МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

олимпиады школьников
«ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»
по физике

2015/2016 учебный год

ЗАДАНИЕ ОЧНОГО (ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО) ЭТАПА. 7, 8 и 9 классы.

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 $t = 2 \cdot \frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2} = s\frac{2v_2 + v_1}{2v_1 v_2}$. Значит, $v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + 2v_2} = 4$ 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 $L = v_1 T = (v_2 - v_1)t_1$. Из этого соотношения находим, что $v_2 = v_1\left(1 + \frac{T}{t_1}\right)$. Время до второго обгона определяется из уравнения $L = (1{,}5v_1 - v_2)t_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{T}{t_1}\right)v_1 t_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{T}{t_1}\right)\frac{L}{T}t_2$, из которого следует, что $t_2 = \frac{2t_1 T}{t_1 - 2T} = 886\frac{2}{3}$ с.

ОТВЕТ: $t_2 = \frac{2t_1 T}{t_1 - 2T} \approx 887$ 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 $U_1=I_1R=\dfrac{R}{R+r}U$. 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 $I_3=\dfrac{U}{r}=\dfrac{U_2}{U_1-U_2}I_1=3I_1$.

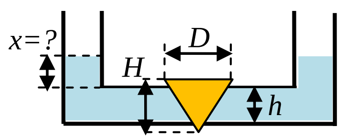
ОТВЕТ: сила тока стала больше в три раза.

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.

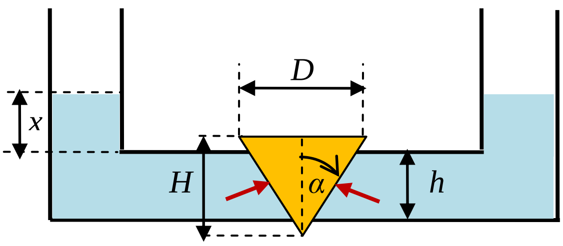
Задача: В средней части U–образной трубки квадратного сечения $h\times h=4\times 4\,\text{см}^2$ есть два отверстия, которые закрываются пробкой в форме треугольной призмы (см. рисунок). Размеры сечения пробки $D=6$ см и $H=5$ см, толщина пробки (в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка) тоже 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 $x = \frac{H^3}{h^2} - \frac{h}{2} = \frac{93}{16}$ 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.

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 $v_{ср} = \frac{s}{t} = \frac{3v_1 v_2}{2(v_1 + v_2)} = 4$ км/ч.

Максимальная оценка: 7 баллов.

Решение задачи: Пусть L – длина круга на стадионе, $v_{1,2}$ – скорости первого и второго школьников соответственно. Тогда $L = v_1 T = (v_1 - v_2)t_1$. 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 $t = \frac{L}{v_1 + v_2} = \frac{t_1}{2t_1 - T}\frac{L}{v_1} = \frac{t_1 T}{2t_1 - T} = 1{,}5$ 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, $xV + \frac{\Delta m}{\rho_В} + \frac{V}{4} - \frac{\Delta m}{\rho_Л} = V$, откуда получаем, что $\Delta m = \frac{\rho_В \rho_Л V}{\rho_В - \rho_Л}\left(x - \frac{3}{4}\right)$. Теперь составим уравнение теплового баланса: лед нагрелся и часть его растаяла за счет теплоты остывания воды: $xV\rho_В c_В (t_2 - t_0) = \frac{1}{4}V\rho_Л c_Л (t_0 - t_1) + \Delta m \lambda$. 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 $V_x = x \cdot V \approx 61{,}3\,\text{см}^3$.

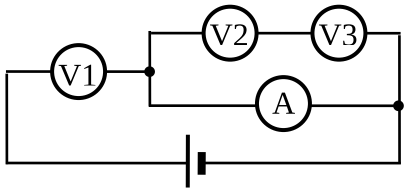
ОТВЕТ: $V_x \approx 61{,}3\,\text{см}^3$.

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:

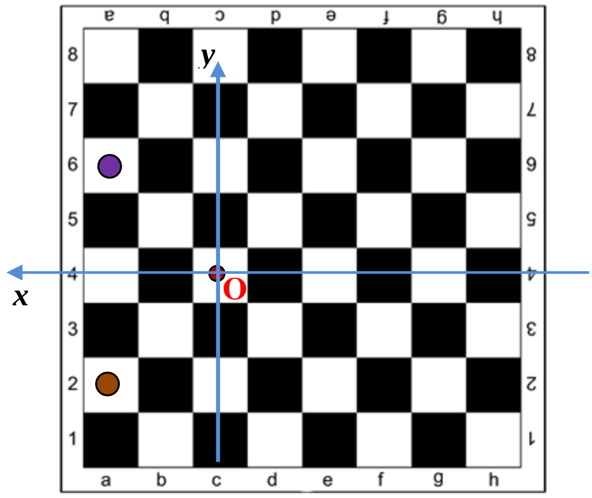
Вопрос: Если сесть на стул, держа спину ровно вдоль спинки, и попытаться плавно встать, не наклоняя верхнюю часть туловища вперед, то это сделать не удается. По какой причине? Ответ обосновать.

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.

2015/2016 учебный год

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОБЕДИТЕЛЕЙ И ПРИЗЁРОВ[2]

олимпиады школьников

«ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

по физике

5-9 классы

ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ:

*От **81** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР:

*От **55** баллов до **80** баллов включительно.*

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

ПОБЕДИТЕЛЬ (дипломант I степени):

*От **88** баллов включительно и выше.*

ПРИЗЁР (дипломант II степени):

*От **80** баллов до **87** баллов включительно.*

---

[2] *Утверждены на заседании жюри олимпиады школьников «Покори Воробьевы горы!» по физике*