

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ**  
**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2019 года, 7-9 классы**  
**БИЛЕТ № 18 (КЕМЕРОВО): возможные решения и ответы**

**Критерии оценивания:**

**Для вопросов:**

Есть отдельные правильные соображения – **1 балл**.

Ответ в целом правилен, но содержит существенные неточности, или существенно неполон, или отсутствует обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **2 балла**.

**Ответ** правилен, но присутствуют мелкие неточности, или ответ недостаточно полон, или отсутствует достаточное обоснование (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **3 балла**.

Ответ полностью правильный, но недостаточно обоснованный (для вопросов, в которых необходимо обоснование) – **4 балла**.

Правильный, полный и обоснованный ответ – **5 баллов (максимальная оценка)**.

**Для задач:**

Есть отдельные правильные соображения – **1-2 балла**.

Есть часть необходимых для решения соображений, решение не закончено или содержит серьезные ошибки – **3-4 балла**.

Присутствует большая часть необходимых для решения соображений, правильно записана часть необходимых соотношений, решение не закончено или содержит ошибки – **5-7 баллов**.

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны почти все необходимые для решения исходные уравнения, но решение не закончено или содержит ошибки – **8-10 баллов**.

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит ошибки – **11-14 баллов**.

Присутствуют все необходимые для решения соображения, правильно записаны все необходимые для решения исходные уравнения, решение выстроено правильно с физической и логической точки зрения, но содержит одну-две мелкие неточности, не позволившие получить правильный ответ, или правильное решение с недостаточным обоснованием существенных использованных результатов – **15-17 баллов**.

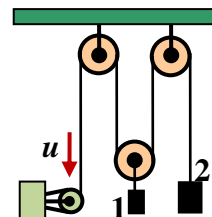
Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов**.

Полное, правильное, обоснованное решение с правильными ответами – **20 баллов (максимальная оценка)**.

**Задание 1.**

**Вопрос:** Какое минимальное число подвижных блоков нужно использовать, чтобы получить выигрыш в силе в 8 раз?

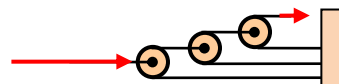
**Задача:** На легкой нерастяжимой веревке с помощью трех блоков подвешены два груза. Блоки легкие, вращаются без трения, веревка по ним не скользит. Один из концов веревки закреплен на шкиве выключенной лебедки. Удерживая груз 2 на месте, включают лебедку и сразу после этого груз 2 отпускают. Лебедка вытягивает веревку с постоянной скоростью  $u = 2$  м/с. Спустя какое время скорости грузов окажутся равны по модулю? Соотношение масс грузов  $m_2 : m_1 = 2$ . Ускорение свободного падения  $g \approx 10$  м/с<sup>2</sup>.



**Ответ на вопрос:** Каждый подвижный блок дает выигрыш в силе в два раза. Поэтому для

получения выигрыша в силе в 8 раз необходимо минимум 3 подвижных блока, соединенных последовательно ( $2^3=8$ ).

Пример конструкции, обеспечивающей такой выигрыш в силе, приведен на рисунке. Согласно золотому правилу механики, этот простой механизм не дает выигрыша в работе – по расстоянию эта конструкция дает проигрыш в 8 раз.



**Решение задачи:** Направим координатную ось  $x$  вертикально вниз. Сумма длин вертикальных отрезков нити в процессе движения системы должна убывать со скоростью вытягивания веревки лебедкой. Поэтому координаты грузов  $x_{1,2}$  должны удовлетворять соотношению  $x_2 + x_1 + x_1 = \text{const} - ut \Rightarrow 2x_1 + x_2 = \text{const} - ut$ . Следовательно, изменения этих координат за малое время  $\Delta t$  связаны соотношением  $2\Delta x_1 + \Delta x_2 = -u\Delta t$ , которое означает, что в любой момент времени проекции скоростей этих тел на ось  $x$  связаны:  $2v_1 + v_2 = -u$ . Движение, согласно условию, начинается таким образом, что при  $t=0$

скорость второго груза  $v_2(0) = 0$ . Значит,  $v_1(0) = -\frac{u}{2}$ . Рассуждая аналогично, замечаем, что

проекции ускорений грузов также связаны:  $a_2 = -2a_1$ . Кроме того, эти ускорения удовлетворяют уравнениям движения, следующим из II закона Ньютона:  $m_1 a_1 = m_1 g - 2T$  и  $m_2 a_2 = m_2 g - T$  (где  $T$  – сила натяжения нити). С учетом связи ускорений и соотношения масс второе уравнение дает  $-4m_1 a_1 = 2m_1 g - T \Rightarrow 8m_1 a_1 = -4m_1 g + 2T$ . Складывая последнее уравнение с первым уравнением движения, находим, что  $a_1 = -\frac{1}{3}g$ , а вместе с

