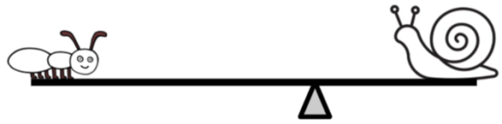
Вступительная работа. Физика. 2026. 8 класс.

1. Муравей и улитка

Муравей и улитка сидят на противоположных концах линейки, уравновешенной на опоре (см. рис). В некоторый момент они начинают двигаться навстречу друг другу с постоянными скоростями (каждый со своей) так, что равновесие не нарушается. Муравей в 3 раза легче улитки, и улитка проползла до момента, когда равновесие все же нарушилось, 16 см. Найдите длину линейки, если:

А) линейку можно считать невесомой;

Б) масса линейки в 2 раза больше массы улитки.



Размеры муравья и улитки считайте малыми по сравнению с линейкой. Также они не мешают друг другу двигаться, если вдруг окажутся в одном месте на линейке.

Ответ: А) 48 см**. Б)** 48 см**.**

Решение: А) Запишем правило рычага для какого-то момента t, пока равновесие не нарушилось:

$$m_м \cdot g \cdot (l_м - v_м \cdot t) = m_у \cdot g \cdot \left(l_у - v_у \cdot t\right)$$

Здесь $l_м$, $l_у$ − начальные расстояния муравья и улитки от точки опоры, а $v_м$, $v_у$ − их соответствующие скорости. При $t = 0$:

$$m_м \cdot g \cdot l_м = m_у \cdot g \cdot l_у$$

Вычитая из первого уравнения второе:

$$m_м \cdot g \cdot v_м \cdot t = m_у \cdot g \cdot v_у \cdot t$$

$$\frac{v_м}{v_у} = \frac{m_у}{m_м} = 3$$

Заметим, что если сразу после начала движения муравья и улитки равновесие не нарушилось, то оно вообще не будет нарушаться до тех пор, пока у обоих есть возможность продолжать движение с постоянной скоростью (отрицательное значение плеч будет соответствовать ситуации, когда муравей и улитка перейдут через точку опоры, равновесие всё равно сохранится). Муравей прекратит равномерное движение, когда дойдёт до противоположного края линейки, пройдя расстояние в 3 раза большее, чем улитка. Откуда

$$L = \frac{v_м}{v_у} \cdot L_у = 3 \cdot 16\text{ см} = 48\text{ см}.$$

Б) Запишем правило рычага с учетом силы тяжести линейки:

$$m_м \cdot g \cdot (l_м - v_м \cdot t) + m_л \cdot g \cdot l_л = m_у \cdot g \cdot \left(l_у - v_у \cdot t\right),$$

где $l_л$ – плечо силы тяжести линейки. При $t = 0$:

$$m_м \cdot l_м + m_л \cdot l_л = m_у \cdot l_у$$

Вычитая из первого уравнения второе:

$$m_м \cdot g \cdot v_м \cdot t = m_у \cdot g \cdot v_у \cdot t$$

$$\frac{v_м}{v_у} = \frac{m_у}{m_м} = 3$$

При этом, условие нарушения равновесия осталось прежним – прекращение движения с постоянной скоростью. Тогда снова муравей дойдёт до края линейки, пройдя расстояние в 3 раза большее, чем улитка

$$L = \frac{v_м}{v_у} \cdot L_у = 48\text{ см}.$$

2. *Доливание воды*

Есть два одинаковых цилиндрических сосуда с площадью дна $S = 20$ см^2 и высотой $H = 34$ см каждый. Сосуды стоят на горизонтальном столе и соединены внизу тонкой трубкой. Первоначально в сосуды налито суммарно $m_р = 544$ г ртути. Затем в левый сосуд начинают медленно, со скоростью $\mu = 272$ г/мин доливать воду.

А) С какой скоростью понижается уровень ртути в левом сосуде?

Б) Постройте график зависимости уровня жидкости в правом сосуде от времени. Ртуть и вода не смешиваются, плотность воды $\rho_в = 1$ г/см^3, ртути $\rho_р = 13{,}6$ г/см^3.

