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

БИЛЕТ № 08 (УФА, 7-9 классы): возможные решения.

Задание 1:

Вопрос: По дороге из школы ученик дошел точно до середины своего пути со скоростью 5 км/ч, потом разговаривал с приятелем столько же времени, сколько потратил на первую половину пути, а затем добежал до дома со скоростью 10 км/ч. Какой была его средняя скорость на всем пути от школы до дома?

Задача: Во время тренировки гонщик на автомобиле проезжал круг за время $T = 190$ с. Второй гонщик, ехавший быстрее по тому же кругу, обгонял его каждые $t_1 = 665$ с. Переведя двигатель в более мощный режим, первый гонщик поехал в полтора раза быстрее, и тут же обогнал второго. Через какое время после этого он снова обгонит его, если их скорости будут неизменны?

Ответ на вопрос: Пусть полный путь школьника за общее время t равен s. Тогда $t = 2\cdot\frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2} = s\frac{2v_2 + v_1}{2v_1v_2}$. Значит, $v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + 2v_2} = 4$ км/ч.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Пусть L – длина круга на треке, $v_{1,2}$ – первоначальные скорости автомобилей первого и второго гонщиков. Тогда $L = v_1T = (v_2 - v_1)t_1$. Из этого соотношения находим, что $v_2 = v_1\left(1 + \frac{T}{t_1}\right)$. Время до второго обгона определяется из уравнения $L = (1{,}5v_1 - v_2)t_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{T}{t_1}\right)v_1t_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{T}{t_1}\right)\frac{L}{T}t_2$, из которого следует, что $t_2 = \frac{2t_1T}{t_1 - 2T} = 886\frac{2}{3}$ с.

ОТВЕТ: $t_2 = \frac{2t_1T}{t_1 - 2T} \approx 887$ с.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 2:

Вопрос: Если налить на небольшой кусок фанеры немного воды, поставить на него алюминиевую кастрюлю с мокрым снегом (температура которого около 0˚С), сильно посолить снег и размешать, то кастрюля примерзает к фанере. Объясните это явление.

Задача: При соблюдении некоторых условий можно получить при нормальном атмосферном давлении воду, имеющую температуру $t_1 = -10°C$. В $M = 0{,}5$ кг такой переохлаждённой воды, находящейся в калориметре, бросили кусочек льда массой $m = 50$ г с температурой $t_2 = -20°C$. Сколько льда будет в калориметре после установления теплового равновесия? Теплоёмкость калориметра $C_K = 195$ Дж/К. 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.

Ответ на вопрос: Снег при температуре около 0˚С представляет собой смесь воды и ледяных кристалликов, а при растворении соли в воде температура плавления льда понижается (взаимодействие молекул воды с ионами, образующимися из молекул соли, разрушает решетку льда), и ледяные кристаллы плавятся, забирая у окружающих веществ теплоту плавления. В результате температура кастрюли сильно понижается, и вода между кастрюлей и фанерой замерзает.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Переохлажденная вода – это неустойчивое состояние воды, и при любом возмущении она сразу начинает замерзать, прогреваясь до равновесной температуры $t_0 = 0°C$. Таким образом, процесс остановится, когда вся вода, весь лед и калориметр прогреются до этой температуры за счет теплоты кристаллизации. Составим уравнение теплового баланса:

$$\lambda\Delta M = cM(t_0 - t_1) + \frac{c}{2}m(t_0 - t_2) + C_K(t_0 - t_1)$$

(здесь ΔM – масса воды, замерзшей в процессе установления равновесия). Следовательно, полная масса льда в калориметре после установления теплового равновесия

$$m' = m + \Delta M = m + \frac{1}{\lambda}\left[cM(t_0 - t_1) + \frac{c}{2}m(t_0 - t_2) + C_K(t_0 - t_1)\right] = 125\text{ г.}$$

ОТВЕТ: $m' = 125$ г.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 3:

Вопрос: Четыре одинаковых резистора соединены последовательно и подключены к источнику напряжения с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Потом эти же резисторы подключили к тому же источнику, соединив параллельно. Во сколько раз изменилась мощность тепловых потерь на резисторах?

Задача: Ученик подключил к батарейке амперметр и вольтметр, соединенные последовательно. При этом вольтметр показал напряжение $U_1 = 5{,}6$ В. Запомнив показания амперметра и вольтметра, ученик подключил параллельно вольтметру второй точно такой же вольтметр и обнаружил, что показания вольтметров стали равными $U_2 = 4{,}2$ В. После этого он разобрал цепь и подключил амперметр прямо к полюсам батарейки. Во сколько раз сила тока, измеряемая амперметром, в этом случае отличалась от первоначальной?

Ответ на вопрос: При подключении нагрузки с сопротивлением R_H к источнику напряжения U с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением мощность тепловых потерь $P = \dfrac{U^2}{R_H}$.

