

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2018–2019 уч. г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

Решения и критерии оценивания

Задача 1

В стрелочных часах часовая стрелка совершает полный оборот за 12 ч, минутная – за 1 ч, секундная – за 1 мин. Часы лежат на горизонтальном столе циферблатом вверх. Стол равномерно поворачивают вместе с часами, вращая его по часовой стрелке (если смотреть на часы сверху, со стороны циферблата) вокруг той же оси, на которую насажены стрелки. Стол делает полный оборот вокруг оси вращения за 3 мин. В полночь все стрелки были направлены на север. Какие значения будут показывать часы в те моменты времени, когда каждая из стрелок окажется направленной на север в следующий раз?

Возможное решение

Пусть угловые скорости (измеряемые в $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$) стола, секундной, минутной и часовой стрелок – $w_{\text{ст}}$, $w_{\text{сек}}$, $w_{\text{мин}}$, $w_{\text{ч}}$ соответственно. Стрелка в следующий раз окажется направленной на север, когда она сделает полный оборот относительно поверхности Земли. Запишем это условие для секундной стрелки:

$$(w_{\text{ст}} + w_{\text{сек}})Dt_{\text{сек}} = 1,$$

где $Dt_{\text{сек}}$ – время, за которое секундная стрелка сделает один оборот относительно поверхности Земли. Отсюда:

$$Dt_{\text{сек}} = \frac{1}{w_{\text{ст}} + w_{\text{сек}}} = \frac{1}{\frac{1}{3 \text{ мин}} + \frac{1}{1 \text{ мин}}} = \frac{3}{4} \text{ мин} = 45 \text{ с}.$$

Таким образом, в следующий раз секундная стрелка окажется направленной на север, когда часы будут показывать 00 : 00 : 45.

Запишем аналогичное условие для минутной стрелки:

$$(w_{\text{ст}} + w_{\text{мин}})Dt_{\text{мин}} = 1,$$

где $Dt_{\text{мин}}$ – время, за которое минутная стрелка сделает один оборот относительно поверхности Земли. Отсюда:

$$Dt_{\text{мин}} = \frac{1}{w_{\text{ст}} + w_{\text{мин}}} = \frac{1}{\frac{1}{3 \text{ мин}} + \frac{1}{60 \text{ мин}}} = \frac{60}{21} \text{ мин} \approx 171,4 \text{ с} = 2 \text{ мин } 51,4 \text{ с}.$$

Таким образом, в следующий раз минутная стрелка окажется направленной на север, когда часы будут показывать 00 : 02 : 51.

Запишем аналогичное условие для часовой стрелки:

$$(w_{\text{ст}} + w_{\text{ч}})Dt_{\text{ч}} = 1,$$

где $Dt_{\text{ч}}$ – время, за которое часовая стрелка сделает один оборот относительно поверхности Земли. Отсюда:

$$Dt_{\text{ч}} = \frac{1}{w_{\text{ст}} + w_{\text{ч}}} = \frac{1}{\frac{1}{3 \text{ мин}} + \frac{1}{720 \text{ мин}}} = \frac{720}{241} \text{ мин} \approx 179,3 \text{ с} = 2 \text{ мин } 59,3 \text{ с}$$

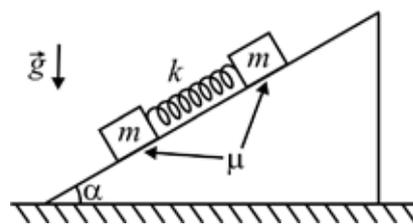
Таким образом, в следующий раз часовая стрелка окажется направленной на север, когда часы будут показывать 00 : 02 : 59.

Критерии оценивания

Указано, что угловые скорости стрелок и стола складываются.....	1 балл
Записано соотношение для одного оборота секундной стрелки.....	1 балл
Получено значение $Dt_{\text{сек}}$	1 балл
Записано соотношение для одного оборота минутной стрелки.....	1 балл
Получено значение $Dt_{\text{мин}}$	1 балл
Записано соотношение для одного оборота часовой стрелки.....	1 балл
Получено значение $Dt_{\text{ч}}$	1 балл
Получены значения показаний часов (за каждое значение по 1 баллу)...	3 балла
Максимум за задачу 10 баллов.	

