

**10-11 классы**

**Вариант 2.**

**Задача 1. (6 баллов)** Колесо подняли на высоту  $H = 500$  м, раскрутили до угловой скорости  $\omega = 15,7$  рад/с и затем отпустили без толчка. Сколько оборотов сделает колесо за время падения? Считать, что радиус колеса  $R \ll H$ . Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ округлите до целых.

Ответ. 25.

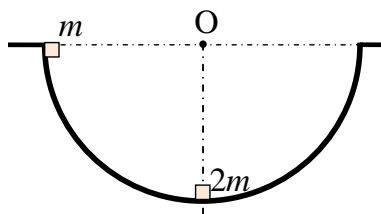
Решение. Время падения колеса  $t = NT = N \cdot \frac{2\pi}{\omega}$ . Т.к.  $H = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow N = \frac{\omega}{\pi} \sqrt{\frac{H}{2g}} = 25$ .

**Задача 2. (6 баллов)** В одном из фантастических рассказов описывалась планета, имеющая, такой же радиус  $R = 6400$  км, как и Земля. Однако, в отличие от Земли, ускорение свободного падения на полюсе этой планеты было равно  $g = 2,5$  м/с<sup>2</sup>, а на экваторе все тела вообще оказывались невесомыми. За какое время эта планета совершает один полный оборот вокруг собственной оси? Ответ дайте в минутах (мин), округлив его до целых.

Ответ. 168

Решение. Для тела, находящегося на экваторе:  $mg - N = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$ . Т.к.  $N = 0$ , по условию, то  $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} = 10053$  с = 167,55 мин.

**Задача 3. (6 баллов)** На краю полусферической выемки диаметром  $D = 90$  см удерживается маленький кубик (см. рисунок). Кубик отпускают без начальной скорости. В нижней точке выемки кубик сталкивается с другим таким же по размеру, но вдвое большей массы кубиком, и прилипает к нему. На какую максимальную высоту относительно точки столкновения поднимутся эти кубики? Трением пренебречь. Ответ дайте в сантиметрах (см), округлив его до целых.



Ответ. 5

Решение. Из закона сохранения энергии найдем скорость шарика в нижней точке.

$mgR = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gR}$ , где  $R$  – радиус выемки. При столкновении  $mv + 0 = 3mu$ . Тогда

скорость кубиков после столкновения  $u = \frac{v}{3} = \frac{\sqrt{2gR}}{3}$ . И еще раз запишем закон сохранения

энергии.  $\frac{3mu^2}{2} = 3mgh \Rightarrow h = \frac{u^2}{2g} = \frac{R}{9} = \frac{D}{18} = 5 \text{ см.}$

**Задача 4. (10 баллов)** Девочка с мячом в руках находилась на вершине горки, наклоненной под углом  $\alpha = 15^\circ$  к горизонту. Девочка уронила мяч (начальная скорость мяча равна нулю), и он ударился о поверхность горки, отскочил от нее, затем снова ударился, и т.д. Все удары мяча по поверхности горки абсолютно упругие. Время между вторым и третьим ударами мяча равно  $t = 1 \text{ с.}$  С какой высоты упал мяч? Высоту считать от точки броска до точки удара о горку. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивлением воздуха пренебречь. Ответ дайте в сантиметрах (см), округлив его до целых.

Ответ. 125

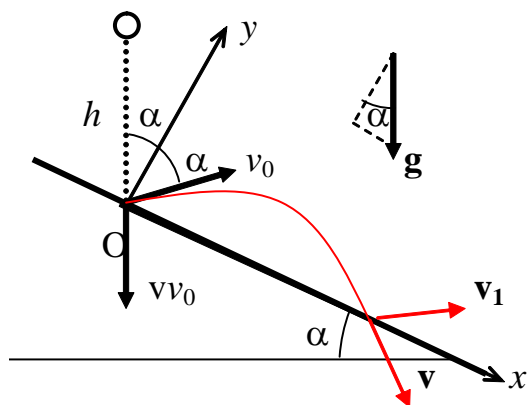
Решение. Скорость мяча в момент первого удара о поверхность  $v_0 = \sqrt{2gh}$ . Выберем ось  $Ox$  вдоль наклонной поверхности горки, а ось  $Oy$  перпендикулярно ей. Уравнение движения мяча после удара о горку (см. рис.):  $y(t) = v_0 t \cos \alpha - g \cos \alpha \cdot \frac{t^2}{2}$ . В момент падения

мяча на наклонную плоскость  $y(t_1) = 0$ . Тогда  $v_0 t_1 \cos \alpha - g \cos \alpha \cdot \frac{t_1^2}{2} = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{2v_0}{g}$

