

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2018–2019 уч. г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

Решения и критерии оценивания

Задача 1

Автомобиль на пути из Москвы до Ярославля двигался с переменной скоростью: сначала половину от всего времени движения его скорость составляла 100 км/ч, потом на половине оставшегося пути – 75 км/ч, а на остатке пути – 50 км/ч.

- 1) Найдите модуль средней скорости автомобиля на всём пути.
- 2) Согласно данным GPS-навигатора, координаты Москвы – $55^{\circ}45'07''$ с.ш. и $37^{\circ}36'59''$ в.д., а Ярославля – $57^{\circ}37'47''$ с.ш. и $39^{\circ}52.42'00''$ в.д. Используя эти сведения, определите приближённо, куда направлен вектор средней скорости автомобиля на всём пути?

Возможное решение

Рассчитаем среднюю скорость на втором и третьем участках. Пусть пройденный на этих участках путь равен S_{23} , а скорости на этих участках равны $V_2 = 75$ км/ч и $V_3 = 50$ км/ч соответственно. Тогда средняя скорость V_{23} на этих участках:

$$V_{23} = \frac{S_{23}}{t_{23}} = \frac{S_{23}}{t_2 + t_3} = \frac{S_{23}}{\frac{0,5 \times S_{23}}{V_2} + \frac{0,5 \times S_{23}}{V_3}} = \frac{2}{\frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_3}} = \frac{2V_2V_3}{V_2 + V_3} = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Теперь рассчитаем среднюю скорость за всё время движения. Пусть весь пройденный путь равен S , время, затраченное на весь путь, равно t , а скорость на первом участке равна $V_1 = 100$ км/ч. Тогда средняя скорость $V_{\text{ср}}$ за всё время движения:

$$V_{\text{ср}} = \frac{S}{t} = \frac{V_1 \frac{t}{2} + V_{23} \frac{t}{2}}{t} = \frac{V_1 + V_{23}}{2} = 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Поскольку и в северном направлении, и в восточном направлении города имеют координаты, отличающиеся примерно на 2 градуса, то можно считать, что средняя скорость автомобиля направлена приближённо на северо-восток.

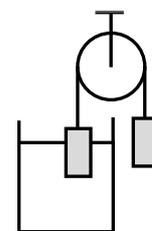
Критерии оценивания

Верно в общем виде записано выражение для средней скорости	2 балла
Получено выражение для V_{23}	3 балла
Рассчитано значение V_{23}	1 балл
Получено выражение для V_{cp}	2 балла
Рассчитано значение V_{cp}	1 балл
Правильно определено направление средней скорости автомобиля на всем пути (приблизенно на северо-восток)	1 балл

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 2

Два однородных груза массами m и $2m$, соединённые переброшенной через неподвижный блок идеальной нитью, висят, как показано на рисунке. Найдите плотность материала, из которого сделан левый груз, если он погружён в воду на две трети своего объёма. Плотность воды равна 1 г/см^3 .



Возможное решение

Легко заметить, что груз, частично погруженный в воду, имеет массу $2m$, а правый груз – массу m .

Раз система находится в равновесии, значит, сумма сил, действующих на правое тело, равна нулю. На это тело действует сила тяжести mg , направленная вертикально вниз, и сила натяжения нити T , направленная вертикально вверх. Таким образом, $T = mg$.

Груз, частично погружённый в воду, тоже находится в равновесии, а значит, сумма сил, действующих на него, равна нулю. На это тело действуют сила натяжения нити T , сила Архимеда $F_{\text{Арх}}$, направленные вертикально вверх, и сила тяжести $2mg$, направленная вертикально вниз. Таким образом:

$$2mg = F_{\text{Арх}} + T,$$

$$2mg = \rho_{\text{воды}} g \times \frac{2}{3} V + mg.$$

Здесь $V = 2m/\rho_{\text{груза}}$. Отсюда:

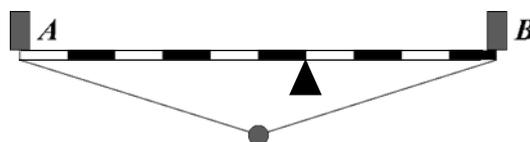
$$\rho_{\text{груза}} = \frac{2m}{V} = \frac{4}{3} \rho_{\text{воды}} \gg 1,33 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Критерии оценивания

Указано, что груз массой $2m$ находится слева.....	2 балла
Записано условие равновесия для правого груза	2 балла
Записано условие равновесия для левого груза	3 балла
Записано выражение для плотности левого груза	2 балла
Получено значение плотности левого груза	1 балл
Максимум за задачу 10 баллов.	

