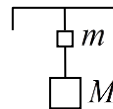


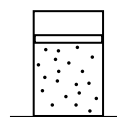
Задания очного отборочного тура
Отраслевой физико-математической олимпиады школьников «Росатом»
Физика, 11 класс, комплект 3
2017 г.

1. Два тела массами $m=1$ кг и $M=2$ кг, связанные невесомой и нерастяжимой нитью, привязаны к потолку кабины лифта. Сила натяжения нижней нити известна и равна $T=40$ Н. Найти силу натяжения верхней нити. $g=10$ м/с².

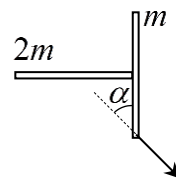


2. Имеются две бухты проволоки, изготовленной из одного и того же металла. Масса первой бухты m , второй - $2m$. Диаметр проволоки из первой бухты - d , второй - $2d$. Найти отношение сопротивления проволок из первой и второй бухт.

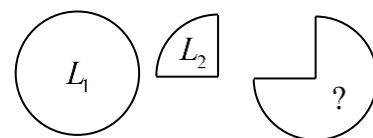
3. В запаянном вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем массой m находится одноатомный идеальный газ при температуре T . Над поршнем вакуум. Из-за неплотных контактов поршня со стенками газ медленно просачивается в верхнюю часть сосуда. Пренебрегая теплоемкостью поршня и сосуда, а также теплопотерями, найти температуру газа, когда поршень опустится на дно сосуда.



4. Две тонкие палочки одинаковой длины с массами m и $2m$ образуют букву «Г» (палочка с массой $2m$ прикреплена к середине палочки с массой m под прямым углом к ней). Палочки лежат на шероховатой горизонтальной поверхности (см. рисунок, вид сверху). К одному из концов палочки m привязана нить, за которую систему палочек медленно тянут по поверхности. Какой угол α составляет палочка m с нитью.



5. Индуктивность кольца известна и равна L_1 . Индуктивность контура, представляющего собой сектор кольца того же радиуса, опирающийся на угол $\pi/2$, также известна и равна L_2 . Найти индуктивность контура, представляющего сектор кольца того же радиуса, опирающийся на угол $3\pi/2$.



Решения

1. Второй закон Ньютона для нижнего тела в проекциях на ось, направленную вертикально вверх, дает

$$Ma = T - Mg \quad \Rightarrow \quad a = \frac{T}{M} - g = 10 \text{ м/с}^2 \quad (1)$$

где a - проекция ускорения тела. Таким образом, лифт движется с ускорением, направленным вверх. Применяя второй закон Ньютона для обоих тел и используя ускорение (1), получим

$$T_1 - (m + M)g = (m + M)a = \frac{(m + M)T}{M} - (m + M)g$$

Отсюда находим

$$T_1 = \frac{(m + M)T}{M} = 60 \text{ Н}$$

Критерии оценки задачи

1. Использован второй закон Ньютона для тела с ускорением, равным ускорения лифта – 0,5 балла
2. Правильно расставлены все сил – 0,5 балла
3. Получено правильное уравнение – 0,5 балла
4. Правильные вычисления и правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

2. Выразим сопротивление проволоки через массу и диаметр проволоки. Имеем

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$$

где ρ - удельное сопротивление материала проволоки, l - ее длина, S - площадь поперечного сечения, d - диаметр. С другой стороны длину проволоки можно выразить через площадь поперечного сечения и плотность материала проволоки

$$l = \frac{m}{\rho_0 S} = \frac{4m}{\pi \rho_0 d^2}$$

где ρ_0 - плотность материала проволоки. Отсюда

$$R = \frac{16\rho m}{\pi^2 \rho_0 d^4} \quad (1)$$

Применяя формулу (1) к первой и второй бухте и вычисляя отношение сопротивлений проволок, получим

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m}{2m} \left(\frac{2d}{d} \right)^4 = 8$$

Критерии оценки задачи

1. Использована правильная формула, дающая связь сопротивления проводника с его длиной и сечением – 0,5 балла
2. длина проводников правильно выражена через массу – 0,5 балла
3. Получено правильное уравнение – 0,5 балла
4. Правильные вычисления и правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

3. Поскольку работа силы тяжести над поршнем равна mgh , где h - высота поршня над дном сосуда, получим из первого закона термодинамики

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = mgh \quad (1)$$

где ν - количество вещества газа, ΔT - изменение его температуры. Чтобы найти h используем условие равновесия поршня в начальном состоянии

$$\frac{mg}{S} = \frac{\nu RT}{V} = \frac{\nu RT}{Sh} \quad \Rightarrow \quad mgh = \nu RT \quad (2)$$

