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

БИЛЕТ № 16 (МОСКВА): 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.**

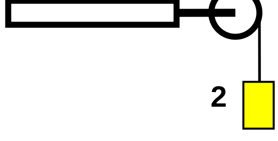
Правильное обоснованное решение с верным аналитическим ответом, но мелкой неточностью при получении численного ответа, либо правильное решение с правильными ответами с недостаточным обоснованием одного из использованных результатов (из числа не ключевых для решения, но необходимых) – **18-19 баллов.**

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

Задание 1.

Вопрос: Под весом груза веревка длиной 1 м растягивается на 1 см. На сколько растянется под весом этого же груза такая же (по материалу и сечению) веревка длиной 2м? Ответ объяснить.

Задача: Два груза с одинаковой массой $m = 10$ кг прикреплены к разным концам легкой и прочной длинной веревки, перекинутой через свободно вращающийся блок. Груз 1 удерживают на горизонтальной поверхности (коэффициент трения между ним и поверхностью $\mu = 0{,}6$), а второй висит свободно. Вся система помещена в лифт. Лифт поехал вверх с ускорением $a = 5$ м/с^2, а грузы отпустили, и они пришли в движение (первый поехал вправо, набирая скорость, а второй – вниз). Найти удлинение веревки во



время движения. Известно, что ее коэффициент жесткости $k = 4000$ Н/м. Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.

Ответ на вопрос: Из вопроса ясно, что вес веревки не учитывается. Тогда сила натяжения веревки в обоих случаях в каждом сечении равна весу груза, и каждая половина веревки длиной 2 м растягивается так же, как одна веревка длиной 1 м. Следовательно, веревка длиной 2 м растянется на 2 см.

Решение задачи: Направим координатную ось x горизонтально вправо, а ось y вертикально вниз. Запишем уравнения движения для груза 1 в проекции на эти оси (ясно, что по y он движется вместе с поверхностью с ускорением лифта): $ma_x = T - F_{тр}$ и $ma = mg - N \Rightarrow N = m(g+a)$ (здесь T – сила натяжения нити, N – сила нормальной реакции поверхности). Поскольку груз 1 скользит, то $F_{тр} = \mu N = \mu m(g+a)$. Для груза 2 уравнение движения в проекции на y $ma_2 = mg - T$. При этом нерастяжимость нити приводит к связи ускорений: относительно лифта оба груза должны двигаться с одинаковыми по величине ускорениями. Таким образом, $a_2 = a_x - a$. Поэтому $ma_x = m(g+a) - T$, и, подставляя это соотношение в первое уравнение, находим: $T = \dfrac{1+\mu}{2} m(g+a)$. По закону Гука удлинение веревки $\Delta l = \dfrac{1+\mu}{2k} m(g+a) \approx 3$см.

ОТВЕТ: $\Delta l = \dfrac{1+\mu}{2k} m(g+a) \approx 3$см.

Задание 2.

Вопрос: Что произойдет, если мокрую снаружи кастрюлю с влажным снегом поставить на стол и щедро посолить снег, помешав его? Ответ обосновать.

Задача: Какую массу газа нужно сжечь, чтобы получить $V = 3$ литра кипящей воды из мокрого снега (масса которого на 60 % состоит из ледяных кристалликов и на 40 % из воды), имеющего температуру $t_0 = 0$ ºС? Снег помещен в железный котелок массы $M = 500$ г, а для его нагревания используется газовая горелка. Конструкция горелки такова, что на нагрев котелка и его содержимого тратится 50% количества теплоты, выделяющегося при сгорании газа. Плотность воды $\rho = 1$ г/см^3, удельная теплоемкость воды $c_в = 4{,}2$ кДж/(кг·ºС), удельная теплоемкость железа $c_ж = 0{,}46$ кДж/(кг·ºС), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплота сгорания газа $q = 34$ МДж/кг.

Ответ на вопрос: Кастрюля примерзнет к столу. Добавка соли приведет к понижению температуры плавления льда, и ледяные кристаллы, входящие в состав снега, начнут таять. Теплота плавления будет забрана у окружающих тел, и поэтому кастрюля и вода на ее внешней поверхности и между столом и кастрюлей заметно охладятся, и вода, которая была по температуре близка к 0°С, замерзнет.