Задача 3

Два тела и бусинка, нанизанная на гладкую нить, которая прикреплена к концам однородного массивного рычага, уравновешены, как показано на рисунке. Найдите массу рычага, если масса груза A равна m , груза B – $4m$, а бусинки – m .



Возможное решение

Бусинка находится в равновесии, если горизонтальные проекции сил натяжения нити, действующих на бусинку, равны друг другу по модулю. Поскольку рычаг в состоянии равновесия горизонтален, получаем, что бусинка находится в равновесии, если она расположена ровно под серединой рычага.

Рассмотрим силы, действующие на систему «рычаг-нить-бусинка». Со стороны груза A на рычаг действует сила mg , которая приложена к левому краю рычага и направлена вертикально вниз. Со стороны груза B на рычаг действует сила $4mg$, которая приложена к правому краю рычага и направлена вертикально вниз. Также на рычаг действует сила тяжести, которая в силу однородности рычага приложена к центру рычага и направлена вертикально вниз. Помимо вышеуказанных сил на рычаг действует сила реакции со стороны опоры N , приложенная в месте контакта с опорой и направленная вертикально вверх. На бусинку же действует сила тяжести mg , приложенная к ней и направленная вертикально вниз. Силы натяжения нити для выбранной системы являются внутренними.

Запишем уравнение моментов для системы «рычаг-нить-бусинка» относительно точки опоры. Пусть масса рычага равна M , а длина одной десятой части рычага – l . Тогда:

$$mg \times 6l + mg \times l + Mg \times l = 4mg \times 4l,$$

$$M = 9m.$$

Критерии оценивания

Отмечено, что бусинка находится под серединой рычага: **2 балла**
Указаны все внешние силы, действующие на выбранную систему тел (по **1 баллу**) **5 баллов**
Правильно записано правило моментов **2 балла**
Найдена масса рычага..... **1 балл**
Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 4

В теплоизолированный сосуд налили 200 г воды при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и последовательно бросают в него одинаковые кубики льда при температуре $t_2 = -10^\circ\text{C}$. Сколько кубиков льда можно бросить в сосуд, чтобы после установления теплового равновесия температура оказалась равной 0°C ? Масса одного кубика равна 10 г. Удельная теплота плавления льда

$l = 330 \text{ кДж/кг}$, удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$. Вода из сосуда не выливается.

Возможное решение

Заметим, что конечная температура, равная 0°C , может достигаться, если после теплообмена в сосуде будут находиться и вода, и лёд, поскольку 0°C – это температура фазового перехода (плавления льда). Таким образом, если положить в сосуд слишком много кубиков льда, то вся вода замёрзнет и температура содержимого (льда) будет ниже нуля, а если в сосуд положить недостаточное число кубиков льда, то весь лёд растает и температура содержимого (воды) будет выше нуля. Таким образом, записывая два уравнения теплового баланса (для максимального и минимального числа кубиков льда), получим ограничения для этих чисел:

$$\begin{cases} Q_{\text{охл. воды}} + Q_{\text{замерз. воды}} \geq Q_{\text{нагр. льда}}, \\ Q_{\text{охл. воды}} \leq Q_{\text{нагр. льда}} + Q_{\text{плав. льда}}, \end{cases}$$

где $Q_{\text{охл. воды}}$ – теплота, выделяющаяся при охлаждении воды до нуля, $Q_{\text{замерз. воды}}$ – теплота, выделяющаяся при замерзании воды, $Q_{\text{нагр. льда}}$ – теплота, поглощаемая при нагревании льда до нуля, $Q_{\text{плав. льда}}$ – теплота, поглощаемая при плавлении льда.