где V - объем газа в начальном состоянии. Подставляя формулу (2) в формулу (1), найдем конечную температуру газа T_1 :

$$T_1 = \frac{5}{3} T$$

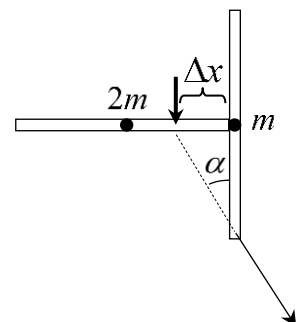
Критерии оценки задачи

1. Использовано правильное условие равновесия поршня в процессе его движения – 0,5 балла
2. Использован закон сохранения энергии с изменением внутренней энергии газа, равным убыли потенциальной энергии поршня – 0,5 балла
3. Использована правильная формула для внутренней энергии с коэффициентом 3/2 – 0,5 балла
4. Правильные вычисления и правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

4. Поскольку палочки движутся медленно, сумма сил и сумма моментов всех сил, действующих на палочки, равна нулю. Это значит, что момент силы трения относительно точки приложения внешней силы должен быть равен нулю. А поскольку силы трения, приложенные к различным малым элементам палочек, пропорциональны их массам и одинаково направлены, для вычисления момента силы трения можно воспользоваться тем же приемом, что и для вычисления момента силы тяжести: считать, что сила трения приложена к центру тяжести палочек. Поэтому линия действия внешней силы должна проходить через центр тяжести палочек.

Найдем положение их центра тяжести. Для этого заменим палочки точечными массами, расположенными в их центрах, и найдем их центр тяжести. Так как масса «перекладины» буквы «Т» вдвое меньше массы ее «ножки», расстояние Δx от середины «перекладины» до центра тяжести палочек составит $2/3$ расстояния от середины «перекладины» до середины «ножки» (см. рисунок, центр тяжести палочек отмечен стрелкой):



$$\Delta x = \frac{2l}{3 \cdot 2} = \frac{l}{3}$$

Поэтому

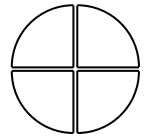
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l/3}{l/2} = \frac{2}{3} \quad \Rightarrow \quad \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{2}{3} \right)$$

Критерии оценки задачи

1. Обосновано, что центр тяжести палочек будет лежать на линии действия силы – 0,5 балла
2. Используются правильные принципы нахождения центра тяжести палочек – 0,5 балла
3. Получено правильное уравнение – 0,5 балла
4. Правильные вычисления и правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла

5. Мысленно представим кольцо с током в виде четырех секторов так, как показано на рисунке, причем в проводах, расположенных вдоль диаметра токи текут навстречу друг другу. Тогда с точки зрения распределения магнитного поля в пространстве ничего не



изменилось, так как новых токов не появилось. Поэтому поток магнитного поля через кольцо Φ_1 будет таким же, как поток магнитного поля через четыре сектора. С другой стороны этот поток будет складываться из четырех потоков магнитного поля каждого секториального тока через сам этот сектор Φ_2 , четырех потоков магнитного поля каждого секториального тока через сектор, лежащий крест накрест Φ_x , и восьми потоков магнитного поля каждого секториального тока через соседние секторы Φ_+ . Поэтому

$$\Phi_1 = 4\Phi_2 + 4\Phi_x + 8\Phi_+ \quad (1)$$

Используя известные индуктивности кольца и сектора, получим из (1), если во всех цепях текут одинаковые токи I :

$$4\Phi_x + 8\Phi_+ = (L_1 - 4L_2)I \quad (2)$$

Разобьем теперь сектор, опирающийся на угол 270° на три сектора. Тогда поток магнитного поля через него Φ_3 будет складываться из трех потоков Φ_2 , двух потоков Φ_x и четырех потоков Φ_+ :

$$\Phi_3 = 3\Phi_2 + 2\Phi_x + 4\Phi_+ \quad (1)$$

или

$$L_3 I = 3L_2 I + \frac{(L_1 - 4L_2)}{2} I$$

Отсюда находим

$$L_3 = L_2 + \frac{L_1}{2}$$

Критерии оценки задачи

1. Использована правильная идея нахождения индуктивности через потоки – 0,5 балла
2. обоснована возможность деления контура на части – 0,5 балла

3. Правильно найдены потоки через сам контур и соседние контуры – 0,5 балла

4. Правильные вычисления и правильный ответ – 0,5 балла

Максимальная оценка за задачу – 2 балла