ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2019 года, 7-9 классы

БИЛЕТ № 14 (ЖЕЛЕЗНОВОДСК): 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.**

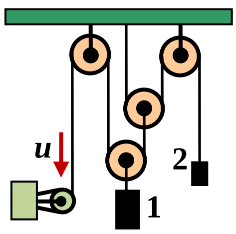
Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов.**

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

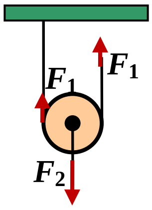
Задание 1.

Вопрос: Подвижный блок. Опишите соотношение сил и перемещений при использовании подвижного блока.

Задача: Система из двух легких прочных тросов, двух неподвижных и двух подвижных блоков и двух грузов подвешена к потолку (см. рисунок). Все блоки – легкие и вращаются без трения, тросы по блокам не скользят. Конец одного из тросов закреплен на шкиве выключенной лебедки, груз 2 удерживают на месте. Этот груз аккуратно отпускают, а затем почти сразу включают лебедку, которая начинает вытягивать трос с постоянной скоростью $u = 1{,}5$ м/с. За какое время груз 2 поднимется на высоту $h = 1{,}5$ м? Отношение масс грузов $m_1 : m_2 = 4$. Временем разгона грузов и их



смещением при разгоне пренебречь.



Ответ на вопрос: Подвижный блок – простой механизм (показан на рисунке). При смещении свободного конца веревки, перекинутой через подвижный блок, оно поровну распределяется между двумя сторонами петли, и смещение оси блока будет в два раза меньше, чем смещение конца веревки: $s_1 = 2s_2$. При плавном равномерном движении блока (или если масса блока пренебрежимо мала при конечных ускорениях) сумма сил, приложенных к блоку, должна равняться нулю, и для легкой веревки сила, приложенная к оси блока, будет в два раза больше силы, натягивающей веревку: $2F_1 = F_2$. В результате подвижный блок не дает выигрыша в работе: $F_1 s_1 = F_2 s_2$.

Решение задачи: Направим координатную ось *x* вертикально вниз. Движение, согласно условию, начинается таким образом, что грузы в процессе разгона движутся под действием сил натяжения нитей. Если рассмотреть «верхний» из подвижных блоков, то, как следует из ответа, мы придем к выводу, что сила натяжения «левой» нити T_1 в два раза больше, чем «правой» (T_2). Уравнения движения грузов, следующие из II закона Ньютона, имеют вид: $m_1 a_1 = m_1 g - 2T_1 = m_1 g - 4T_2$ и $m_2 a_2 = m_2 g - T_2$. С учетом соотношения масс обнаруживается, что в процессе разгона $a_2 = a_1$, то есть $v_2(t) = v_1(t)$ (начальные скорости обоих грузов равны нулю). Сумма длин вертикальных отрезков «левой» нити в процессе движения системы после разгона должна уменьшаться со скоростью u, а сумма длин вертикальных отрезков «правой» - оставаться неизменной. Поэтому координаты грузов $x_{1,2}$ и координата верхнего блока $x_Б$ должны удовлетворять соотношениям $2x_1 - x_Б = const - ut$ и $x_2 + 2x_Б = const$. Следовательно, $4x_1 + x_2 = const - 2ut$. Значит, изменения этих координат за малое время Δt связаны соотношением $4\Delta x_1 + \Delta x_2 = -2u\Delta t$, и проекции скоростей грузов на ось *x* тоже связаны: $4v_1 + v_2 = -2u$. Таким образом, при $t = 0$ скорости грузов $v_1(0) = v_2(0) = -\dfrac{2u}{5}$. Так как скорости и дальше должны быть связаны этим соотношением при одинаковых ускорениях, то эти ускорения равны нулю, и скорости будут оставаться постоянными! Об этом можно было догадаться и без прямого вычисления, если обратить внимание, что при выключенной лебедке грузы находятся в равновесии. Итак, груз 2 поднимается вверх со скоростью $\dfrac{2u}{5}$. Поэтому искомое время подъема $t = \dfrac{5h}{2u} = 2{,}5$ с.

ОТВЕТ: $t = \dfrac{5h}{2u} = 2{,}5$ с.

Задание 2.

Вопрос: Что происходит с кинетической энергией и потенциальной энергией взаимодействия молекул H_2O при таянии льда? Ответ обосновать.