Ответ: А) $0{,}5\ ^{см}/_{мин}$. **Б)** см. решение**.**

Решение: А) Скорость понижения уровня ртути в левом сосуде равна скорости её повышения в правом (т.к. убыль объема ртути в левом сосуде равна приращению её объема в правом: $\Delta V_л = \Delta V_п \Rightarrow \Delta h_л \cdot S = \Delta h_п \cdot S \Rightarrow \frac{\Delta h_л}{t} = \frac{\Delta h_п}{t}$). Равновесное состояние в сообщающихся сосудах определяется равенством давлений на одном уровне. Давление на дно в сосудах:

$$\frac{m_л \cdot g}{S} = \frac{m_п \cdot g}{S}$$
$$m_л = m_п$$

Здесь $m_л, m_п$ – масса содержимого левого и правого сосуда, соответственно. Общая масса жидкости растет со скоростью μ, тогда масса правого сосуда растёт со скоростью $\frac{\mu}{2} = 136\ ^{г}/_{мин}$. Откуда скорость повышения уровня

$$v = \frac{\Delta h}{t} = \frac{\Delta m}{\rho S t} = \frac{\frac{\mu}{2} t}{\rho S t} = 0{,}5\ ^{см}/_{мин}$$

Б) Начальный уровень жидкости в правом сосуде $h_{п0} = \frac{m_р}{2\rho S} = 1$ см. На начальном этапе масса второго сосуда растёт из-за перетекания ртути. Найдём время, за которое вся ртуть перетечёт в правый сосуд:

$$t_1 = \frac{\frac{1}{2} m_р}{\frac{1}{2}\mu} = 2 \text{ мин.}$$

Уровень жидкости при этом: $h_{п1} = \frac{m_р}{\rho S} = 2$ см. Проверим, что вода не перелилась через край в этот момент:

$$h_{л1} = \frac{m_в}{\rho_в S} = \frac{m_р}{\rho_в S} = 27{,}2 \text{ см.}$$

После момента t_1 вода будет переливаться через трубку в правый стакан и всплывать над ртутью. Повышение уровня жидкости в правом сосуде прекратится, когда вода дойдёт до краёв в левом сосуде. Найдём уровень воды в правом сосуде в этот момент из равенства давлений на дно:

$$\rho_в \cdot g \cdot h_{в2} + \rho_р \cdot g \cdot h_{р2} = \rho_в \cdot g \cdot H,$$

где $h_{в2}$ – уровень воды в правом сосуде в момент заполнения левого, $h_{р2}$ – уровень ртути в правом сосуде в этот же момент. Тогда

$$h_{в2} = \frac{\rho_в \cdot H - \rho_р \cdot h_{р2}}{\rho_в} = 6{,}8 \text{ см.}$$

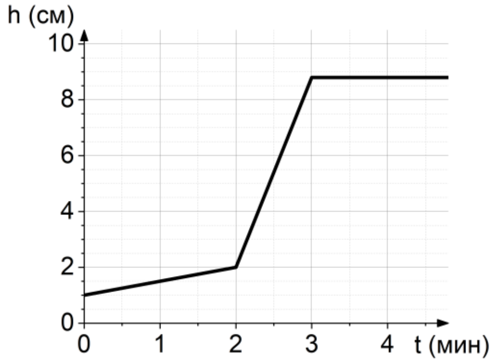
Общая высота жидкости в правом сосуде в этот момент

$$h_{п2} = h_{р2} + h_{в2} = 8{,}8 \text{ см.}$$

Найдём, за какое время вода достигнет уровня $h_{в2}$ в правом сосуде:

$$t_2 = \frac{h_{в2} \cdot S \cdot \rho_в}{\frac{1}{2}\mu} = 1 \text{ мин}$$

Так как массы содержимого сосудов растут равномерно, то и уровень жидкости в правом сосуде тоже растёт равномерно между описанными выше событиями. Итоговый график:



3. *Охлаждение подков*

Кузнец охлаждает подкову после ковки в ведре с маслом, а затем кладет её в ведро для подков. Затем поступает также со второй и т.д. Он заметил, что после охлаждения двух подков температура масла выросла с $T_0 = 20\ °\mathrm{C}$ до $T_2 = 42\ °\mathrm{C}$.

А) Определите начальную температуру подков.

Б) Кузнец всего изготовил 8 подков, складывая их в одно, изначально пустое, ведро. Считая, что после остывания в масле подковы обменивались теплом только друг с другом, определите конечную температуру 8 подков.

Примечание: если нужно, удельная теплоёмкость подковы $c_{\text{п}} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot °\mathrm{C}$, удельная теплоёмкость масла $c_{\text{м}} = 1800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot °\mathrm{C}$, масса одной подковы $m = 0{,}5$ кг, масса масла в ведре $M = 2{,}5$ кг. Теплоемкостью пустого ведра пренебрегите.

Ответ: А) $135{,}8\ °\mathrm{C}$ **Б)** $61{,}6\ °\mathrm{C}$.