тем и  $a_2 = +\frac{2}{3}g$ . Законы изменения скоростей грузов записываются в виде  $v_1(t) = -\frac{u}{2} - \frac{g}{3}t$

и  $v_2(t) = +\frac{2}{3}gt$ , и условие  $|v_1(t)| = |v_2(t)|$  выполняется в момент времени

$$\frac{u}{2} + \frac{1}{3}gt = \frac{2}{3}gt \Rightarrow t = \frac{3u}{2g} \approx 0,3 \text{ с.}$$

**ОТВЕТ:**  $t = \frac{3u}{2g} \approx 0,3 \text{ с.}$

## Задание 2.

**Вопрос:** Можете ли Вы объяснить, почему газы обладают намного меньшей теплопроводностью, чем жидкости?

**Задача:** Ученик 8 класса решил выяснить, какую температуру имеет вода, текущая из холодного крана в его квартире. У него был только ртутный медицинский термометр. Он налил в термос теплой воды и измерил ее температуру: она оказалась равной  $t_0 = 40,0^\circ\text{C}$ . Он поместил массивную гайку на ниточке под поток холодной воды из крана, а затем перенес гайку в термос, подождал и измерил новую температуру воды в термосе  $t_1 = 37,9^\circ\text{C}$ . Гайка еще раз была помещена под струю воды, а затем в термос, и после этого вода в термосе имела температуру  $t_2 = 36,0^\circ\text{C}$ . Какова же температура холодной воды? Теплоемкостью термометра пренебречь.

**Ответ на вопрос:** Механизм теплопроводности на молекулярном уровне – передача энергии от молекулы к молекуле через соударения. Чем чаще происходят соударения молекул, тем большее количество теплоты передается в единицу времени. Скорость движения молекул зависит от температуры – при одинаковой температуре и примерно одинаковой массе молекул их скорости примерно одинаковы. А вот расстояния между молекулами зависят от агрегатного состояния вещества. В газах молекулы находятся на расстояниях, в десятки раз превышающих их размеры, а в жидких телах – на расстояниях

порядка размеров самих молекул. Поэтому в жидкостях количество ударов, которые испытывает молекула в единицу времени, намного больше, чем в газах. Это и приводит к значительно более высокой теплопроводности жидкостей по сравнению с газами.

**Решение задачи:** Пусть  $C$  – теплоемкость термоса с водой, а  $c$  – теплоемкость гайки. Уравнение теплового баланса для первого погружения гайки в воду в термосе:  $C(t_0 - t_1) = c(t_1 - t)$ . Здесь  $t$  – искомая температура воды из холодного крана. Для второго погружения:  $C(t_1 - t_2) = c(t_2 - t)$ , и теперь можно разделить эти соотношения друг на друга

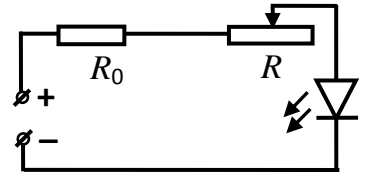
$$\text{и найти } t: \frac{t_0 - t_1}{t_1 - t_2} = \frac{t_1 - t}{t_2 - t} \Rightarrow t = \frac{t_0 t_2 - t_1^2}{t_0 + t_2 - 2t_1} = 17,95^\circ\text{C}.$$

$$\text{ОТВЕТ: } t = \frac{t_0 t_2 - t_1^2}{t_0 + t_2 - 2t_1} = 17,95^\circ\text{C}.$$

### Задание 3.

**Вопрос:** Когда светодиод находится в «открытом» состоянии, напряжение на нем практически не зависит от протекающего тока. Во сколько раз изменяется потребляемая светодиодом мощность при увеличении протекающего через него тока в два раза?

**Задача:** Цепь питания светодиода собрана по схеме, показанной на рисунке. Яркость его свечения регулируется с помощью реостата. При сопротивлении реостата  $R_1 = 5\text{ Ом}$  мощность, потребляемая светодиодом, равна  $P_1 = 3\text{ Вт}$ , при  $R_2 = 10\text{ Ом}$  –  $P_2 = 2\text{ Вт}$ . Какую мощность будет потреблять светодиод при максимальном сопротивлении реостата, равном  $R_3 = 20\text{ Ом}$ ? Можно считать, что источник идеальный, и что напряжение на светодиоде не зависит от протекающего тока.



**Ответ на вопрос:** Мощность, потребляемая элементом цепи постоянного тока,  $P = U \cdot I$ . Если напряжение практически постоянно, то эта мощность изменяется пропорционально силе тока. Поэтому при увеличении протекающего через светодиод тока в два раза его мощность потребления возрастает тоже в 2 раза.

