ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2016 года

БИЛЕТ № 09 (МОСКВА, 7-9 классы): возможные решения.

Задание 1:

Вопрос: По дороге из школы ученик прошел половину пути со скоростью 4 км/ч, потом некоторое время постоял на месте (разговаривал с приятелем), а затем добежал до дома со скоростью 8 км/ч. Оказалось, что на разговор он потратил четверть всего времени пути. Какой была его средняя скорость на всем пути от школы до дома?

Задача: Два школьника почти весь урок бегали по школьному стадиону с постоянными по величине скоростями. Один пробегал круг за время $T = 2$ мин. При этом он каждые $t_1 = 3$ мин обгонял второго, который бежал медленнее. В середине урока второй, сразу после очередного обгона со стороны первого, развернулся и побежал по тому же кругу в другую сторону. Через какое время после этого они встретились?

Ответ на вопрос: Пусть полный путь школьника за общее время t равен s. Тогда $t = \frac{s}{2v_1} + \frac{t}{4} + \frac{s}{2v_2}$ поэтому средняя скорость $v_{ср} = \frac{s}{t} = \frac{3v_1v_2}{2(v_1+v_2)} = 4$ км/ч.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Пусть L – длина круга на стадионе, $v_{1,2}$ – скорости первого и второго школьников соответственно. Тогда $L = v_1T = (v_1 - v_2)t_1$. Из этого соотношения находим, что $v_2 = \frac{t_1 - T}{t_1}v_1$. После разворота второго школьника до встречи школьникам вместе нужно пробежать путь L, то есть искомое время $t = \frac{L}{v_1+v_2} = \frac{t_1}{2t_1 - T}\frac{L}{v_1} = \frac{t_1T}{2t_1 - T} = 1{,}5$ мин.

ОТВЕТ: $t = 1{,}5$ мин.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 2:

Вопрос: Если в морозную ночь положить на подставку ледяной брусок и перекинуть через него тонкую прочную проволоку, на концы которой подвесить два тяжелых груза, то через некоторое время можно обнаружить, что проволока частично прошла сквозь лед, и при этом лед над ней остался смерзшимся. Объясните это явление.

Задача: Пробирка объемом $V = 80$ см^3 на четверть заполнена льдом с температурой $t_1 = -18°C$. В нее медленно и аккуратно наливают воду с температурой $t_2 = +18°C$. Какой максимальный объем воды можно налить в пробирку (до ее наполнения)? Теплоёмкостью пробирки можно пренебречь. Удельная теплоёмкость воды $c = 4{,}2$ Дж/(г□К), удельная теплоемкость льда в два раза меньше ($c/2$), удельная теплота плавления льда $\lambda \approx 334$ Дж/г. Плотность льда $\rho_Л = 0{,}9$ г/см^3 меньше плотности воды $\rho_В = 1{,}0$ г/см^3.

Ответ на вопрос: Вес грузов натягивает проволоку и она создает значительное давление на поверхность льда. При боле высоком давлении температура плавления льда ниже, чем при атмосферном давлении, поэтому, несмотря на мороз, лед под проволокой тает, и проволока опускается вниз, выдавливая воду наверх, где вода при обычном давлении вновь замерзает.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: При доливании теплой воды лед нагревается до температуры $t_0 = 0°C$ и тает. При этом, поскольку $\rho_Л < \rho_В$, объем образовавшейся воды меньше, чем объем льда. К моменту наполнения пробирки в состоянии равновесия температура ее содержимого (льда и воды) должна равняться $t_0 = 0°C$. Обозначим объем воды, долитой в пробирку до е заполнения, $V_x \equiv x \cdot V$, и пусть Δm – масса растаявшего в процессе доливания льда. Тогда, поскольку лед и вода занимают весь объем пробирки, $xV + \frac{\Delta m}{\rho_B} + \frac{V}{4} - \frac{\Delta m}{\rho_Л} = V$, откуда получаем, что $\Delta m = \frac{\rho_B \rho_Л V}{\rho_B - \rho_Л}\left(x - \frac{3}{4}\right)$. Теперь составим уравнение теплового баланса: лед нагрелся и часть его растаяла за счет теплоты остывания воды: $xV\rho_B c_B(t_2 - t_0) = \frac{1}{4}V\rho_Л c_Л(t_0 - t_1) + \Delta m\lambda$. Подставляя сюда выражение для Δm, получаем уравнение для x (учтем сразу, что $t_0 = 0°C$ и что $-t_1 = t_2$):

$$x\rho_B c_B t_2 = \frac{1}{4}\rho_Л c_Л t_2 + \lambda\frac{\rho_B\rho_Л}{\rho_B - \rho_Л}\left(x - \frac{3}{4}\right) = 0 \Rightarrow x = \frac{\rho_Л}{4\rho_B}\frac{3\rho_B\lambda - (\rho_B - \rho_Л)c_Л t_2}{\rho_Л\lambda - (\rho_B - \rho_Л)c_B t_2} \approx 0{,}766.$$

Поэтому $V_x = x \cdot V \approx 61{,}3\,\text{см}^3$.

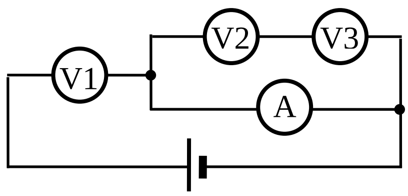
ОТВЕТ: $V_x \approx 61{,}3\,\text{см}^3$.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 3:

Вопрос: Напряжение на резисторе в схеме постоянного тока измеряется вольтметром. При подключении второго такого же вольтметра параллельно первому показания первого уменьшились.. О чем это свидетельствует?