Решение: А) Составим уравнение теплового баланса для остывания первой подковы и отдельно для остывания второй подковы:

$$c_{\text{п}} m (T_{\text{п}} - T_1) = c_{\text{м}} M (T_1 - T_0)$$
$$c_{\text{п}} m (T_{\text{п}} - T_2) = c_{\text{м}} M (T_2 - T_1)$$

Здесь $T_{\text{п}}$ – искомая температура подков, T_1 – температура масла после остывания первой подковы. Решая систему из двух уравнений получаем:

$$T_1 \approx 31{,}6°\mathrm{C}$$
$$T_{\text{п}} \approx 135{,}8°\mathrm{C}$$

Б) Найдём температуру масла после N-ой подковы:

$$c_{\text{п}} m (T_{\text{п}} - T_N) = c_{\text{м}} M (T_N - T_{N-1})$$
$$T_N = \frac{c_{\text{п}} m T_{\text{п}} + c_{\text{м}} M T_{N-1}}{c_{\text{п}} m + c_{\text{м}} M}.$$

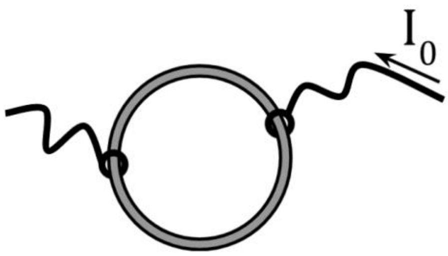
Откуда

$$T_8 \approx 86°\mathrm{C}$$

Всё тепло, которое в итоге отдали 8 подков, получило масло. Тогда можно написать уравнение теплового баланса для масла и восьми подков:

$$8 c_{\text{п}} m (T_{\text{п}} - T_{\text{к}}) = c_{\text{м}} M (T_8 - T_0)$$
$$T_{\text{к}} = T_{\text{п}} - \frac{c_{\text{м}} M}{8 c_{\text{п}} m} (T_8 - T_0) \approx 61{,}6°\mathrm{C}$$

4. *Одно кольцо, чтоб всех согреть*



К двум противоположным точкам на проволочном кольце подключили клеммы и пустили через них ток I_0. Оказалось, что через большое время кольцо нагрелось до температуры $T_1 = 29$ °C, температура воздуха в комнате $T_к = 20$ °C.
А) До какой температуры нагреется проволока кольца, если кольцо разомкнуть, выпрямить в линию и пустить по нему такой же ток I_0?
Б) До каких температур нагреются части кольца, если клеммы подключить к точкам, делящим кольцо в отношении длин $1 : 2$ и пустить такой же ток I_0?
Примечание: мощность теплообмена проволоки и воздуха пропорциональна площади их контакта и разности температур между ними. Теплообменом между частями кольца пренебрегите.

Ответ: А) 56 °C. **Б)** более длинная часть нагреется до $T_4 = 24$ °C, более короткая – до $T_3 = 36$ °C.

Решение: А) По каждой половине кольца протекает ток $0{,}5I_0$, тогда общая мощность, выделяющаяся на всём кольце:
$P_1 = 2\left(\frac{I_0}{2}\right)^2 \frac{R}{2} = 0{,}25{I_0}^2R$, где R – сопротивление распрямленного кольца
Мощность, выделяющаяся на выпрямленной линии:

$$P_2 = {I_0}^2R.$$

При $T = const$ мощность теплопотерь равна мощности нагрева

$$P_1 = \alpha S_{пов}(T_1 - T_к)$$

$$\frac{T_1 - T_к}{T_2 - T_к} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{4}$$

$$T_2 = T_к + 4(T_1 - T_к) = 56°\text{C}.$$

Б) Сопротивления участков кольца относятся так же, как длины этих участков, откуда

$$R_3 = \frac{R}{3}, R_4 = \frac{2R}{3}.$$

При параллельном соединении ток распределяется в отношении, обратном сопротивлениям:

$$I_3 = \frac{2I_0}{3}, I_4 = \frac{I_0}{3}$$

$$P_3 = I_3^2R_3 = \frac{4}{27}{I_0}^2R, P_4 = \frac{2}{27}{I_0}^2R.$$

Запишем равенство мощности нагревания и остывания, выразив площадь поверхности через толщину проволоки и её длину:

$$P_2 = \alpha\pi DL(T_2 - T_к)$$

$$P_3 = \alpha\pi DL_3(T_3 - T_к)$$

$$\frac{T_3 - T_к}{T_2 - T_к} = \frac{P_3}{P_2}\cdot\frac{L}{L_3} = \frac{4}{9}$$

$$T_3 = 36°\text{C}.$$

Аналогично

$$\frac{T_4 - T_к}{T_2 - T_к} = \frac{P_4}{P_2}\cdot\frac{L}{L_4} = \frac{1}{9}$$

$$T_4 = 24°\text{C}.$$