ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2019 года, 7-9 классы
БИЛЕТ № 12 (ЧЕЛЯБИНСК): 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.**

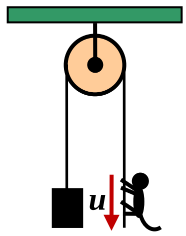
Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов.**

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

Задание 1.

Вопрос: Тяжелый груз поднимают на прочной веревке, перекинутой через легкий неподвижный блок, вращающийся без трения. Сначала, действуя с силой F_1, груз разгоняют с ускорением 1м/с^2, а затем, действуя с силой F_2, груз перемещают с постоянной скоростью 2 м/с. Как изменятся величины сил, если блок заменить на такой же, но с существенно большей массой (увеличатся, уменьшатся, останутся неизменными)? Ответ объяснить.

Задача: Легкая нерастяжимая веревка перекинута через легкий блок, вращающийся без трения. На одном конце веревки прикреплен груз, который удерживают на месте. На другом конце неподвижно повисла обезьянка. В некоторый момент времени обезьянка начинает, перебирая лапами, вытягивать мимо себя веревку с постоянной скоростью $u = 2$ м/с, и сразу после этого груз аккуратно отпускают. Спустя какое время скорости обезьянки и груза окажутся равны? Масса обезьянки на 10% больше массы груза. Веревка по блоку не скользит, ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.



Ответ на вопрос: При разгоне груза скорость вращения блока тоже должна увеличиваться. Для этого сумма моментов сил, приложенных к массивному блоку, должна отличаться от нуля – сила, с которой действуют на веревку, должна быть больше веса груза. Таким образом, при замене груза на массивный сила, необходимая для разгона груза, должна увеличиться: $F_1' > F_1$. При равномерном движении груза вращение блока тоже должно быть равномерным (если веревка не скользит по блоку), и в этом случае момент сил натяжения веревки должен равняться нулю. Поэтому сила натяжения веревки со стороны поднимающего устройства должна равняться весу груза, независимо от массы блока, то есть $F_2' = F_2$.

Решение задачи: Направим координатную ось *x* вертикально вниз. Сумма длин вертикальных отрезков нити от блока до груза и обезьяны должна уменьшаться со скоростью u. Следовательно, координаты груза x_1 и координата обезьяны x_2 должны удовлетворять соотношению $x_1 + x_2 = const - ut$. Следовательно, изменения этих координат за малое время Δt связаны соотношением $\Delta x_1 + \Delta x_2 = -u\Delta t$, которое означает, что в любой момент времени проекции скоростей на ось *x* связаны: $v_1 + v_2 = -u$. Движение, согласно условию, начинается таким образом, что при $t = 0$ скорость груза $v_1(0) = 0$. Значит, $v_2(0) = -u$. Рассуждая аналогично, замечаем, что проекции ускорений грузов также связаны: $a_1 + a_2 = 0$. Кроме того, эти ускорения удовлетворяют уравнениям движения, следующим из II закона Ньютона: $ma_1 = mg - T$ и $1{,}1 \cdot ma_2 = 1{,}1 \cdot mg - T$ (где T – сила натяжения нити). С учетом связи ускорений первое уравнение дает $-ma_2 = mg - T$. Вычитая это соотношение из второго уравнения, найдем, что $2{,}1 \cdot ma_2 = 0{,}1 \cdot mg \Rightarrow a_2 = \dfrac{g}{21}$. Соответственно $a_1 = -\dfrac{g}{21}$, и законы изменения скоростей груза и обезьянки записываются в виде $v_1(t) = -\dfrac{g}{21}t$ и $v_2(t) = -u + \dfrac{g}{21}t$. Момент времени, когда скорости равны, определяется из уравнения $-\dfrac{g}{21}t = -u + \dfrac{g}{21}t$, откуда $t = \dfrac{21u}{2g} = 2{,}1$с.

ОТВЕТ: $t = \dfrac{21u}{2g} = 2{,}1$с.

Задание 2.

Вопрос: Как производится измерение температуры? Опишите шкалу температур Цельсия.

