

9 класс

Задача №9-Е2. Плотность изолянта

Отрежем от листа бумаги белые края, оставив только миллиметровую сетку. Размеры получившегося листа бумаги $a = (20,0 \pm 0,1)$ см, $b = (28,0 \pm 0,1)$ см. Скрутим миллиметровку в максимально плотную трубочку (разлиновкой наружу) вдоль длинной стороны b . Закрепим края очень узкими полосками изолянта, отрезанными от основного рулона. Эту трубочку будем использовать как линейку и как рычаг. Масса трубочки

$$M = ab\sigma = 4,48 \pm 0,04 \text{ г.}$$

Измерим трубочкой ширину изолянта $l = (19 \pm 1)$ мм, внешний диаметр рулона $D = (72 \pm 1)$ мм, внутренний диаметр рулона (без учета картонной втулки) $d = (44 \pm 1)$ мм. Объем рулона изолянта можно выразить через его длину L , толщину h , ширину l :

$$V = Lhl, \quad (1)$$

а также через внешний D и внутренний d диаметры и толщину l рулона:

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot l. \quad (2)$$

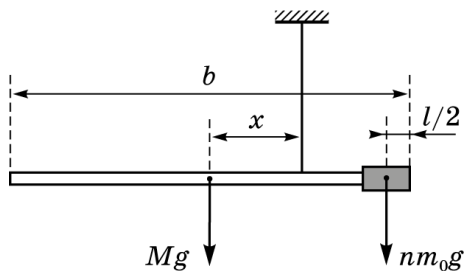
Из (1) и (2)

$$h = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4L} = (127 \pm 9) \text{ мкм.}$$

$$h = (127 \pm 9) \text{ мкм.}$$

Заводское значение толщины изолянта 0,13 мм.

Для выполнения второго и третьего пунктов задания необходимо измерить массу изолянта. В данной задаче это может быть осуществлено только с помощью известной массы листа миллиметровой бумаги. Используем изготовленную ранее бумажную трубочку в качестве рычага. Подвесим ее на нитке и определим положение центра масс, уравновесив трубочку в горизонтальном положении. Далее будем отрезать от изолянта отрезки длиной $b = 28$ см (равные длине бумажного рычага) и последовательно наматывать их заподлицо на край бумажной трубочки (см. рисунок). Обозначим массу одного отрезка m_0 . Снимем зависимость смещения x центра масс системы «рычаг + лента» от количества n отрезков изолянта длиной 28 см, намотанных на рычаг. Ниже приведена таблица измерений.



n	x , мм	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{x}$, $\frac{1}{\text{м}}$
1	20 ± 1	1,00	$50,0 \pm 2,5$
2	36 ± 1	0,50	$27,8 \pm 0,8$
3	47 ± 1	0,33	$21,3 \pm 0,5$
4	56 ± 1	0,25	$17,9 \pm 0,3$
5	63 ± 1	0,20	$15,9 \pm 0,3$

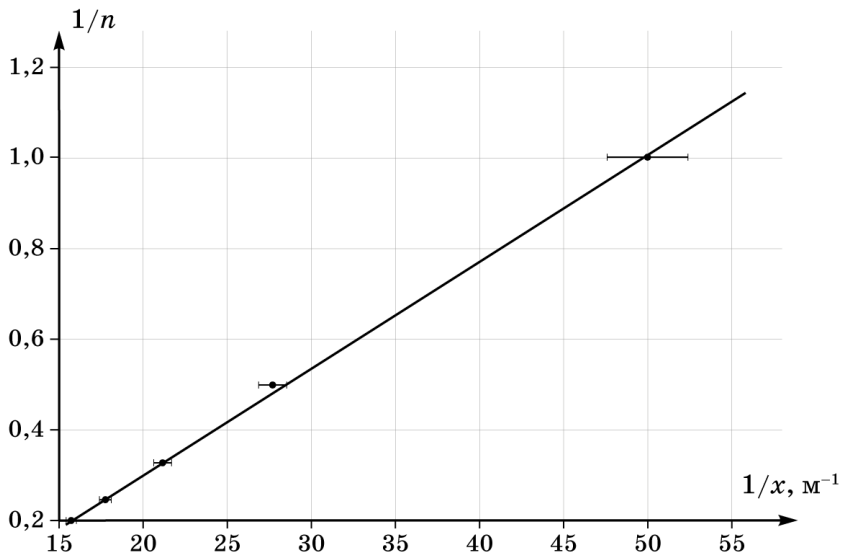
Запишем правило моментов относительно точки подвеса для системы в горизонтальном положении рычага

$$Mgx = nm_0g \left(\frac{b}{2} - \frac{l}{2} - x \right). \quad (3)$$

После преобразований

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{x} \cdot \frac{m_0}{M} \left(\frac{b-l}{2} \right) - \frac{m_0}{M}. \quad (4)$$

Видно, что зависимость $\frac{1}{n}$ от $\frac{1}{x}$ является линейной. Угловым коэффициентом k этой зависимости дает возможность определить m_0 – массу отрезка изоленды длиной 28 см. Построим график $\frac{1}{n}$ от $\frac{1}{x}$.



С помощью графика находим

$$k = \frac{m_0}{M} \left(\frac{b-l}{2} \right) = (24,4 \pm 1,2) \text{ мм}$$

или $m_0 = (0,84 \pm 0,06) \text{ г}$. Линейная плотность изолянта

$$\lambda = \frac{m_0}{b} = (3,0 \pm 0,2) \frac{\text{г}}{\text{м}}.$$

$$\lambda = (3,0 \pm 0,2) \frac{\text{г}}{\text{м}}.$$

Объемная плотность изолянта

$$\rho = \frac{\lambda}{hl} = (1,24 \pm 0,24) \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

$$\rho = (1,24 \pm 0,24) \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Примечание: если в решении участников олимпиады из правила моментов (3) получена зависимость $\frac{1}{n}$ от $\frac{1}{x}$ (выражение (4)), то удобнее и вполне допустимо построение графика именно этой зависимости, т.е. по горизонтали откладывается обратная величина измеряемой величины, а по вертикали – изменяемой. Если же учащийся после преобразований из (3) получил зависимость $\frac{1}{x}$ от $\frac{1}{n}$, то при построении графика удобнее по горизонтали откладывать обратную величину изменяемой величины, т.е. $\frac{1}{n}$. Очевидно, что на результат такая смена осей не влияет.