Когда нагрузкой являются последовательно соединенные резисторы, их общее сопротивление было в 4 раза больше сопротивления одного резистора ($R_H = 4R$). При параллельном соединении общее сопротивление стало в 4 раза меньше сопротивления одного резистора ($R_H = \dfrac{R}{4}$). Следовательно, во втором случае мощность тепловых потерь выросла в 16 раз.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Пусть R – сопротивление вольтметра, а r – сумма внутреннего сопротивления источника и сопротивления амперметра. Тогда, согласно закону Ома, первоначальная сила тока $I_1 = \dfrac{U}{R + r}$ (где U – напряжение на клеммах источника при разомкнутой цепи, или ЭДС источника), а $U_1 = I_1 R = \dfrac{R}{R + r}U$. После подключения второго вольтметра сопротивление пары вольтметров стало равно $\dfrac{R}{2}$, и теперь $U_2 = \dfrac{R}{R + 2r}U$. Значит, $\dfrac{U_1}{U_2} = \dfrac{R + 2r}{R + r} \Rightarrow R = r\dfrac{2U_2 - U_1}{U_1 - U_2}$. Следовательно, первоначальная сила тока $I_1 = \dfrac{U_1 - U_2}{U_2}\dfrac{U}{r}$. При подключении амперметра прямо к полюсам батарейки $I_3 = \dfrac{U}{r} = \dfrac{U_2}{U_1 - U_2}I_1 = 3I_1$.

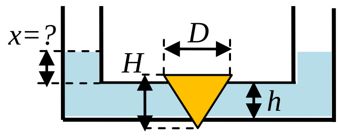
ОТВЕТ: сила тока стала больше в три раза.

Максимальная оценка: 18 баллов.

Задание 4:

Вопрос: В воде плавает кусок льда с вмерзшей в него железной гайкой. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лед полностью растает? Ответ объяснить.

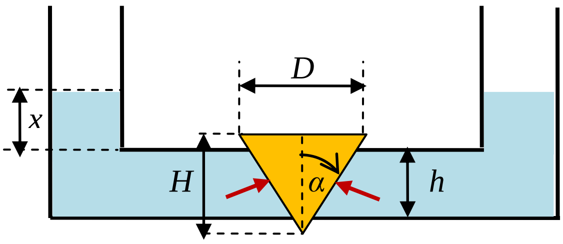
Задача: В средней части U–образной трубки квадратного сечения $h \times h = 4 \times 4\,\text{см}^2$ есть два отверстия, которые закрываются пробкой в форме треугольной призмы (см. рисунок). Размеры сечения пробки $D = 6$ см и $H = 5$ см, толщина пробки (в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка) тоже равна H. До какого уровня выше горизонтального участка (с обеих сторон) нужно наполнить трубку водой, чтобы вода начала вытекать через отверстия? Плотность вещества пробки в два раза больше плотности воды.



Ответ на вопрос: Плавающий кусок льда с гайкой вытесняет из-под уровня воды объем, равный отношению массы льда и гайки к плотности воды (поскольку сила Архимеда должна уравновесить их вес). При таянии льда образуется вода, объем которой равен отношению массы льда к плотности воды, а гайка после этого утонет и будет вытеснять объем воды, равный ее собственному объему, то есть отношению массы гайки к плотности железа, которая заметно больше плотности воды. Следовательно, общий объем под уровнем воды уменьшится на величину $\Delta V = m_{гайки}\left(\frac{1}{\rho_В} - \frac{1}{\rho_Ж}\right)$, и уровень воды в сосуде понизится.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Вода начнет вытекать из отверстия, когда ее давление приподнимет пробку. Для этого вертикальная составляющая сил давления должна стать больше веса пробки.



Величина давления, создаваемого жидкостью, различна в разных точках боковой поверхности пробки – она изменяется линейно с глубиной. Ясно, что среднее давление $p_{ср} = \rho g\left(x + \frac{h}{2}\right)$. Площадь боковой поверхности пробки, контактирующей с водой с каждой стороны, равна $S = \frac{h^2}{\cos(\alpha)}$. Значит, каждая из двух сил давления $F = p_{ср}S = \rho g\left(x + \frac{h}{2}\right)\frac{h^2}{\cos(\alpha)}$. Вес пробки $mg = 2\rho \cdot \frac{1}{2}DH^2 g = \rho DH^2 g$, и условие начала вытекания воды $\rho DH^2 g = 2F\sin(\alpha)$. Из этого условия находим: $2x = D\frac{H^2}{h^2 tg(\alpha)} - h$. С другой стороны, $tg(\alpha) = \frac{D}{2H}$, и поэтому

$$x = \frac{H^3}{h^2} - \frac{h}{2} = \frac{93}{16} \text{см.}$$

ОТВЕТ: до уровня $x = \frac{H^3}{h^2} - \frac{h}{2} = 8\frac{13}{16}$ см.

Максимальная оценка: 18 баллов.

ИТОГО МАКСИМАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗА РАБОТУ: 100 баллов.