Задача: Ученик 8 класса на лабораторной работе налил в калориметр кипящую воду, и стал бросать туда чайной ложкой мокрый снег (состоящий на 80% из кристалликов льда и на 20% из жидкой воды, находящихся в равновесии). После таяния двух ложек снега температура воды в калориметре стала равна $t_2 = 80°C$. Какое минимальное количество ложек нужно еще бросить в калориметр, чтобы снег перестал таять? Можно считать, что в каждой ложке всегда одно и то же количество снега, и калориметр не переполняется.

Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплота плавления льда λ = 336 кДж/кг, удельная теплоемкость воды c = 4,2 кДж/(кг·°С).

Ответ на вопрос: Для измерения температуры тела оно приводится в тепловое равновесие с термометром – стандартным телом с индикацией температуры, проградурованной в соответствии с некоторой температурной шкалой. Для градуировки термометра по шкале Цельсия используются две «реперные» точки: температура плавления льда при нормальном атмосферном давлении принимается за 0°С, а температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении принимается за 100°С. Между этими точками шкала разделяется на градусы равномерно, и от них в обе стороны распространяется с таким же шагом.

Решение задачи: Обозначим массу добавляемой порции снега m, а начальную массу воды в калориметре M. Ясно, что находящиеся в равновесии компоненты мокрого снега имели температуру 0°С, а кипящая вода имела температуру $t_0 = 100°C$. Тогда уравнение теплового баланса для установления равновесия после добавления двух порций позволяет найти массу порции: $\lambda \cdot 1{,}6m + c \cdot 2mt_2 = cM(t_0 - t_2) \Rightarrow m = \dfrac{cM(t_0 - t_2)}{2(0{,}8 \cdot \lambda + ct_2)}$. Снег перестанет таять после добавления n-ой ложки, если температура станет равна 0°С (последняя порция при этом может и не растаять целиком). Таким образом, должно выполняться требование

$$n \cdot \lambda \cdot 0{,}8m \geq cM\, t_0 \Rightarrow n \geq \frac{cM\, t_0}{0{,}8\lambda m} = \frac{2t_0}{t_0 - t_2}\left(1 + 1{,}25\frac{ct_2}{\lambda}\right) = 22{,}5.$$

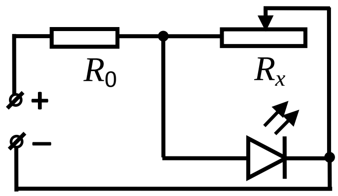
Значит, после 23-ей ложки снег перестает таять (23-я ложка растает частично, а 24-я вовсе не будет таять). То есть «еще» (кроме двух начальных) нужно добавить 21 ложку.

ОТВЕТ: 21 ложку.

Задание 3.

Вопрос: Когда светодиод находится в «открытом» состоянии, напряжение на нем практически не зависит от протекающего тока. Пусть это напряжение равно 6 В. Какова величина силы тока, протекающего через светодиод, если он потребляет мощность 9 Вт?

Задача: Цепь питания светодиода собрана по схеме, показанной на рисунке. Яркость его свечения регулируется с помощью реостата. При сопротивлении реостата $R_1 = 10$ Ом мощность, потребляемая светодиодом, равна $P_1 = 4{,}5$ Вт, при $R_2 = 15$ Ом – $P_2 = 5{,}1$ Вт. Какую мощность будет потреблять светодиод при максимальном сопротивлении реостата, равном $R_3 = 30$ Ом? Можно считать, что источник идеальный, и что напряжение на светодиоде не зависит от протекающего тока.



Ответ на вопрос: Потребляемая элементом цепи мощность $P = U \cdot I$. Значит, $I = \dfrac{P}{U_0} = 1{,}5$ А.