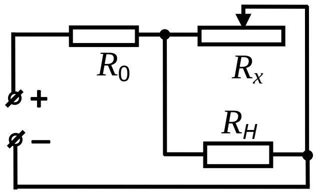
Решение задачи: Масса воды, которую требуется получить, $m_в = \rho V = 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 3$ кг, масса льда, который нужно растопить, $m_л = m_в \cdot 0{,}6 = 1{,}8$ кг. Количество теплоты, требующееся для растапливания льда при 0 С, равно $Q_1 = m_л \lambda = 1{,}8 \cdot 330 = 594$ кДж. Количество теплоты, требующееся для нагревания котелка и воды до температуры 100 С, $Q_2 = (Mc_ж + m_в c_в)\cdot(t - t_0) = (0{,}5\cdot 0{,}46 + 3\cdot 4{,}2)\cdot 100 = 1283$ кДж. Количество теплоты, которое должно выделится при сгорании газа, $Q_3 = \dfrac{Q_1 + Q_2}{0{,}5} = 3754$ кДж. Масса газа $m = \dfrac{Q_3}{q} \approx 85{,}3$ г.

ОТВЕТ: $m = \dfrac{Q_3}{q} \approx 85{,}3$ г.

Задание 3.

Вопрос: Закон Джоуля-Ленца.

Задача: Цепь питания нагревательного элемента показана на рисунке. Его мощность регулируется с помощью реостата. При сопротивлении реостата, равном $R_1 = 5$ Ом, мощность, потребляемая нагревательным элементом $P_1 = 25$ Вт, а при $R_2 = 12$ Ом она равна $P_2 = 36$ Вт. Какую мощность будет потреблять нагревательный элемент при $R_x = R_3 = 18$ Ом?



Ответ на вопрос: При протекании тока в среде с сопротивлением выделяется тепло. Причина у этого тепловыделения та же, что и у появления сопротивления – это взаимодействие подвижных носителей заряда с атомами среды (например, электронов проводимости с кристаллической решеткой материала). В стационарном режиме мощность тепловыделения равна мощности работы электростатических сил по перемещению заряда, то есть , где и – напряжение на рассматриваемом участке цепи, а и – сила тока в этом участке. Для линейных элементов цепи, подчиняющихся закону Ома (, где и – сопротивление участка), можно использовать выражения .

Решение задачи: Пусть U – напряжение на клеммах источника. Тогда ток в ветви с источником $I = \dfrac{U}{R_0 + R_x R_H/(R_x + R_H)}$. Этот ток делится между нагревательным элементом и реостатом обратно пропорционально сопротивлениям, и поэтому ток через нагревательный элемент $I_H = \dfrac{R_x}{R_x + R_H} I = \dfrac{U R_x}{R_0 R_H + R_x(R_0 + R_H)}$. Тогда зависимость мощности, потребляемой нагревательным элементом, от сопротивления реостата описывается формулой $P_H = I_H^2 R_H \equiv U^2 R_N \left(\dfrac{R_x}{R_0 R_H + R_x(R_0 + R_H)} \right)^2$. Запишем эту формулу для величины $\dfrac{1}{\sqrt{P_H}} = \dfrac{R_0 + R_H}{U\sqrt{R_H}} + \dfrac{R_0\sqrt{R_H}}{U}\dfrac{1}{R_x} \equiv A + \dfrac{B}{R_x}$, которая проще зависит от сопротивления реостата. Теперь рассмотрим ее для трех значений этого сопротивления:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{P_1}} &= A + \frac{B}{R_1} \\ \frac{1}{\sqrt{P_2}} &= A + \frac{B}{R_2} \\ \frac{1}{\sqrt{P_3}} &= A + \frac{B}{R_3} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{P_1}} - \frac{1}{\sqrt{P_2}} &= B\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{P_2}} - \frac{1}{\sqrt{P_3}} &= B\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{P_3}} = \frac{1+z}{\sqrt{P_2}} - \frac{z}{\sqrt{P_1}}.$$

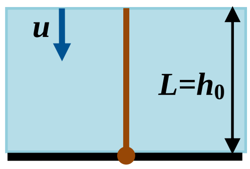
Таким образом, $P_3 = \dfrac{P_1 P_2}{[(1+z)\sqrt{P_1} - z\sqrt{P_2}]^2}$. Здесь $z \equiv \dfrac{R_1(R_3 - R_2)}{R_3(R_2 - R_1)}$. В нашем случае $P_3 \approx 42{,}2$ Вт. Задачу можно решать «в числах» (сразу подставляя в эти уравнения величины сопротивлений) – тогда выкладки становятся более простыми.