Задача 2

Два одинаковых маленьких бруска массами $m = 0,6 \text{ кг}$ каждый соединили друг с другом легкой пружиной жёсткостью $k = 80 \text{ Н/м}$ и положили на наклонную плоскость, образующую угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, так, как показано на рисунке. Коэффициент трения между брусками и плоскостью равен $\mu = 0,8$. При какой максимальной деформации Dx пружины эта система может находиться в покое? Считайте, что $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Возможное решение

Заметим, что силы реакции опоры, действующие на бруски, одинаковы и равны по модулю $N = mg \cos a$, так как силы упругости пружины, действующие на тела, параллельны плоскости. Следовательно, одинаковы и модули действующих на бруски максимальных сил трения покоя. Если пружина растянута, то очевидно, что раньше начнет двигаться верхний брусок, а если сжата – то нижний. Для покоящегося бруска, справедливо следующее условие равновесия (одинаковое как для верхнего, так и для нижнего бруска):

$$F_{\text{упр}} + mg \sin a \leq F_{\text{тр. пок.}}$$

Здесь $F_{\text{тр. пок.}}$ – модуль силы трения покоя, $F_{\text{упр}} = kDx$ – модуль силы упругости пружины. В момент начала скольжения сила трения покоя становится максимальной по модулю и равной силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр. пок.}} = F_{\text{тр. скол.}} = mV = mng \cos a .$$

При этом деформация пружины становится максимальной. Поэтому

$$Dx_{\text{max}} = \frac{mng \cos a - mg \sin a}{k} = \frac{mg}{k} (m \cos a - \sin a) \approx 1,45 \text{ см.}$$

Таким образом, $Dx_{\text{max}} \approx 1,4 \text{ см}$ – пружина может быть сжата или растянута на такую максимальную величину.

Критерии оценивания

Указано, что силы реакции опоры брусков одинаковы по модулю..... **1 балл**

Указано, что одинаковы модули действующих на бруски

максимальных сил трения покоя **1 балл**

Записано условие равновесия бруска, который начинает скользить..... **2 балла**

Получено выражение для Dx_{max} **2 балла**

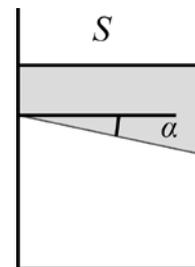
Найдено численное значение Dx_{max} **2 балла**

Указано, что пружина может быть как растянута, так и сжата **2 балла**

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 3

В сосуде под покоящимся поршнем, нижняя плоская поверхность которого составляет с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, находится воздух. Во сколько раз изменится объём воздуха под поршнем, если на него медленно насыпать песок массой $m = 20$ кг? Масса поршня равна $M = 5$ кг, площадь поперечного сечения сосуда $S = 20$ см², атмосферное давление $p_0 = 10^5$ Па. Считайте, что $g = 10$ м/с² и трения нет.



Возможное решение

Пусть давление газа под поршнем p . Тогда проекция на вертикальную ось силы, действующей со стороны газа на поршень, равна $F_\lambda = p \frac{S}{\cos \alpha} \cos \alpha = pS$, то есть она зависит лишь от площади поперечного сечения сосуда. Запишем условие равновесия поршня в исходном состоянии и после насыпания песка:

$$\begin{cases} p_1 S = Mg + p_0 S \\ p_2 S = mg + Mg + p_0 S \end{cases}$$

где p_1, p_2 – давление газа под поршнем до и после насыпания песка на поршень соответственно.

Считая газ под поршнем идеальным, а процесс, в силу медленности насыпания песка, изотермическим, запишем уравнение Бойля-Мариотта для газа под поршнем:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{mg + Mg + p_0 S}{Mg + p_0 S} = \frac{20 \text{ кг} \times 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 5 \text{ кг} \times 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 100\,000 \text{ Па} \times 0,002 \text{ м}^2}{5 \text{ кг} \times 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} + 100\,000 \text{ Па} \times 0,002 \text{ м}^2} = 1,8$$

Таким образом, объём воздуха под поршнем уменьшится в 1,8 раза.

