

Задание 9.1. Плотность провода III

Вам выдан образец одножильного провода длиной $L = 600$ мм. На половине его длины изоляция удалена. Определите массу, объём и плотность (m_m , V_m , ρ_m) металла, а также массу, объём и плотность (m_i , V_i , ρ_i) изоляции провода.



В процессе решения поставленной задачи используйте провод в качестве рычага и исследуйте зависимость какой-либо длины на рычаге в положении равновесия от массы размещённого на нём груза. Постройте график полученной зависимости в координатах, в которых эта зависимость является линейной. Погрешность оценивать не требуется.

Примечание 1. Длина окружности $X = \pi D$, где D – диаметр этой окружности. Площадь круга $S = \pi D^2/4$; $\pi = 3,14$.

Примечание 2. Изгибать провод запрещено!

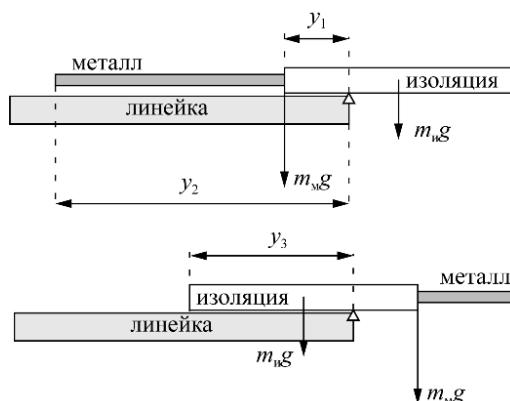
Примечание 3. Снимать изоляцию с проволоки категорически запрещено.

Оборудование: образец провода длиной $L = 600$ мм, линейка 40 см, 2 шприца объёмом 5 мл, и 1 мл; стакан с водой, гибкая трубка, нитка, салфетка, миллиметровая бумага для построения графика.

Решение.

1. Определим отношение $\alpha = m_{\text{м}}/m_{\text{и}}$. Для повышения точности сделаем это трижды. Расположим центр тяжести системы провод - изоляция на краю линейки при двух положениях провода и измерим три различных расстояния y_1, y_2, y_3 (рис.1).

Ниже записано правило моментов для каждого измерения, приведены экспериментальные значения y_1, y_2 , и y_3 , вычислены значения $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и среднее значение $\alpha = 6,93$.



$$m_{\text{м}} y_1 = m_{\text{и}} \left(\frac{L}{4} - y_1 \right); \quad \alpha_1 = \frac{m_{\text{м}}}{m_{\text{и}}} = \frac{L}{4y_1} - 1; \quad y_1 = 18 \text{ мм}; \quad \alpha_1 = 6,78$$

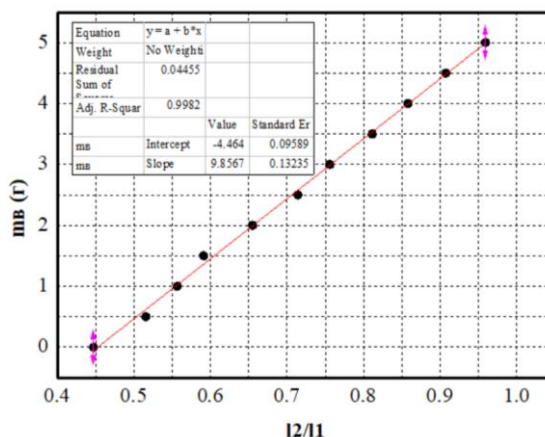
$$m_{\text{м}} \left(y_2 - \frac{L}{2} \right) = m_{\text{и}} \left(\frac{3L}{4} - y_2 \right); \quad \alpha_2 = \frac{m_{\text{м}}}{m_{\text{и}}} = \frac{\frac{3}{4}L - y_2}{y_2 - \frac{L}{2}}; \quad y_2 = 297 \text{ мм}; \quad \alpha_2 = 7,23$$

$$m_{\text{м}} \left(\frac{L}{2} - y_3 \right) = m_{\text{и}} \left(y_3 - \frac{L}{4} \right); \quad \alpha_3 = \frac{m_{\text{м}}}{m_{\text{и}}} = \frac{\left(y_3 - \frac{L}{4} \right)}{\left(\frac{L}{2} - y_3 \right)}; \quad y_3 = 262 \text{ мм}; \quad \alpha_3 = 6,77$$

$$\alpha_{\text{ср}} = 6,93 \quad (1)$$

2. Повесим шприц на край провода (рис.2). Массу пустого шприца обозначим $m_{\text{ш}}$. Уравновесим провод на крае стола. Измерим зависимость расстояния l_1 от массы воды в шприце. Величину l_2 рассчитаем косвенно на основе данных об l_1 и положения центра масс провода.