**Решение задачи:** Поскольку напряжение на светодиоде и на клеммах источника практически постоянны, то ток в цепи  $I = \frac{U}{R_0 + R}$  (где  $U$  – разность напряжения источника

и напряжения на светодиоде). Мощность, потребляемая светодиодом,  $P = U_0 \cdot \frac{U}{R_0 + R}$ .

Удобно анализировать зависимость обратной мощности от сопротивления реостата:  $\frac{1}{P} = \frac{R_0}{UU_0} + \frac{R}{UU_0}$  (это линейная функция). Записав соотношения  $\frac{1}{P_1} = \frac{R_0}{UU_0} + \frac{R_1}{UU_0}$  и

$\frac{1}{P_2} = \frac{R_0}{UU_0} + \frac{R_2}{UU_0}$ . Вычитая эти равенства, получим  $\frac{1}{P_2} - \frac{1}{P_1} = \frac{R_2 - R_1}{UU_0}$ . Аналогично из

$\frac{1}{P_2} = \frac{R_0}{UU_0} + \frac{R_2}{UU_0}$  и  $\frac{1}{P_3} = \frac{R_0}{UU_0} + \frac{R_3}{UU_0}$  следует  $\frac{1}{P_3} - \frac{1}{P_2} = \frac{R_3 - R_2}{UU_0} = \frac{R_3 - R_2}{R_2 - R_1} \left( \frac{1}{P_2} - \frac{1}{P_1} \right)$ .

Подставляя значения сопротивлений, находим:  $\frac{1}{P_3} - \frac{1}{P_2} = 2 \left( \frac{1}{P_2} - \frac{1}{P_1} \right)$ . Таким образом,

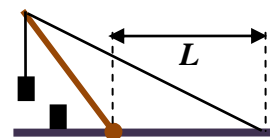
$$P_3 = \frac{P_1 P_2}{3P_1 - 2P_2} = 1,2\text{ Вт}.$$

$$\text{ОТВЕТ: } P_3 = \frac{P_1 P_2}{3P_1 - 2P_2} = 1,2\text{ Вт}.$$

#### Задание 4.

**Вопрос:** Центр тяжести – это точка приложения равнодействующей всех сил, действующих на тело со стороны поля тяготения. Всегда ли центр тяжести тела совпадает с его центром масс? Ответ объяснить.

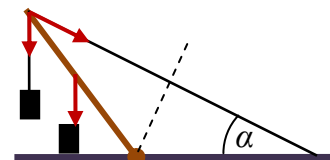
**Задача:** Тонкий жесткий стержень длины  $L$  шарнирно закреплен на горизонтальной поверхности (он может свободно вращаться в вертикальной плоскости). Его конец с помощью легкого



нерастяжимого троса прикреплен к поверхности в точке, которая удалена от шарнира на расстояние, равное длине стержня (см. рисунок). Длина троса в  $\sqrt{3}$  раз больше длины стержня. Когда к концу стержня подвесили небольшой груз, то сила натяжения нити оказалась равна 21 Н. После подвешивания к первому грузу второго (точно такого же) эта сила возросла до 26 Н. Найдите массу стержня и каждого из грузов. Ускорение свободного падения  $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ .

**Ответ на вопрос:** Нет, не всегда. Центр тяжести тела совпадает с его центром масс в однородном поле тяжести – в этом случае силы тяжести, действующие на разные массивные элементы тела, имеют совпадающие направления и пропорциональны массе каждого элемента. В неоднородном поле тяжести центр масс и центр тяжести не совпадают.

**Решение задачи:** Из геометрии понятно, что в равнобедренном треугольнике, образованном стержнем, тросом и прямой на поверхности, угол при основании равен  $30^\circ$ . На стержень действуют: сила натяжения троса, вес стержня и вес груза. Правило моментов относительно шарнира для первого случая дает уравнение



$mg \frac{L}{2} + Mg \frac{L}{4} - T_1 \frac{L}{2} = 0$ . Из него находим  $2m + M = \frac{2T_1}{g}$ . Для

второго случая, как нетрудно понять, аналогично получится  $4m + M = \frac{2T_2}{g}$ . Отметим, что

здесь  $m$  – масса груза, а  $M$  – масса стержня. Из этих уравнений находим:  $m = \frac{T_2 - T_1}{g} = 0,5 \text{ кг}$

и  $M = 2 \frac{2T_1 - T_2}{g} = 3,2 \text{ кг}$ .

**ОТВЕТ:** масса стержня  $M = 2 \frac{2T_1 - T_2}{g} = 3,2 \text{ кг}$ , масса каждого из грузов  $m = \frac{T_2 - T_1}{g} = 0,5 \text{ кг}$ .