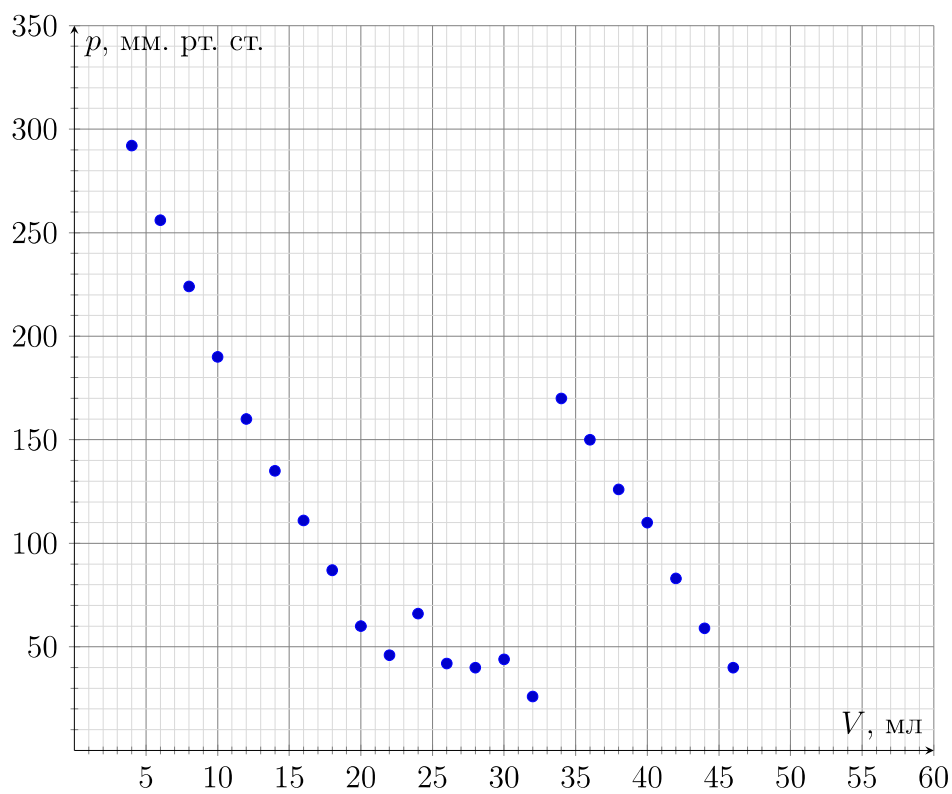


Рис. 3. Измерение объема внутренних камер ЧЯ

Занесем данные в таблицу и построим график полученной зависимости.

График зависимости p от V 

V , мл	p , мм. рт. ст.	$\frac{p_0}{p + p_0}$
46.0	40	0.95
44.0	59	0.93
42.0	83	0.90
40.0	110	0.87
38.0	126	0.86
36.0	150	0.83
34.0	170	0.82
32.0	26	0.97
30.0	44	0.94
28.0	40	0.95
26.0	42	0.95
24.0	66	0.92
22.0	46	0.94
20.0	60	0.93
18.0	87	0.90
16.0	111	0.87
14.0	135	0.85
12.0	160	0.82
10.0	190	0.80
8.0	224	0.77
6.0	256	0.75
4.0	292	0.72

Как видно из полученного графика, давление несколько раз после возрастания до некоторой величины убывает. Это можно объяснить движением поршня шприца. Так при возрастании давления до некоторого критического момента поршень начинает двигаться. При этом сила трения скольжения оказывается несколько меньшей силы трения покоя, то есть той силы, при воздействии которой поршень начинает свое движение. Вследствие этого поршень перемещается скачками. В том случае поршень, достигнув упора, остановится и давление будет возрастать без сбросов. Запишем для связи измеряемых величин в этом случае:

$$p_0(V_{02} + V_1 + V_m) = (p_0 + p)(V + V_1 + V_2 + V_m), \quad (5)$$

где $V_{02} = 50.0 \pm 0.5$ мл - начальный объем воздуха внутри шприца. После небольших преобразований получим:

$$V = \frac{p_0}{p_0 + p}(V_{02} + V_1 + V_m) - V_1 - V_2 - V_m. \quad (6)$$

Построим график зависимости $V\left(\frac{p_0}{p_0 + p}\right)$ в интервале, когда поршень уже достиг упора. Найдем его угловой коэффициент и смещение:

$$\begin{aligned} k_2 &= V_{02} + V_1 + V_M = 78.5 \pm 0.7 \text{ мл} \\ b_2 &= -V_1 - V_2 - V_M = -52.5 \pm 0.6 \text{ мл} \end{aligned} \quad (7)$$

Откуда объемы камер получаем равными:

$$\begin{aligned} V_1 &= k_2 - V_{02} - V_M = 24.0 \pm 1.4 \text{ мл} \\ V_2 &= -b_2 - k_2 + V_{02} = 24.0 \pm 1.3 \text{ мл} \end{aligned} \quad (8)$$

График зависимости V от $\frac{p_0}{p + p_0}$