ОТВЕТ: $P_3 \approx 42{,}2$ Вт.

Задание 4.

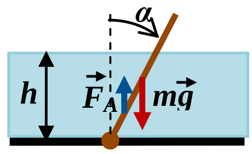
Вопрос: Прочный стакан перевернули вверх дном и опустили целиком в воду. Оказалось, что сила Архимеда больше его веса. Может ли быть, что при опускании на некоторую глубину она станет меньше веса стакана? Ответ объяснить.

Задача: В широкий сосуд с водой помещен тонкий стержень постоянного сечения из очень легкого материала – его плотность в $n = 9$ раз меньше плотности воды. Стержень шарнирно закреплен на дне сосуда (то есть он может без трения вращаться вокруг горизонтальной оси шарнира). Первоначально уровень воды в сосуде равнялся длине стержня, и стержень располагался вертикально. Затем уровень воды начали плавно (с постоянной скоростью u, которая значительно меньше скорости, которую набрал бы стержень, падая в отсутствие воды) понижать. Найдите закон изменения с течением времени угла отклонения стержня от вертикали $\alpha(t)$.



Ответ на вопрос: При опускании стакана в воду вверх дном в нем остается воздух. Именно объем воздуха обеспечивает большую часть силы Архимеда (плотность материала «прочных» стаканов обычно больше плотности воды). Однако при погружении на большую глубину давление воды увеличивается, и воздух будет сжиматься, что приведет к уменьшению силы Архимеда, действующей на стакан с воздухом. Поэтому она действительно может оказаться меньше веса стакана – с «большой» глубины стакан может и не всплыть!

Решение задачи: Так как уровень воды понижается плавно и с малой скоростью, то можно считать, что в каждый момент времени стержень находится практически в равновесном (для данной глубины слоя воды) положении. Поэтому сумма моментов сил, приложенных к стержню (относительно шарнира), равна нулю в любой момент времени. Рассмотрим момент времени, когда глубина слоя воды равна h, и стержень находится в наклонном положении. На стержень действуют сила тяжести, сила Архимеда и сила реакции шарнира (на рисунке не показана – ее плечо относительно шарнира равно нулю, и в уравнение баланса моментов она не входит). Точка приложения силы тяжести – центр стержня (плечо равно $\frac{L}{2}\sin(\alpha)$), точка приложения силы Архимеда – середина погруженной части стержня (плечо $\frac{h}{2}\mathrm{tg}(\alpha)$). Величина силы Архимеда $F_A = \rho_0 \frac{h}{\cos(\alpha)} \frac{mg}{\rho S L} = n \frac{h}{L\cos(\alpha)} mg$. Поэтому условие равновесия дает $n \frac{h}{L\cos(\alpha)} mg \frac{h}{2} \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} - \frac{L}{2}\sin(\alpha) mg = 0$. Как видно, $\cos(\alpha) = \sqrt{n}\frac{h}{L} = \frac{3h}{L}$. Ясно, что глубина слоя изменяется по закону $h(t) = L - ut$. Пока $h \ge \frac{L}{3}$, то есть $t \le \frac{2L}{3u}$, стержень остается вертикальным (косинус не может быть больше 1), а при $\frac{2L}{3u} < t \le \frac{L}{u}$ угол наклона стержня $\alpha(t) = \arccos\left(\frac{3(L-ut)}{L}\right)$. Дальше вода уходит полностью, и стержень лежит на дне.



ОТВЕТ: $$\alpha(t) = \begin{cases} 0, & t \le \frac{2L}{3u} \\ \arccos\left(\frac{3(L-ut)}{L}\right), & \frac{2L}{3u} < t \le \frac{L}{u} \end{cases}.$$