

9.1. Исследуем шприц (2). Определите плотность неизвестной жидкости и среднюю плотность материала, из которого изготовлен шприц.

Приборы и оборудование: шприц (5 или 10 мл), нить (~ 1 м), деревянная линейка (50 см), большой стакан, заполненный водой, стаканчик с неизвестной жидкостью, канцелярский зажим, пластиковый стержень, заглушка для шприца (деревянная зубочистка (её можно ломать)), салфетки для поддержания порядка, поднос или одноразовая скатерть.

Примечание: Во избежание выливания жидкости, рекомендуется пользоваться заглушкой, вставляемой в шприц.

Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Внимание! Портить шприцы запрещается!

Возможное решение (Замятнин М.). Для начала найдем координату центра тяжести линейки. Для этого уравновесим ее на стержне, прикрепленном к краю стола канцелярским зажимом. Координата центра тяжести линейки составит $x_l = (252,0 \pm 0,5) \text{ мм}$. Найдем массу m пустого шприца. Для этого уравновесим его на линейке, которую будем использовать одновременно в качестве рычага и противовеса (см Рис. 1)

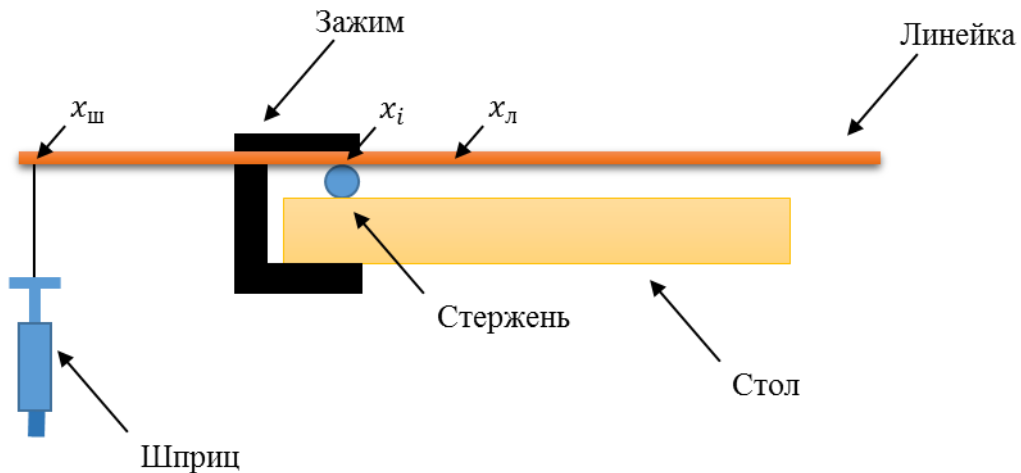


Рис. 1 Схема установки

Точка опоры линейки на стержень при равновесии имеет координату x_l , точка подвеса шприца - $x_{ш}$. Затем заполняем шприц водой (объем воды $V = 6,0 \text{ мл}$), уравниваем его на линейке (не изменяя координату шприца на линейке). Координата точки опоры при новом равновесии системы x_2 . Запишем условия равновесия системы в первом и втором случаях:

$$m(x_{ш} - x_l) = m_l(x_l - x_i) \quad (1)$$

$$(\rho_e V + m)(x_{ш} - x_2) = m_l(x_2 - x_l) \quad (2)$$

где m_l - масса линейки, ρ_e - плотность воды.

Тогда для массы шприца имеем:

$$m = \frac{\rho_e V(x_l - x_l)(x_{ш} - x_2)}{(x_2 - x_l)(x_{ш} - x_l)} \quad (3)$$

Заполнив шприц неизвестной жидкостью до объема V , не изменяя его положение на линейке, вновь добиваемся равновесия (измеряем координату точки равновесия x_3).

Условие равновесия системы запишется как:

$$(\rho V + m)(x_{ш} - x_3) = m_l(x_3 - x_l) \quad (4)$$

Получаем, что плотность раствора связана с плотностью воды как:

$$\rho = \rho_e \frac{(x_{ш} - x_2)(x_3 - x_l)}{(x_2 - x_l)(x_{ш} - x_3)} \quad (5)$$

Для оценки погрешности результата проведем измерения для серии координат шприца на линейке.

$x_{ш}, \text{ мм}$	500,0	460,0	420,0
---------------------	-------	-------	-------

$x_1, мм$	291,0	286,0	279,0
$x_2, мм$	330,0	317,5	304,5
$x_3, мм$	334,5	321,0	308,0
$m, г$	4,11	4,44	4,37
$\rho, г/см^3$	1,146	1,139	1,173

Усредним значение плотности и рассчитаем сумму среднего отклонения от среднего и оценкой погрешности, являющийся следствием приборной, для определения погрешности результата:

$$\rho = (1,15 \pm 0,09) \text{ г/см}^3 \quad (6)$$

$$\varepsilon = 7,7\%$$

Также усредним значение массы шприца:

$$m = 4,3 \pm 0,5 \text{ г} \quad (7)$$

$$\varepsilon = 12\%$$

Определение плотности материала шприца осложняется тем, что шприц плавает в воде и вытесненный объем воды точно измерить нечем. Но можно добиться безразличного равновесия при плавании шприца в воде в полностью погруженном состоянии, отливая из него часть неизвестной жидкости обратно в стаканчик. Добиться такого положения удастся при объеме неизвестной жидкости в шприце $V_1 = 3,0 \pm 0,2 \text{ мл}$. Таким образом, для определения средней плотности материала шприца запишем:

$$\rho_6 = \frac{\rho V_1 + m}{V_1 + (m / \rho_u)} \quad (8)$$

$$\rho_6 = (\rho V + m) / (V + \frac{m}{\rho_u}) \quad (8)$$

Откуда найдем плотность материала шприца:

$$\rho_u = \frac{\rho_6}{1 + \frac{(\rho - \rho_6)V_1}{m}} = 0,90 \pm 0,07 \text{ г/см}^3. \quad (9)$$

$$\varepsilon = 8\%$$

Погрешность оценим методом границ. Вторым способом измерения плотности шприца может быть гидростатическое взвешивание, однако этот метод является менее точным при использовании предложенного оборудования. Высота стакана ограничивает количество раствора, которое можно набрать в шприц, таким образом, чтобы шприц был полностью погружен в воду и не касался дна, отметкой 4-4,5мл. Вследствие этого вес шприца в воде с таким количеством глицерина слишком мал по сравнению с силой тяжести линейки, что приведет к очень неточному его измерению.

Критерии оценивания

- | | |
|---|----------------|
| 1) Определена масса шприца | 2 балла |
| 2) Метод определения плотности неизвестной жидкости | 2 балла |
| а. Описание и установка (1 б) | |
| б. Теоретические выкладки (1 б) | |
| 3) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| а. Оформлены результаты измерений (1 б) | |
| б. Сделана серия хотя бы из 3-х измерений (1 б) | |
| 4) Найдена плотность неизвестной жидкости | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |
| 5) Метод определения плотности шприца | 3 балла |
| а. Описание установки и метода (1,5 б) | |
| б. Теоретические выкладки (1,5 б) | |
| 6) Результаты измерений и воспроизводимость (например, таблица) | 2 балла |
| а. Попытка оценки погрешности либо указание на повторяемость результата (1 б) | |
| б. Приведены результаты измерений (1 б) | |
| 7) Найдена средняя плотность материала шприца | 2 балла |
| отличие менее чем на 10% | 2 балла |
| отличие менее чем на 15% | 1 балл |

Задание 9.2. Что внутри? Внутри «серого» ящика находится идеальный источник с подключенным последовательно к нему резистором (рис. 1). Определите $I_{кз}$ – ток короткого замыкания серого ящика.

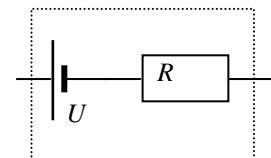


Рис. 1

Примечание. Коротким замыканием будем называть соединение между собой выводов серого ящика.

Приборы и оборудование: два одинаковых мультиметра, «серый» ящик с двумя выходами.

Примечание. Погрешность мультиметра считать равной 1% от значения измеряемой величины + 1 единица последнего разряда.

Внимание! Использовать мультиметр в режиме амперметра строго запрещено! Такие решения засчитываться не будут.

Возможное решение (Шеронов А.). Для определения тока короткого замыкания необходимо определить напряжение U источника и сопротивление R резистора, находящихся внутри «серого» ящика.

К выводам ящика подключаем вольтметр и снимаем его показание $U_1 = (3,94 \pm 0,05)$ В. Для получения дополнительной информации необходимо провести еще измерения, например, подключив два вольтметра, соединенных последовательно. В этом случае они показывают по $U_2 = (2,82 \pm 0,04)$ В. Сумма показаний вольтметров не совпадает с U_1 . Это наводит на мысль, что сопротивление внутри ящика сравнимо по величине с сопротивлением вольтметра.

Сопротивление вольтметра в режиме 20 В измеряется непосредственно вторым мультиметром, включенным в режим мегаомметра. Оно составляет $R_V = (1,00 \pm 0,02)$ МОм.

Теоретические зависимости напряжений на одном и двух включенных последовательно вольтметрах имеют вид: $U_1 = \frac{UR_V}{R + R_V}$, и $U_2 = \frac{UR_V}{R + 2R_V}$. Решая систему

относительно U и R , получим: $U = \frac{U_1 U_2}{U_1 - U_2} = (9,9 \pm 0,8)$ В и $R = R_V \frac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2} = (1,5 \pm 0,2)$

МОм. К аналогичным значениям могут привести измерения, сделанные двумя вольтметрами, соединенными параллельно, в этом случае их показания составляют по $U_3 = (2,46 \pm 0,04)$ В.

Ток короткого замыкания равен $I_{кз} = \frac{U}{R} = (6,5 \pm 1,4)$ мкА.

Следует обратить внимание, что при измерении больших сопротивлений необходимо избегать соприкосновения пальцев рук с электрическими контактами приборов, так как сопротивление тела человека меньше или сравнимо с 1 МОм и может внести существенное искажение в измеряемую величину.

Критерии оценивания

- | | |
|--|----------------|
| 1) Измерение напряжения U_1 одним вольтметром | 1 балл |
| 2) Измерение напряжения U_2 или U_3 двумя вольтметрами | 2 балл |
| 3) Измерение омметром сопротивления вольтметра в режиме 20 В
(также за пункты 2 и 3 ставится 4 балла в том случае,
если измерено U_2 и U_3 , а сопротивление вольтметра не измерено) | 2 балл |
| 4) Получена теоретическая зависимость для R | 2 балла |
| 5) Получена теоретическая зависимость для U | 2 балла |
| 6) Вычислено напряжение [9,2;10,1] В | 2 балла |
| [8,5;10,5] В | 1 балл |
| 7) Вычислено сопротивление R [1,42;1,58] МОм | 2 балла |
| [1,35;1,65] МОм | 1 балл |
| 8) Определён ток короткого замыкания (верно вычислено
отношение напряжения к сопротивлению) | 1 балл |
| 9) Оценена погрешность измеренных величин | 1 балл |