$$\begin{cases} c_B m_B (t_1 - 0^\circ\text{C}) + |m_B|^3 c_L n_{\max} m_L (0^\circ\text{C} - t_2), \\ c_B m_B (t_1 - 0^\circ\text{C}) \leq c_L n_{\min} m_L (0^\circ\text{C} - t_2) + |n_{\min} m_L|. \end{cases}$$

Отсюда:

$$\begin{cases} n_{\max} \leq \frac{c_B m_B (t_1 - 0^\circ\text{C}) + |m_B|^3 c_L n_{\max} m_L (0^\circ\text{C} - t_2)}{c_L m_L (0^\circ\text{C} - t_2)} = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{C}} \times 0,2 \text{ кг} \times 20^\circ\text{C} + 330\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \times 0,2 \text{ кг}}{2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{C}} \times 0,01 \text{ кг} \times 10^\circ\text{C}} \gg 394,3, \\ n_{\min} \geq \frac{c_B m_B (t_1 - 0^\circ\text{C})}{c_L m_L (0^\circ\text{C} - t_2) + |m_L|^3} = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{C}} \times 0,2 \text{ кг} \times 20^\circ\text{C}}{2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \times ^\circ\text{C}} \times 0,01 \text{ кг} \times 10^\circ\text{C} + 330\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \times 0,01 \text{ кг}} \gg 4,8. \end{cases}$$

Учитывая, что n_{\max}, n_{\min} – целые числа, получаем ответ:

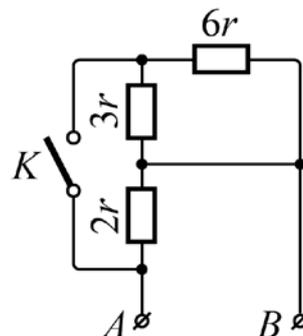
$$5 \leq n \leq 394.$$

Критерии оценивания

Указано, что конечная температура содержимого сосуда
равна нулю, если содержимое – это смесь воды и льда..... **1 балл**
Записаны уравнения теплового баланса для максимального
и минимального числа кубиков (по **2 балла** за каждое)..... **4 балла**
Получены условия для максимального и минимального
числа кубиков (по **1,5 балла** за каждое)..... **3 балла**
Найдены верные целые значения максимального
и минимального числа кубиков (по **1 баллу** за каждое)..... **2 балла**
*Если определено только максимальное или только минимальное количество
кубиков, то за такое решение ставится не более 5 баллов.*
Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 5

Определите общее сопротивление R_{AB} электрической
цепи, схема которой изображена на рисунке, при
замкнутом и разомкнутом ключе K . Считайте
сопротивление r известным.



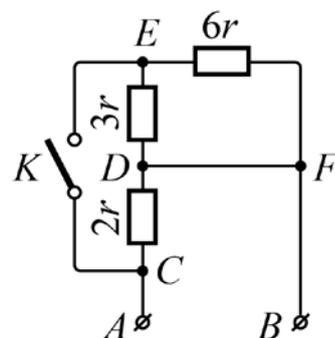
Возможное решение

Заметим, что в случае замкнутого ключа все резисторы соединены параллельно друг другу и их общее сопротивление равно

$$R_{AB} = \frac{1}{\frac{1}{6r} + \frac{1}{3r} + \frac{1}{2r}} = r.$$

В случае разомкнутого ключа узлы D и F соединены перемычкой, значит, резисторы $3r$ и $6r$ подключены параллельно идеальному проводнику, то есть их можно не учитывать при расчёте общего сопротивления. Таким образом, общее сопротивление равно

$$R_{AB} = 2r.$$



Критерии оценивания

- Для замкнутого ключа объединены узлы C, E и D, F (по **2 балла** за пару), то есть показано, что резисторы соединены параллельно друг другу..... **4 балла**
 - Для замкнутого ключа найдено общее сопротивление $R_{AB} = r$ **2 балла**
 - Для разомкнутого ключа объединены узлы D и F **2 балла**
 - Для разомкнутого ключа найдено общее сопротивление $R_{AB} = 2r$ **2 балла**
- Максимум за задачу 10 баллов.**

Всего за работу 50 баллов.