



В этой задаче требуется оценка погрешностей.

Задание

1. Придумайте и опишите экспериментальную установку, позволяющую создавать в бутылке, полностью заполненной водой, дополнительное давление p в диапазоне $[-5; 5]$ кПа относительно атмосферного давления.

Строго говоря, на разных расстояниях от дна в бутылке устанавливается разное давление. Будем считать, что p – давление, устанавливающееся непосредственно под пробкой.

2. Измерьте зависимость относительного изменения объёма бутылки $\frac{\Delta V}{V_0}$ (V_0 – начальный объём при $p = 0$) от изменения давления p внутри неё в вышеуказанном диапазоне давлений.
3. Постройте график зависимости $\frac{\Delta V}{V_0}$ от p .
4. Если зависимость можно описать линейной функцией, найдите ее угловой коэффициент α :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta p}. \quad (1)$$

Оборудование. Бутылка, проколота иглой пробка, трубка от инфузионной системы, вода в литровом стакане, поднос, салфетки для поддержания рабочего места в чистоте, штатив с лапкой, рулетка, шприц 20 мл.

Примечание.

Плотность воды: $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Ускорение свободного падения: $g = 9.8 \text{ м/с}^2$.

Решение

Измерим площадь поперечного сечения трубки. Для этого с помощью шприца закачаем в трубку некоторый объём воды $v = 8.0 \pm 0.5$ мл. С помощью рулетки определим длину столба воды $l = 104.5 \pm 0.5$ см. Площадь сечения трубки:

$$S = \frac{v}{l} = 7.7 \pm 0.5 \text{ мм}^2. \quad (2)$$

С помощью шприца напомним бутылку водой таким образом, чтобы при закрывании бутылки пробкой под ней оставалось как можно меньше воздуха. Измерим объем залитой в бутылку воды $V_0 = 293 \pm 7$ мл. Наберем в трубку воду и оставим ближе к одному из концов пузырек воздуха (Рис. 1). Подсоединим трубку к бутылке.

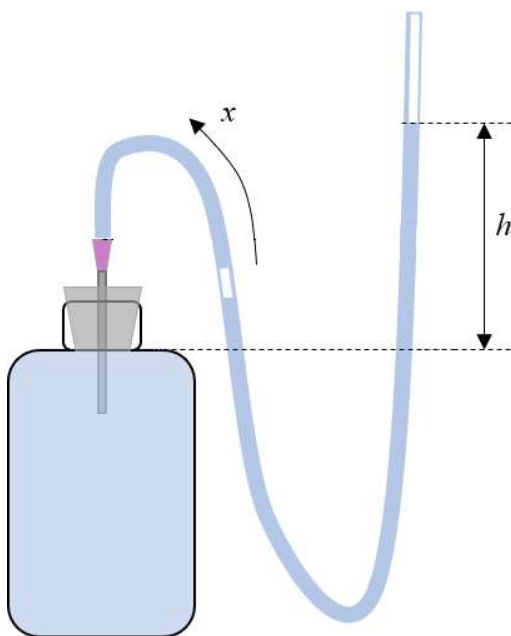


Рис. 1: Экспериментальная установка.

Если поднимать свободный конец трубки, то можно заметить, что пузырёк в трубке перемещается. Перемещение пузырька объясняется изменением объема бутылки под воздействием давления p столба жидкости в трубке. Надо отметить, что если пузырек воздуха в трубке не оставлять, а следить только за границей воды и атмосферы в трубке, то учесть расширение пластиковой трубки, которое может оказаться существенным, не представляется возможным. Будем измерять зависимость координаты пузырька в трубке x от высоты h , определяемой как расстояние по вертикали от уровня воды в свободном конце трубки до уровня воды в бутылке (под пробкой). Тогда изменение объема бутылки можно рассчитать как:

$$\Delta V = xS. \quad (3)$$

Давление в бутылке:



$$p = \rho gh, \quad (4)$$

где ρ - плотность воды, g - ускорение свободного падения.

С помощью ручки отметим положение пузырька в трубке при $h = 0$. Координату x будем отмерять от этого положения. Для того, чтобы создать положительное дополнительное давление поставим бутылку на пол, свободный конец трубки закрепим в лапке штатива. Расстояние h будем измерять с помощью рулетки (погрешность $\sigma_h = 2$ мм). Для создания отрицательного дополнительного давления бутылку установим на столе, свободный конец трубки опустим ниже стола. Расстояние x будем измерять рулеткой (погрешность $\sigma_x = 1$ мм).

При проведении эксперимента следует учитывать возможность пробки менять вытесняемый из бутылки объём воды при больших по модулю давлениях (при большом положительном давлении её может выдавливать, при большом отрицательном – она может более плотно втягиваться). Поэтому постараемся сделать так, чтобы пробка сидела в горлышке как можно более плотно. Кроме того, будем периодически проверять, что при $h = 0$ пузырёк оказывается в том же месте, которое было промаркировано изначально. Если это не так – проверим, насколько плотно сидит пробка. После чего исправим маркировку нулевой координаты x .

Результаты измерений и вычислений приведены в Таблице 1.

Построим график зависимости $\frac{\Delta V}{V_0}$ от p (Рис. 2). Видно, что график хорошо аппроксимируется прямой.

Угловой коэффициент:

$$\alpha = (3.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-7} \text{ Па}^{-1}$$

.

Таблица 1: Результаты измерений и вычислений.

h , см	p , кПа	x , см	$\Delta V/V_0 \cdot 10^{-3}$
0.0	0.00	0.0	0.00
11.5	1.13	1.2	0.31
17.3	1.70	1.8	0.47
26.3	2.58	2.7	0.70
38.5	3.78	4.4	1.14
43.4	4.26	5.0	1.30
56.5	5.54	6.8	1.76
-58.0	-5.69	-7.5	-1.95
-43.5	-4.27	-5.2	-1.35
-39.3	-3.86	-4.6	-1.19
-25.0	-2.45	-2.8	-0.73
-15.0	-1.47	-1.3	-0.34
-11.0	-1.08	-1.1	-0.29

Рис. 2: График зависимости $\Delta V/V_0$ от p .