В задаче требуется оценка погрешностей.

Теоретическое введение

Объемный поток жидкости Q, протекающей через трубу – объем жидкости протекающей через поперечное сечение трубы в единицу времени. Простейшая модель вытекания жидкости из шприца через тонкую иглу подразумевает пропорциональность потока Q жидкости, протекающего через иглу, высоте h водяного столба жидкости отсчитываемого от нижнего конца иглы:

$$Q = \alpha h, \tag{1}$$

α – постоянная величина.

Задание

1. Закрепите в штативе шприц. Под шприц поставьте стакан. Измерьте зависимость объемного потока Q жидкости, вытекающей из иглы, от высоты h. Постройте график исследуемой зависимости таким образом, чтобы в область построения графика попала точка (0; 0). Определите угловой коэффициент зависимости α.

2. Исследованная зависимость может быть описана предложенной в начале условия моделью лишь с некоторой поправкой на введение эффективной длины водяного столба $h_{\text{эффект}} = h + \Delta h$. То есть, объемный поток жидкости пропорционален некоторой эффективной длине столба жидкости, отличающейся от реального значения на величину Δh:

$$Q = \alpha h_{\text{эффект}}, \tag{2}$$

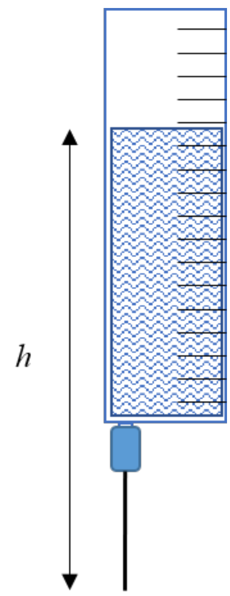

Рис. 1. Шприц с иглой

Используя результаты измерений, проведённых в предыдущем опыте, определите величину Δh (численное значение и знак).

3. Потребность введения эффективной длины столба в частности связана с тем, что жидкость во время вытекания из иглы образует капли на конце иглы. Для того, чтобы этот эффект перестал иметь значение, погрузите нижний конец иглы в воду на малую глубину ≈ 1 мм. Повторите эксперимент по измерению объемного потока воды от высоты столба жидкости. Постройте график исследованной зависимости объемного потока Q от длины столба жидкости h. Можно ли утверждать, что погружение конца иглы в воду не повлияло на коэффициент пропорциональности α? Можно ли считать, что введение поправки эффективной длины столба жидкости в такой конфигурации установки не требуется? Ответы подтвердите численными значениями, описывающими полученный график.

Оборудование. Шприц 50 мл (исследуемый), шприц 20 мл вспомогательный для перелива воды, синяя сточенная игла 0.6x30 мм, линейка 30 см, секундомер, весы, стакан 0.25 л, штатив с лапкой, салфетка (для поддержания рабочего места в чистоте).

Примечание. В игле или рядом местом ее соединения с основным объемом шприца могут образовываться пузырьки воздуха, влияющие на величину потока. При обнаружении таких пузырьков вставьте поршень в шприц и создайте сильную струю в игле путем надавливания на поршень. Чтобы при вытаскивании поршня из шприца в иглу снова не попали пузыри воздуха, опустите иглу в воду.

Решение

Соберем установку, описанную в условии. Под стакан, в который будут падать капли, поместим весы. Это обеспечит более точное определение массы воды, вытекшей из шприца, по сравнению с измерениями при использовании шкалы шприца (погрешность измерения массы с помощью весов ≈ 0.03 г, погрешность измерения объёма по шкале шприца ≈ 0.5 мл). Будем наполнять шприц до отметок в $V = 60,\ 50,\ 40, ...$ мл и измерять время t, за которое показания весов увеличатся на $m = 1.00$ г. Расход воды можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{m}{\rho t}, \tag{3}$$

где $\rho = 1.0$ г/см^3 – плотность воды. Высота от конца иголки до нулевого деления на шприце составит $h_0 = 5.20 \pm 0.05$ см. Полная высота шкалы шприца составляет $l = 9.10 \pm 0.05$ см. Тогда высоту столба жидкости в каждом эксперименте легко рассчитать как:

$$h = h_0 + \frac{V - 0.5\text{ мл}}{60\text{ мл}} \cdot l. \tag{4}$$

Необходимость смещения значения объема на 0.5 мл связана с тем, что дно шприца имеет форму конуса, на котором умещается 0.5 мл воды ниже нулевой отметки шкалы (определяется экспериментально). Для каждой величины V измерим время t три раза, в вычислениях используем среднее арифметическое. Занесем данные в таблицу и построим график зависимости $Q(h)$.

Проведем аналогичный эксперимент для варианта установки, в котором игла погружена в воду. Для каждой величины V измерим время t' три раза, в вычислениях используем среднее арифметическое. Данные также внесем в таблицу, график зависимости объемного расхода Q_1 от времени для удобства нанесем на одни те же оси с предыдущим графиком.

V, мл	h, см	t_1, с	t_2, с	t_3, с	Q, мкл/с	t'_1, с	t'_2, с	t'_3, с	Q_1, мкл/с
60	14.22	47.06	44.62	44.69	22.00	39.75	41.75	41.03	24.48
50	12.71	52.44	50.38	52.32	19.34	44.36	48.38	48.69	21.21
40	11.19	59.75	58.68	61.44	16.68	56.35	53.68	54.98	18.18
30	9.67	72.34	71.54	72.12	13.89	63.44	61.36	65.42	15.77
20	8.16	92.59	98.56	90.98	10.63	77.22	79.32	75.04	12.95
10	6.64	124.56	121.44	122.75	8.14	97.65	99.98	98.25	10.14

По графику можно утверждать, что полученные зависимости описываются линейными функциями с одинаковыми угловыми коэффициентами α, но с разными смещениями:

$$\alpha = 1.86 \pm 0.12\text{ мкл/(с} \cdot \text{см)}.$$

Так, график зависимости измеренной без погружения конца иглы в воду пересекает горизонтальную ось в значении $h_0 = 2.3 \pm 0.4$ см. Тем самым эффективная длина водяного столба меньше реального значения. То есть $\Delta h = -h_0 = -2.3 \pm 0.4$ см.

График зависимости, измеренный при погружении иглы в воду, пересекает горизонтальную ось в меньшем значении: $h_1 = 1.2 \pm 0.4$ см, однако, все же отличном от нуля. То есть и для второго эксперимента необходимо вводить понятие эффективной длины водяного столба, чтобы применять описанную в теоретической справке модель к данной задаче.

График зависимости Q от h