Задача: Ученик 8 класса на лабораторной работе поместил в калориметр $M = 115$г мокрого снега (состоящего на 60% из кристалликов льда и на 40% из жидкой воды, находящихся в равновесии), и стал добавлять туда ложкой кипящую воду. После добавления одной ложки и установления равновесия масса ледяных кристаллов в калориметре стала равна $m_1 = 63$г. Школьник добавил еще 11 ложек горячей воды. Какой стала температура содержимого калориметра после установления нового равновесия? Можно считать, что в каждой ложке всегда одно и то же количество воды, 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: При таянии льда температура не меняется, а скорость движения молекул определяется именно температурой. Поэтому кинетическая энергия молекул остается неизменной. Вместе с тем их полная энергия в среднем увеличивается – это ясно из того соображения, что для плавления льду нужно сообщать энергию. Следовательно, потенциальная энергия взаимодействия молекул при переходе воды из твердой в жидкую фазу увеличивается.

Решение задачи: Обозначим массу добавляемой порции кипятка m. Ясно, что находящиеся в равновесии компоненты мокрого снега имели температуру 0°C, а кипящая вода имела температуру $t_0 = 100°C$. Тогда уравнение теплового баланса для установления равновесия после добавления одной ложки порций позволяет найти массу порции: $\lambda \cdot (0{,}6M - m_1) = cmt_0 \Rightarrow m = \dfrac{\lambda \cdot (0{,}6M - m_1)}{ct_0} = 4{,}8$ г. Важно обратить внимание, что, пока лед в составе снега тает, температура всей жидкой воды в равновесных состояниях остается равной 0°C (теплота остывания кипятка идет только на таяние льда). При этом одна ложка позволяет растопить $0{,}6M - m_1 = 6$ г льда. Из этого ясно, после добавление еще 11 ложек кипятка весь лед растает. Ясно, что $\dfrac{m_1}{0{,}6M - m_1} = 10{,}5$ ложек кипятка растопят весь лед, а оставшиеся 0,5 ложки пойдут на нагрев всей воды. Поэтому

$$c(M + 11{,}5m)t = c \cdot 0{,}5m(t_0 - t) \Rightarrow t = \frac{m}{2(M + 12m)} t_0 = \frac{\lambda(0{,}6M - m_1)t_0}{2[M(ct_0 + 7{,}2\lambda) - 12m_1\lambda]} \approx +1{,}4°C.$$

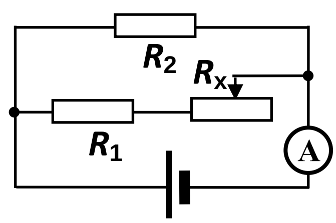
Здесь допустим «поэтапный» численный расчет.

ОТВЕТ: $t \approx +1{,}4°C$.

Задание 3.

Вопрос: Как сопротивление однородной проволоки зависит от ее геометрических параметров?

Задача: В схеме, показанной на рисунке, используются проградуированный реостат, амперметр с очень малым внутренним сопротивлением и практически идеальный источник с ЭДС 24 В. Изменяя сопротивление реостата, фиксируем показания амперметра: при $R_a = 10$ Ом сила тока $I_a = 1{,}6$ А, а при $R_b = 40$ Ом она равна $I_b = 1{,}2$ А. Найдите сопротивления резисторов R_1 и R_2.



Ответ на вопрос: Сопротивление однородной проволоки зависит от площади ее поперечного сечения S и длины l и определяется формулой $R = \rho \dfrac{l}{S}$, где ρ – удельное сопротивление материала проволоки. Для зачета вопроса достаточно указать, что сопротивление прямо пропорционально отношению длины к площади поперечного сечения, а коэффициент пропорциональности зависит от материала.