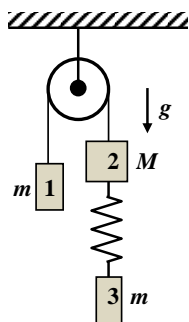
– время между первым и вторым ударами. В момент удара проекция скорости мяча на ось  $y$  равна  $v_y(t_1) = v_0 \cos \alpha - g \cos \alpha \cdot t_1 = -v_0 \cos \alpha$ . При упругом ударе  $v_{1y} = -v_y(t_1) = v_0 \cos \alpha$ , где  $v_{1y}$  – проекция на ось  $y$  скорости мяча  $\vec{v}_1$  после второго удара. Время движения мяча между вторым и третьим ударами зависит только от  $y$ -й компоненты скорости  $\vec{v}_1$ , которая не меняется в процессе столкновений. Это означает, что

время между вторым и третьим ударами мяча  $t = t_1 = \frac{2v_0}{g}$  и не зависит от  $\alpha$ .

$$\Rightarrow h = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{gt^2}{8} = 1,25 \text{ м} = 125 \text{ см.}$$



**Задача 5. (10 баллов)** Механическая конструкция состоит из неподвижного блока, на который с помощью невесомой и нерастяжимой нити и пружины подвешены три груза, как показано на рисунке. Грузы 1 и 3 имеют одинаковую массу  $m$ , масса  $M$  груза 2 может отличаться от массы  $m$ . Вначале груз 2 движется с ускорением  $a = 2,5 \text{ м/с}^2$ , при этом длина пружины остается неизменной. Внезапно нить, соединяющая грузы 1 и 2, обрывается. Каким станет ускорение груза 2 сразу после обрыва нити? Массой пружины пренебречь. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Ответ дайте в  $\text{м/с}^2$ , округлив его до десятых.



Ответ. 21,3

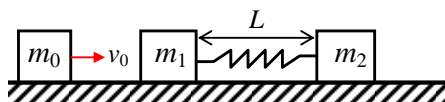
Решение. Обозначим силу натяжения нити  $T$ , силу упругости пружины  $F_{\text{упр}}$ , а ускорение грузов  $a$ . Тогда

$$\begin{cases} T - mg = ma, \\ -T + Mg + F_{\text{упр}} = Ma, \\ mg - F_{\text{упр}} = ma. \end{cases} \Rightarrow a = \frac{Mg}{2m + M}, \Rightarrow \frac{2m + M}{M} = \frac{g}{a}, \Rightarrow m = \frac{3}{2} M.$$

Сразу после обрыва нити, соединяющей грузы 1 и 2, на груз 2 будут действовать сила упругости пружины  $F_{\text{упр}} = m(g - a) = \frac{3}{2}M(g - a)$  и сила тяжести  $Mg$ , направленные вниз.

Тогда ускорение груза 2 равно  $a_2 = \frac{F_{\text{упр}} + Mg}{M} = \frac{3}{2}(g - a) + g = 21,25 \text{ м/с}^2$ .

**Задача 6. (10 баллов)** Два бруска массами  $m_1 = 0,6 \text{ кг}$  и  $m_2 = 1,2 \text{ кг}$ , соединенные легкой недеформированной пружиной длины  $L = 31 \text{ см}$ , покоятся на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). Жесткость пружины  $k = 250 \text{ Н/м}$ . На брусок массой  $m_1$  налетает со скоростью  $v_0 = 2 \text{ м/с}$  брусок массой  $m_0$  и упруго сталкивается с ним. После столкновения брусок  $m_0$  отскакивает в противоположную сторону со скоростью  $v_1 = 0,5 \text{ м/с}$ . Масса  $m_0$  неизвестна. Чему равно максимальное расстояние между брусками  $m_1$  и  $m_2$  в процессе их дальнейшего движения? Ответ дайте в сантиметрах (см), округлив его до целых.



Ответ. 37

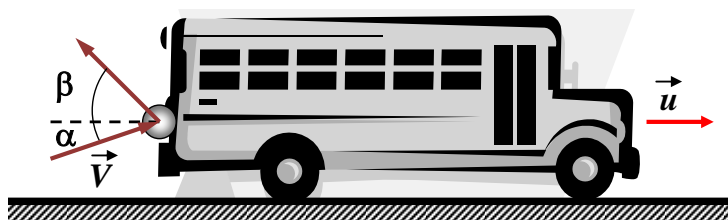
Решение. Рассмотрим сначала упругое столкновение брусков  $m_0$  и  $m_1$ .

$$\begin{cases} m_0 v_0 = m_1 v - m_0 v_1, \\ \frac{m_0 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_0 v_1^2}{2}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_0 (v_0 + v_1) = m_1 v, \\ m_0 (v_0^2 - v_1^2) = m_1 v^2. \end{cases}$$

Разделим второе уравнение на первое и получим скорость бруска  $m_1$  сразу после столкновения.  $v = v_0 - v_1 = 1,5$  м/с. После столкновения система брусков с пружиной начнет колебаться. Запишем законы сохранения импульса и энергии этой системы, для начального момента и момента, когда расстояние между брусками станет максимальным (при этом скорости брусков будут одинаковы и равны  $u$ , а максимальная деформация пружины  $x$ ).