Решение задачи: Пусть U – напряжение на клеммах источника, а U_0 – напряжение на светодиоде, которое, согласно условию, постоянно. Тогда ток в ветви с источником $I = \dfrac{U - U_0}{R_0}$. Сила тока через реостат $I_x = \dfrac{U_0}{R_x}$, и поэтому ток через светодиод $I_D = I - I_x = \dfrac{U - U_0}{R_0} - \dfrac{U_0}{R_x}$. Следовательно, зависимость мощности, потребляемой светодиодом, от сопротивления реостата описывается формулой $P_D = \dfrac{U_0(U - U_0)}{R_0} - \dfrac{U_0^2}{R_x} \equiv P_0 - \dfrac{U_0^2}{R_x}$. Запишем эту формулу для трех значений сопротивления реостата:

$$\begin{cases} P_1 = P_0 - \dfrac{U_0^2}{R_1} \\ P_2 = P_0 - \dfrac{U_0^2}{R_2} \\ P_3 = P_0 - \dfrac{U_0^2}{R_3} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_2 - P_1 = U_0^2\left(\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2}\right) \\ P_3 - P_2 = U_0^2\left(\dfrac{1}{R_2} - \dfrac{1}{R_3}\right) \end{cases} \Rightarrow P_3 = (1+z)P_2 - zP_1 .$$

Здесь $z \equiv \dfrac{R_1(R_3 - R_2)}{R_3(R_2 - R_1)}$. В нашем случае $z = 1$, и $P_3 = 2P_2 - P_1 = 5{,}7$ Вт. Задачу можно решать «в числах» (сразу подставляя в эти уравнения величины сопротивлений) – тогда выкладки становятся более простыми. Также можно заметить, что мощность есть линейная функция обратного сопротивления реостата, и что в нашем случае $\dfrac{1}{R_1} - \dfrac{1}{R_2} = \dfrac{1}{R_2} - \dfrac{1}{R_3}$. Тогда сразу ясно, что $P_2 - P_1 = P_3 - P_2 \Rightarrow P_3 = 2P_2 - P_1$.

ОТВЕТ: $P_3 = 2P_2 - P_1 = 5{,}7$ Вт.

Задание 4.

Вопрос: В чем состоит условие плавания тела на поверхности глубокого водоема?

Задача: На тонкий прочный стержень насажены два небольших шара одинакового радиуса: очень легкий – на конце стержня, тяжелый – на расстоянии четверти длины стержня от другого конца. Массы стержня и легкого шара намного меньше массы тяжелого. Нам нужно убедиться, что эта конструкция будет плавать на поверхности в глубоком водоеме. Если поместить ее в неглубокий бассейн, то она располагается в нем так, что свободный конец упирается в дно, а легкий шар плавает на поверхности. Мы измерили отношение объема его выступающей части к объему всего этого шара *k*. При каких *k* конструкция действительно будет плавать на глубине?

Ответ на вопрос: При плавании тела на поверхности глубокого водоема тело не касается дна, и поэтому вес тела должен уравновешиваться только силой Архимеда. Максимальная величина этой силы достигается при полном погружении тела, и равна весу вытесняемой телом жидкости. Для этого необходимо, чтобы масса тела не превышала массу жидкости в объеме тела. Это требование можно также сформулировать в виде «средняя плотность тела не должна превышать плотности жидкости».

Решение задачи: Так как шары одинаковы по объему, то величина силы Архимеда, действующая на легкий шар в бассейне (F_1) связана с величиной силы Архимеда, действующей на тяжелый шар (F_2) соотношением $F_1 = (1-k)F_2$. Пренебрегая весом легкого шара, запишем условие равновесия моментов сил относительно точки опоры (ясно, что плечо силы Архимеда и силы тяжести, действующих на тяжелый шар, в четыре раза меньше, чем плечо силы Архимеда, действующей на легкий шар): $F_1 l_1 + F_2 \dfrac{l_1}{4} = Mg\dfrac{l_1}{4}$. С учетом предыдущего соотношения находим, что $F_2 = \dfrac{Mg}{5-4k}$. Для плавания в глубоком водоеме нужно, чтобы максимальная сила Архимеда (когда оба шара погружены целиком) превышала вес всех тел, примерно равный весу тяжелого шара. Таким образом, должно выполняться требование $2F_2 > Mg \Rightarrow \dfrac{2Mg}{5-4k} > Mg \Rightarrow k > \dfrac{3}{4}$.

ОТВЕТ: при $k > \dfrac{3}{4}$.