

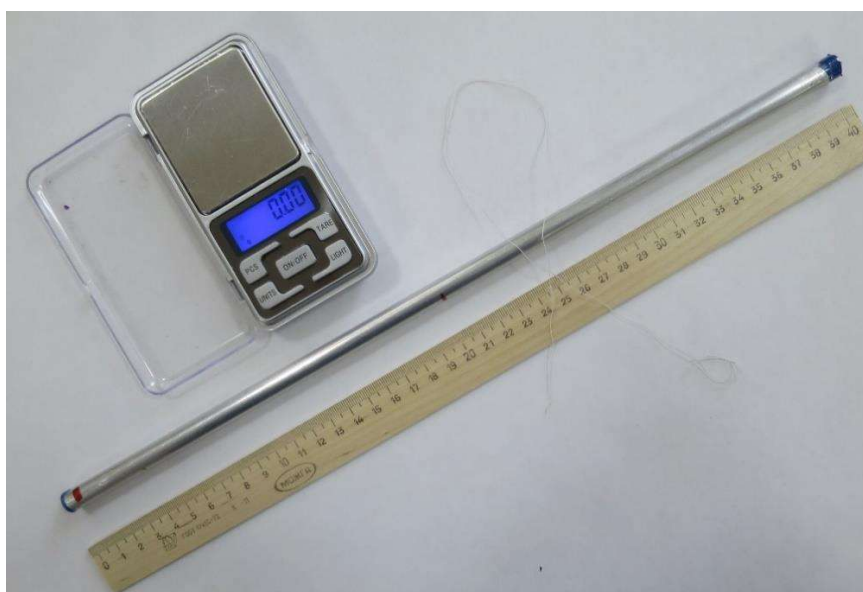
**Задание Э-8.2. Лови момент**

Определите массу  $m$  и длину  $l$  однородного стержня, находящегося внутри трубки. Приведите вывод расчётных формул для определения  $m$  и  $l$ .

**Приборы и оборудование:** Весы электронные; линейка; трубка. Внутри трубки у её торца  $A$ , помеченного красной меткой (на фото метка слева), закреплён однородный пыж (длина и масса пыжа указываются дополнительно). Другой конец  $B$  трубки заделан изоляцией. В трубке также находится стержень длиной  $l$  и массой  $m$ , который может в ней свободно перемещаться.

**Внимание!** 1) Снимать изоляцию с торца трубки запрещено.

2) Спланируйте измерения так, чтобы минимизировать влияние неоднородности (изоляции на торце  $B$ ) на результат вычисления  $m$ .



Олимпиада школьников по физике имени Дж. Кл. Максвелла.  
Региональный этап. Экспериментальный тур. 24 января 2022 г.  
8 класс

**Возможные решения.** У автора задания длина пыжа  $z = 68$  мм, а масса  $\mu = 2,1$  г.

1) Измерим длину трубки:  $L = 400$  мм. Конец трубки  $A$ , которого касается пыж, положим на весы. Другой конец  $B$  положим на край линейки. К этому же концу сместим стержень. С помощью линейки приподнимем трубку так, чтобы она заняла почти горизонтальное положение, касаясь концом  $A$  площадки весов. При этом показание весов  $m_1 = 20,5$  г. Затем сместим стержень так, чтобы он упёрся в пыж. Теперь показание весов  $m_2 = 29,6$  г. Применим для этих случаев правило моментов (сократив обе части уравнений на  $g$ ):

$$(1) \quad m_1 L = M \frac{L}{2} + m \frac{l}{2} + \mu \left( L - \frac{z}{2} \right);$$

$$(2) \quad m_2 L = M \frac{L}{2} + m \left( L - z - \frac{l}{2} \right) + \mu \left( L - \frac{z}{2} \right).$$

$$(3) \quad M = M_0 - m - \mu,$$

где  $M_0 = (M + m + \mu) = 51,6$  г – масса трубки со стержнем и пыжом, определенная простым взвешиванием. Решая уравнения (1) – (3), получим:

$$(4) \quad m = \frac{L(M_0 + \mu - m_1 - m_2)}{z} - \mu = 19,1 \text{ г.}$$

$$(5) \quad l = \frac{2m_1 L - \mu(2L - z) - ML}{m} = \frac{(2m_1 - 2\mu - M)L + \mu z}{m} \approx 141 \text{ мм.}$$

Реальная масса стержня  $m = 18,5$  г.

№	Э-8.2. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Измерена масса $M_0$ трубки с содержимым	1
2	Измерена длина $L$ трубки	1
3	Измерена масса $m_1$ За однократное измерение 1 балл	2
4	Измерена масса $m_2$ За однократное измерение 1 балл	2
5	Уравнение (1)	2
6	Уравнение (2)	2
7	Уравнение (3) или найдена масса трубки	1
8	Из решения системы уравнений (1) – (3), получено уравнение (4)	2
9	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
10	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	
11	Получена формула (5) или аналогичная	3
12	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
13	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	

### Альтернативный метод измерения:

Измерим суммарную массу трубки:

$$M_0 = M + m + \mu$$

Переместим стержень внутри трубки к концу с пыжом. Уравновесим стержень на краю стола. Запишем расстояние между краем трубки с пыжом и точкой равновесия в этом случае:

$$x_1 = \frac{M \frac{L}{2} + \mu \frac{z}{2} + m(z + \frac{l}{2})}{M_0}$$

Переместим стержень к противоположному концу и вновь уравновесим его. Запишем расстояние между краем трубки с пыжом и точкой равновесия в этом случае:

$$x_2 = \frac{M \frac{L}{2} + \mu \frac{z}{2} + m(L - \frac{l}{2})}{M_0}$$

Из записанных уравнений получим массу стержня:

$$m = \frac{M_0(x_1 + x_2 - L)}{z} + \mu(\frac{L}{z} - 1)$$

Далее рассчитаем длину стержня:

$$l = L - z - \frac{M_0}{m}(x_2 - x_1)$$

№	Э-8.2. Критерии оценивания (из 20 баллов)	Баллы
1	Измерена масса $M_0$ трубки с содержимым	1
2	Измерена длина $L$ трубки	1
3	Измерено положение центра масс при положении стержня рядом с пыжом $x_1$ За однократное измерение 1 балл	2
4	Измерено положение центра масс при положении стержня рядом у конца трубки без пыжа $x_2$ За однократное измерение 1 балл	2
5	Уравнение, верно описывающее координату $x_1$	2
6	Уравнение, верно описывающее координату $x_2$	2
7	Записано уравнение связи для массы трубки, массы пыжа и массы стержня.	1
8	Из решения системы, получено выражение для массы стержня	2
9	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
10	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	
11	Получена выражение для длины стержня	3
12	Получен численный ответ с погрешностью не более 10%	2
13	Получен численный ответ с погрешностью не более 25% ставим 1 балл	

Примечание:

Трубки в Москве были двух типов. Те, что суммарно весили 57 г, имели внутри стержень массой 22 г. Вторые суммарно весили около 53 г и имели внутри стержень массой 18 г.

Длина всех стержней были одинаковыми, ее значение составляло 13 см.