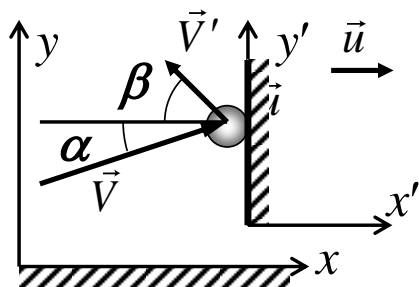
$$\begin{cases} m_1 v = (m_1 + m_2) u, \\ \frac{m_1 v^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2} + \frac{k x^2}{2}. \end{cases} \Rightarrow x = v \sqrt{\frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2) k}} = 0,06 \text{ м} = 6 \text{ см}. L_{\max} = L + x = 37 \text{ см}.$$

**Задача 7. (17 баллов)** Мальчик бросил мяч в заднюю вертикальную стенку отъезжающего автобуса. В момент удара угол, под которым мяч подлетает к стенке, составляет  $\alpha = 15^\circ$  с нормалью к стенке, а угол, под которым он отлетает от стенки,  $\beta = 45^\circ$  с нормалью (см. рисунок). Скорость мяча в момент удара о стенку  $V = 15$  м/с. Чему равна скорость автобуса  $u$  в момент удара? Считать время удара очень малым, а сам удар абсолютно упругим. Значения скорости мяча  $V$  и углов  $\alpha$  и  $\beta$  даны в неподвижной системе отсчета, связанной с землей. Векторы скоростей мяча до и после удара, а также вектор скорости автобуса лежат в вертикальной плоскости. Ответ дайте в метрах в секунду (м/с), округлив его до десятых.

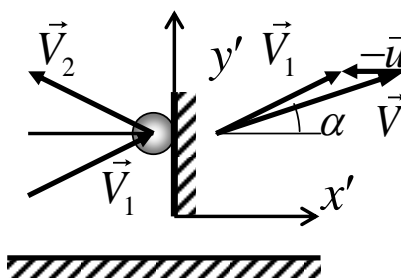


Ответ. 5,3

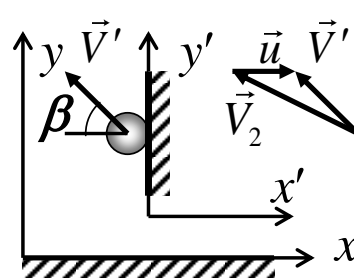
Решение. Рассмотрим движение мяча в двух системах отсчета: в неподвижной системе отсчета (НСО)  $xu$ , связанной с землей, и в движущейся системе отсчета (ДСО), связанной с автобусом. Обозначим в НСО скорость автобуса  $\vec{u}$ , скорость мяча в момент удара  $\vec{V}$ , а после удара  $\vec{V}'$  (рис а).



а) в неподвижной С.О



б) в движущейся С.О



в) в неподвижной С.О

Отборочный (заочный) онлайн-этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету Физика

В ДСО относительная скорость мяча  $\vec{V}_1 = \vec{V} - \vec{u}$  (рис. 6).

$$\Rightarrow \begin{cases} x' : V_{1x} = V \cos \alpha - u, \\ y' : V_{1y} = V \sin \alpha. \end{cases}$$

После упругого отражения от стенки скорость мяча  $\vec{V}_2$  сохраняет свой модуль и угол падения равен углу отражения. Тогда

$$\Rightarrow \begin{cases} x' : V_{2x} = -V_{1x} = -V \cos \alpha + u, \\ y' : V_{2y} = V_{1y} = V \sin \alpha. \end{cases}$$

Перейдем снова в НСО (рис в).  $\vec{V}' = \vec{V}_2 + \vec{u}$ .

$$\Rightarrow \begin{cases} x : V'_x = V_{2x} + u = -V \cos \alpha + 2u, \\ y : V'_y = V_{2y} = V \sin \alpha. \end{cases}$$