Критерии оценивания

Показано, что вертикальная проекция силы, действующей со стороны газа на поршень, зависит лишь от площади поперечного сечения сосуда..... **2 балла**
 Записаны условия равновесия поршня (по **1,5 балла** за каждое условие)..... **3 балла**

Записан закон Бойля-Мариотта.....	2 балла
Получено выражение для $\frac{V_1}{V_2}$	2 балла
Найдено численное значение $\frac{V_1}{V_2}$	1 балл
Максимум за задачу 10 баллов.	

Задача 4

Пластины плоского конденсатора площадью S каждая несут заряды $+q$ и $-q$. Найдите, каким станет напряжение U на конденсаторе, если на каждую пластину поместить дополнительно по заряду $+q$? Расстояние между пластинами равно d . Считайте, что $d \ll \sqrt{S}$.

Возможное решение

Новый заряд первой пластины $q_1 = q + q = 2q$, а новый заряд второй пластины $q_2 = -q + q = 0$. После дозарядки пластин напряжённость поля между ними будет создаваться только первой пластиной, т.к. вторая – электрически нейтральна. Поскольку расстояние между обкладками мало по сравнению с линейными размерами пластин, то можно рассматривать обе пластины как практически бесконечные плоскости, находясь вдали от краёв конденсатора. Тогда напряжённость поля, создаваемого первой пластиной вдали от краёв конденсатора, равна $E_1 = \frac{s_1}{2\epsilon_0} = \frac{2q}{2S\epsilon_0} = \frac{q}{S\epsilon_0}$. Напряжение между обкладками, в силу однородности поля вдали от границ обкладок, будет равно $U = E_1 d = \frac{qd}{S\epsilon_0}$, то есть не изменится!

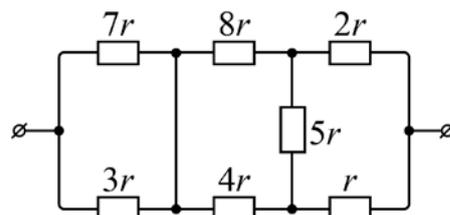
Критерии оценивания

Найдены заряды обкладок после дозарядки (по 1 баллу за каждый) ...	2 балла
Указано, что из-за малости расстояния между обкладками по сравнению с размерами пластин пластины можно считать бесконечными, находясь вдали от краёв обкладок	2 балла
Отмечено, что вторая обкладка не создаёт электрического поля	2 балла
Найдена напряжённость поля вдали от краёв обкладок	2 балла
Получено выражение для U	2 балла
Максимум за задачу 10 баллов.	

Задача 5

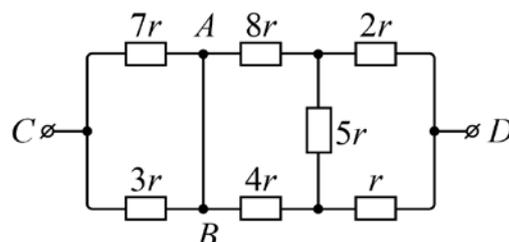
Определите сопротивление цепи, схема которой показана на рисунке, если $r = 1$ Ом.

Ответ выразите в Омах.



Возможное решение

Заметим, что точки A и B соединены идеальным проводником, то есть их можно объединить в одну точку A' . Участок цепи между узлами A' и D – это сбалансированный мост, так как $8r \cdot r = 2r \cdot 4r$. Таким образом, из цепи можно удалить резистор сопротивлением $5r$.



Общее сопротивление между контактами A' и D равно:

$$R_{A\emptyset} = \frac{1}{\frac{1}{2r+8r} + \frac{1}{4r+r}} = \frac{10}{3}r.$$

Общее сопротивление между узлами C и A' равно:

$$R_{CA\emptyset} = \frac{1}{\frac{1}{7r} + \frac{1}{3r}} = \frac{21}{10}r.$$

Таким образом, $R_{CD} = R_{CA\emptyset} + R_{A\emptyset} = \frac{21}{10}r + \frac{10}{3}r = \frac{163}{30}r \approx 5,4$ Ом.

Критерии оценивания

Узлы A и B объединены в узел A' : 2 балла

Показано, что мост между узлами A' и D – сбалансированный: 2 балла

Определено $R_{A\emptyset}$: 2 балла

Определено $R_{CA\emptyset}$: 2 балла

Определено R_{CD} : 2 балла

Максимум за задачу 10 баллов.

Всего за работу 50 баллов.