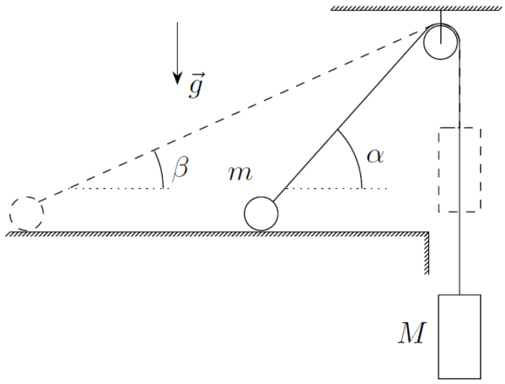
Всероссийская олимпиада школьников по физике

9 класс, заключительный этап, 2022/23 год

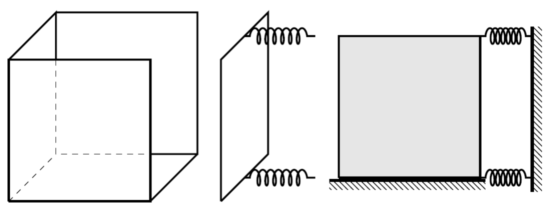
Задача 1. **Отрыв.** На гладкую горизонтальную поверхность положили маленький шарик массой m. К нему прикрепили легкую нерастяжимую нить, переброшенную через легкий блок пренебрежимо малого радиуса, на другом конце которой подвесили груз массой M (см. рис.). Систему отпустили из состояния покоя (изображенного на рисунке пунктирной линией). В некоторый момент времени, когда нить наклонена к горизонту под углом α, шарик отрывается от поверхности, а ускорение груза в этот момент времени равно нулю. Трение в оси блока отсутствует.



1. Найдите отношение m/M.
2. Найдите $\sin\beta$ угла нити к горизонту в начальный момент времени.

1) $\frac{m}{M} = \sin\alpha$; 2) $\sin\beta = \frac{2\sin^4\alpha}{\sin\alpha+\sin^3\alpha+\cos^4\alpha}$

Задача 2. **Аквариум на пружинах.** У кубического тонкостенного аквариума $(a \times a \times a)$ разбилась боковая стенка. Новую стенку $(a \times a)$ решили прижать пружинными фиксаторами. Первую пружину жесткостью $2k$ закрепили у середины верхнего ребра новой стенки, а вторую пружину жесткостью k — у середины нижнего ребра. После этого аквариум придвинули к вертикальной стене (см. рис.).



Все поверхности в местах контакта новой стенки с аквариумом плоские и гладкие. Новая стенка жесткая, полностью перекрывает прилегающие боковые стенки и дно, и параллельна плоскости стены. Сила трения в месте контакта стенки со столом пренебрежимо мала. Длины пружин в недеформированном состоянии одинаковы.

1. Каким должно быть минимальное сжатие пружин, чтобы аквариум можно было наполнить водой плотностью ρ до краёв?

   Во время заполнения аквариум считать неподвижным, а вода не просачивается в местах контакта стенки с аквариумом.

2. Каким станет минимальное сжатие пружин, если их поменять местами?

Ускорение свободного падения g считать известным.

1) $\Delta x_{\min} = \frac{\rho g a^3}{3k}$; 2) $\Delta x_{\min} = \frac{\rho g a^3}{6k}$

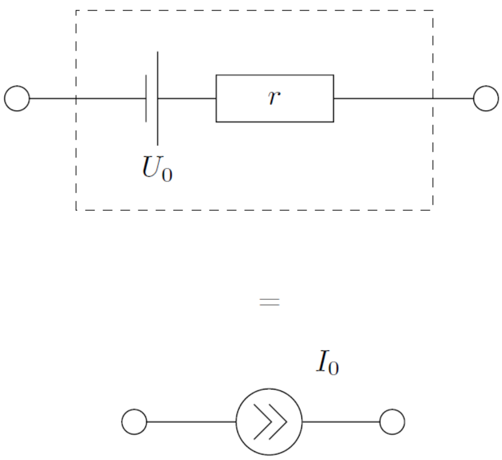
Задача 3. **Холодильник.** В тонкостенном цилиндрическом сосуде внутреннего радиуса R под поршнем находится столб воды высотой h_1 при температуре $t_0 = 0\,^\circ\mathrm{C}$. Поршень и дно цилиндра теплоизолированные. Мощность тепловых потерь через боковые стенки пропорциональна площади контакта и разности температур содержимого сосуда и окружающей среды $N = \alpha\cdot S\Delta t$, где α известная константа. Цилиндр вертикально ставят в холодильник, начальная температура в котором равна $t_1 < 0\,^\circ\mathrm{C}$. Далее температуру в холодильнике изменяют так, что поршень цилиндра перемещается с постоянной скоростью. Лёд, образующийся в цилиндре, не мешает свободному движению поршня. Более того, лёд не всплывает над поверхностью воды, а упирается в поршень, будучи полностью погружённым в воду, время от времени отрываясь от стенок сосуда. Удельная теплота плавления льда λ, плотности воды $\rho_в$, плотность льда $\rho_л$.