$m_{\text{в}}, \text{ г}$	$l_1, \text{ см}$	$l_2, \text{ см}$	l_2/l_1
0.0	19.9	8.9	0.447
0.5	19	9.8	0.516
1.0	18.5	10.3	0.557
1.5	18.1	10.7	0.591
2.0	17.4	11.4	0.655
2.5	16.8	12	0.714
3.0	16.4	12.4	0.756
3.5	15.9	12.9	0.811
4.0	15.5	13.3	0.858
4.5	15.1	13.7	0.907
5	14.7	14.1	0.959



Уравнение моментов для системы провод-шприц.

$$m_{\text{ш}} l_2 = (m_0 + m_{\text{в}}) l_1$$

Или после преобразования

$$m_{\text{ш}} \frac{l_2}{l_1} = m_0 + m_{\text{в}}$$

Как видно, зависимость $m_{\text{в}}(l_2/l_1)$ линейная. Построим график этой зависимости. По угловому коэффициенту графика определим массу провода $m_{\text{п}} = 9,86 \text{ г}$.

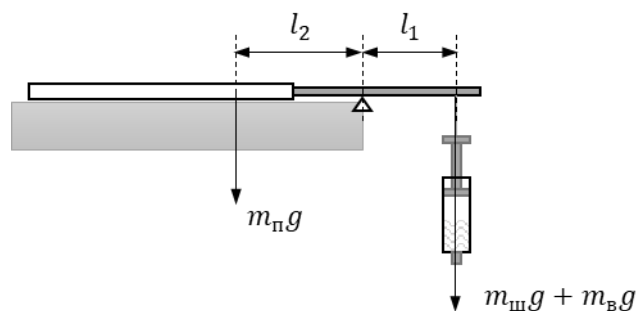


Рис. 2

Рассчитаем с помощью отношения массы изоляции к массе всего провода массу изоляции и массу провода.

$$m_{\text{м}} = m_{\text{п}} \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + 1} = 8.61 \text{ г}$$

$$m_{\text{и}} = m_{\text{п}} \frac{1}{\alpha_1 + 1} = 1.24 \text{ г}$$

3. Одним из возможных способов измерения диаметра металлической части провода и внешнего диаметра изоляции является прокатывание по линейке. Однако, учитывая длину провода и наличие только одной линейки, реализовать прокатывание с достаточным количеством оборотов (не менее 10) без проскальзывания весьма затруднительно. Тем не менее, использование этого способа при тщательном проведении эксперимента может дать приемлемые результаты, и его тоже следует засчитывать при оценивании работы.

Предлагается измерять объём провода без изоляции и в изоляции путём измерения (при помощи шприца) объёма воды, которая заполняет гибкую трубку с проводом и без провода.

Поместим в трубку $v_1 = 1.00$ мл воды с помощью шприца. Вода займет длину равную $x_1 = 8.7$ см, при помещении провода концом с изоляцией длина становится равной $x_2 = 15$ см. Поместим в трубку $v_2 = 2.5$ мл воды, вода займет в трубке $x_3 = 22.4$ см, при помещении в трубку провода с зачищенным концом длина столбика воды становится равной $x_4 = 26.2$ см. Таким образом, сечение провода:

$$S_{\text{п}} = v_2(1/x_1 - 1/x_2) = 0,0162 \text{ см}^2$$

$$S_{\text{и}} = v_1(1/x_1 - 1/x_2) - S_{\text{п}} = 0,0321 \text{ см}^2$$

Вычисляем плотности:

$$\rho_{\text{м}} = \frac{m_{\text{м}}}{V_{\text{м}}} = \frac{8,61}{56 \cdot 0,0162} = 9,5 \text{ г/см}^3,$$

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m_{\text{и}}}{V_{\text{и}}} = \frac{1,24}{28 \cdot 0,0321} = 1,38 \text{ г/см}^3.$$