Задача: Ученик обнаружил в лабораторном шкафу три одинаковых вольтметра, аккумулятор и амперметр и собрал из них цепь по схеме, показанной на рисунке. Оказалось, что амперметр показывает величину силы тока $I = 160$ мА, напряжение, измеренное первым вольтметром $U_1 = 15{,}8$ В, а второй и третий вольтметры показывают одинаковое напряжение $U_2 = U_3 = 0{,}04$ В.



Определите сопротивления приборов.

Ответ на вопрос: Это свидетельствует о неидеальности вольтметров – если бы внутреннее сопротивление вольтметров было бесконечно велико, подключение второго вольтметра не изменило бы напряжение. При конечном внутреннем сопротивлении параллельное подключение еще одного вольтметра уменьшает общее сопротивление участка, и соответственно уменьшает напряжение на этом участке (в цепи постоянного тока при неизменных источниках доля общего напряжения, приходящаяся на каждый участок, пропорциональна его сопротивлению).

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Сумма напряжений на втором и третьем вольтметрах равна напряжению на амперметре, поэтому внутреннее сопротивление амперметра $R_A = \frac{U_2 + U_3}{I} = 0{,}5$ Ом. Так как вольтметры одинаковы, то текущие через них токи пропорциональны напряжениям, и поэтому ток через второй вольтметр $I_2 = \frac{U_2}{U_1}I_1$ (где I_1 – ток через первый вольтметр). С другой стороны, $I_2 = I_1 - I$, откуда находим, что $I_1 = \frac{U_1}{U_1 - U_2}I$. Значит, внутреннее сопротивление вольтметра $R_V = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_1 - U_2}{I} = 98{,}5$ Ом.

ОТВЕТ: $R_A = \frac{U_2 + U_3}{I} = 0{,}5$ Ом, $R_V = \frac{U_1 - U_2}{I} = 98{,}5$ Ом.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 4:

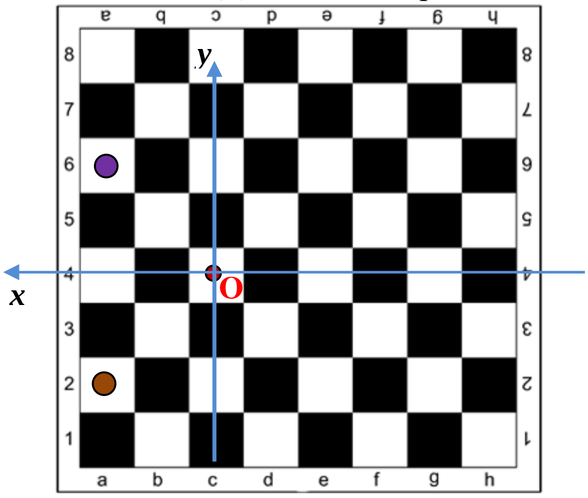
Вопрос: Если сесть на стул, держа спину ровно вдоль спинки, и попытаться плавно встать, не наклоняя верхнюю часть туловища вперед, то это сделать не удается. По какой причине? Ответ обосновать.

Задача: Цельную однородную шахматную доску массой $M = 200$ г поставили горизонтально на вертикальный тонкий стержень так, чтобы стержень упирался в доску под серединой клетки С4. На клетке А2 стоит король массой $m_1 = 100$ г. Определить, на какую клетку надо поставить пешку массой $m_2 = 50$ г, чтобы доска находилась в равновесии.

Ответ на вопрос: Чтобы встать со стула, нужно сначала «разгрузить» его, то есть перестать взаимодействовать с сиденьем. При этом человек опирался бы только на пол, и момент силы взаимодействия его с полом относительно точки опоры был бы близок к нулю. Если при этом не нагибать туловище вперед, то линия действия результирующей сил тяжести (вертикальная прямая, проходящая через центр масс) явно проходила бы через сиденье стула, и момент сил тяжести «усаживала» бы человека обратно на стул.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Доска может вращаться вокруг разных горизонтальных осей, проходящих



через точку опоры О. Поэтому для ее равновесия необходимо потребовать выполнения правила моментов относительно двух таких осей. Пусть длина стороны клетки доски равна a, а x и y – расстояния от точки опоры О до пешки по "горизонтали" и "вертикали" соответственно. Центр масс доски, как видно из рисунка, располагается от точки опоры на расстояниях $1{,}5a$ по "горизонтали" и $0{,}5a$ по "вертикали". Значит, уравнение моментов сил относительно оси x имеет вид: $m_1 g \cdot 2a = Mg \cdot 0{,}5a + m_2 g \cdot y$, откуда $y = \dfrac{4m_1 - M}{2m_2} a = +2a$. Уравнение моментов сил относительно оси y $m_1 g \cdot 2a + m_2 g \cdot x = Mg \cdot 1{,}5a \Rightarrow x = \dfrac{3M - 4m_1}{2m_2} a = +2a$. Значит, пешку надо поставить на поле А6.

ОТВЕТ: пешку надо поставить на поле А6.

Максимальная оценка: 18 баллов.

ИТОГО МАКСИМАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗА РАБОТУ: 100 баллов.