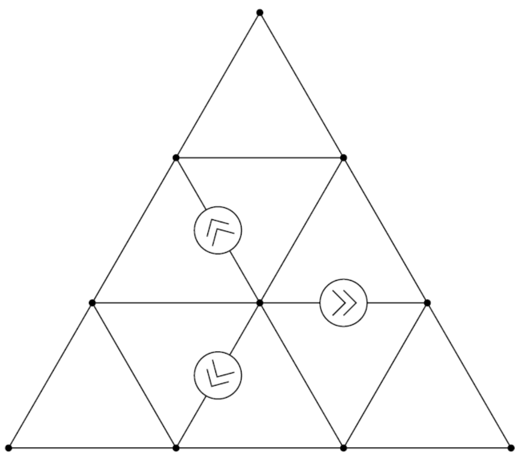
1. Определите в какую сторону и с какой скоростью v перемещается поршень.
2. Найдите в течение какого промежутка времени $\tau_{\max}$ продолжается такое движение.
3. Установите зависимость температуры t в холодильнике от времени τ в промежутке времени $[0, \tau_{\max}]$. Выразите её через h_1, t_0, t_1, v, τ.
4. Найдите температуру в момент времени $\tau_{\max}$. Выразите через t_0, t_1, $\rho_в$, $\rho_л$.

1) вверх, $v = \frac{2\alpha(\rho_в-\rho_л)}{\lambda\rho_в\rho_л R}\cdot h_1(t_0-t_1)$; 2) $\tau_{\max} = \frac{\lambda\rho_в R}{2\alpha(t_0-t_1)}$; 3) $t = t_0 - (t_0-t_1)\frac{h_1}{h_1+v\tau}$; 4) $t_к = t_0 - (t_0-t_1)\frac{\rho_л}{\rho_в}$

Задача 4. **Постоянный ток.** В упрощённой модели источник постоянного тока состоит из соединённых последовательно идеального источника постоянного напряжения U_0 и резистора с сопротивлением r (см. рис., слева). При подключении источника постоянного тока в цепь, содержащую резисторы с сопротивлением $R \ll r$, можно считать, что сила тока $I_0 \approx U_0/r$.

Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, которая состоит из звеньев одинакового сопротивления R. Три звена заменены на одинаковые источники постоянного тока I_0 (см. рис., справа).

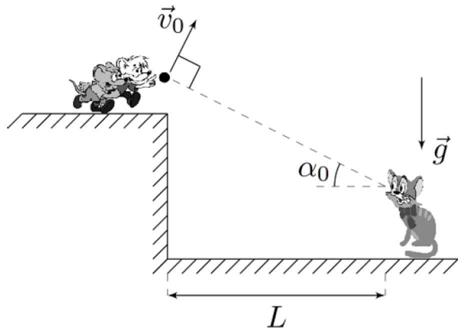




Найдите, через какие звенья цепи течёт минимальный ток, и чему равна его сила $I_{\min}$. Ответ выразите только через I_0.

$I_{\min} = \frac{I_0}{5}$

Задача 5. **Угловая высота камня.** Кот Леопольд стоит на горизонтальной поверхности земли на некотором расстоянии L от вертикального обрыва скалы. С края обрыва мыши бросают камень таким образом, что вектор начальной скорости камня $\vec{v}_0$, модуль которой равен $v_0 = 10$ м/с, направлен перпендикулярно лучу зрения Леопольда.



Угол между горизонтом и лучом зрения Леопольда, направленным на камень, в момент броска был равен $\alpha_0 = 25°$, а через некоторое время t_1 после броска камня достиг максимального значения, равного $\alpha_1 = 38°$.

Леопольд и траектория броска находятся в одной вертикальной плоскости, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

1. Чему равно время t_1?

2. На каком расстоянии L от скалы находился Леопольд?

1) $t_1 = \frac{v_0 \sin(\pi/2+\alpha_1-\alpha_0)}{g \sin(\pi/2-\alpha_1)} \approx 1{,}24$ с; 2) $L = \frac{v_0 t_1(\cos\alpha_0 + \operatorname{tg}\alpha_1 \sin\alpha_0) - g t_1^2/2}{\operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\alpha_0} \approx 24{,}3$ м