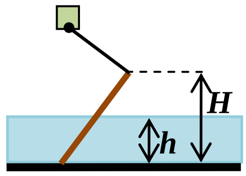
Решение задачи: Пусть Е – ЭДС источника (напряжение на его клеммах при разомкнутой цепи). Ток через амперметр равен сумме токов через обе ветви с резисторами: $I = \dfrac{E}{R_1 + R_x} + \dfrac{E}{R_2}$. Значит, сопротивления резисторов удовлетворяют системе уравнений $\dfrac{I_a}{E} = \dfrac{1}{R_1 + R_a} + \dfrac{1}{R_2}$ и $\dfrac{I_b}{E} = \dfrac{1}{R_1 + R_b} + \dfrac{1}{R_2}$. Вычитая эти уравнения, получаем уравнение для R_1: $\dfrac{I_a - I_b}{E} = \dfrac{R_b - R_a}{(R_1 + R_a)(R_1 + R_b)}$, или $R_1^2 + (R_a + R_b)R_1 + R_aR_b - \dfrac{E(R_b - R_a)}{I_a - I_b} = 0$. Выбирая положительный корень этого уравнения, находим, что $R_1=-\frac{R_a+R_b}{2}+\sqrt{\frac{(R_b-R_a)^2}{4}+\frac{\mathrm{E}(R_b-R_a)}{I_a-I_b}}=20\,\text{Ом}$. Теперь из любого соотношения находим второе сопротивление, например: $R_2=\frac{\mathrm{E}(R_1+R_a)}{(R_1+R_a)I_a-\mathrm{E}}=30\,\text{Ом}$.

ОТВЕТ: $R_1=-\frac{R_a+R_b}{2}+\sqrt{\frac{(R_b-R_a)^2}{4}+\frac{\mathrm{E}(R_b-R_a)}{I_a-I_b}}=20\,\text{Ом}$, $R_2=\frac{\mathrm{E}(R_1+R_a)}{(R_1+R_a)I_a-\mathrm{E}}=30\,\text{Ом}$.

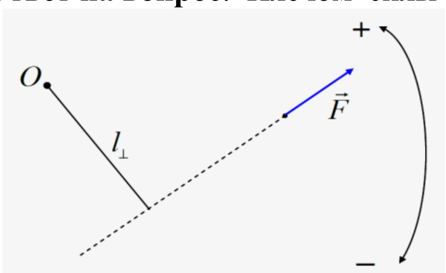
Задание 4.

Вопрос: Дайте определение момента силы и сформулируйте правило рычага.

Задача: Массивный однородный стержень верхним концом прикрепили к легкому прочному тросу (другой конец троса закреплен неподвижно). При этом нижним концом стержень опирался на пол бассейна, трос был перпендикулярен стержню, а верхний конец стержня находился на высоте $H=0{,}9$ м. Трос оказался натянут с силой $T_0=80$ Н. Какой станет сила натяжения троса, если бассейн заполнить водой до глубины $h=0{,}45$ м? Плотность материала стержня в два раза больше плотности воды, нижний конец стержня по дну бассейна не скользит.

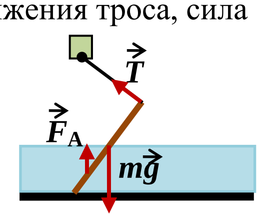


Ответ на вопрос: Плечом силы относительно оси называют расстояние от оси до линии действия силы (в школьной программе рассматриваются только случаи, когда ось перпендикулярна плоскости возможного вращения тела). **Момент силы** – произведение величины силы на ее плечо, взятое со знаком + (-), если сила вращает тело вокруг оси в положительном (отрицательном) направлении: $M=\pm|\vec{F}|\cdot l_\perp$.



Правило рычага утверждает, что в состоянии равновесия алгебраическая сумма моментов сил, приложенных к «рычагу» (протяженному твердому телу), равна нулю.

Решение задачи: Пока воды не было, на стержень действовали сила натяжения троса, сила тяжести и сила реакция дна. Плечо силы натяжения относительно точки опоры равно длине стержня L, а плечо силы тяжести – расстоянию от точки опоры до проекции середины стержня на дно (обозначим его l). Запишем правило рычага: $T_0L-mgl=0\Rightarrow T_0=\frac{l}{L}mg$. После появления воды к этим силам добавилась сила Архимеда. Ясно, что объем погруженной части стержня составляет часть $\frac{h}{H}$ от общего объема. С учетом соотношения плотностей ясно, что величина силы Архимеда равна $F_A=\frac{h}{2H}mg$. Кроме того, ее плечо $l_A=\frac{h}{H}l$. Запишем правило рычага для стержня относительно точки опоры в присутствии воды: $TL+F_Al_A-mgl=0\Rightarrow T=\frac{l}{L}mg\left(1-\frac{h^2}{2H^2}\right)=T_0\left(1-\frac{h^2}{2H^2}\right)=70$ Н.



ОТВЕТ: $T=T_0\left(1-\frac{h^2}{2H^2}\right)=70$ Н.