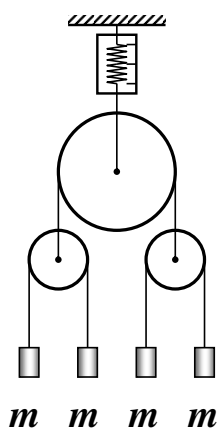
Т.к. мяч отлетает влево под углом  $\beta$ , то  $V'_x < 0$  и

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{|V'_y|}{|V'_x|} = \frac{V \sin \alpha}{|-V \cos \alpha + 2u|} = \frac{V \sin \alpha}{V \cos \alpha - 2u},$$

$$\Rightarrow u = \frac{V(\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta - \sin \alpha)}{2 \operatorname{tg} \beta} = \frac{V \sin(\beta - \alpha)}{2 \sin \beta} = \frac{V \sin 30^\circ}{2 \sin 45^\circ} = \frac{V}{2\sqrt{2}} = 5,3 \text{ м/с}.$$

**Задача 8. (18 баллов)** Механическая конструкция, состоящая из трех блоков и четырех грузов, подвешена к динамометру, как показано на рисунке. Массы грузов равны  $m = 22$  г. Блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, трение отсутствует. На один из грузов села бабочка, в результате показания динамометра изменились на  $\Delta F = 0,08$  Н. Чему равна масса бабочки? Показания динамометра снимают, когда колебания пружины прекращаются. Массой пружины динамометра пренебречь. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ дайте в граммах (г), округлив его до целых.

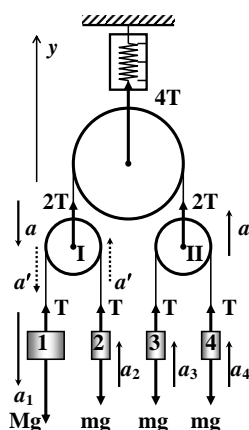
Отборочный (заочный) онлайн-этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету Физика



Ответ. 11

Решение. Так как в начальном положении грузы не движутся, то динамометр показывает общий вес грузов  $F_1 = 4mg$ .

Рассмотрим теперь систему грузов, изображенную на рисунке. Для удобства, перенумеруем грузы. Пусть массы грузов 2, 3 и 4 равны  $m$ , а масса груза 1 –  $M = m + m_0$ , где  $m_0$  – масса бабочки. Запишем уравнения движения грузов.



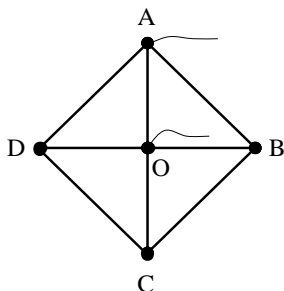
$$\begin{cases} -T + Mg = Ma_1, \\ T - mg = ma_2, \\ T - mg = ma_3, \\ T - mg = ma_4. \end{cases} \Rightarrow a_2 = a_3 = a_4 = a.$$

Блок II (с грузами 3 и 4) поднимается с ускорением  $a$ , соответственно блок I (с грузами 1 и 2) опускается с ускорением  $a$ . Обозначим  $a'$  – ускорение грузов 1 и 2 относительно блока I. Ускорение груза 2 можно записать, как  $\vec{a}_2 = \vec{a}' + \vec{a}$ . Т.к.  $|\vec{a}_2| = a$ , то, проецируя это соотношение на ось  $y$ , получим  $a' = a_2 + a = 2a$ . Ускорение груза 1 запишем, как  $\vec{a}_1 = \vec{a}' + \vec{a}$ .  $\Rightarrow a_1 = a' + a = 3a$ . Тогда система уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} Mg - T = 3Ma, \\ T - mg = ma. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \frac{(M - m)g}{3M + m}, \\ T = \frac{4Mmg}{3M + m}. \end{cases} \Rightarrow F_2 = 4T = \frac{16Mmg}{3M + m}.$$

$$\Rightarrow \Delta F = F_2 - F_1 = \frac{4mg(M - m)}{3M + m} = \frac{4mm_0g}{4m + 3m_0}. \Rightarrow m_0 = \frac{4m\Delta F}{4mg - 3\Delta F} = 0,011 \text{ кг} = 11 \text{ г}.$$

**Задача 9. (17 баллов)** Проволочный каркас, изображенный на рисунке, имеет форму квадрата ABCD с половинками диагоналей квадрата АО, ВО, СО и ДО. На клеммы А и О полученной электрической цепи подается постоянное напряжение. В результате на участке АО выделяется электрическая мощность  $P_{АО} = 10$  Вт. Какая мощность при этом выделяется на участке цепи АВ? Известно, что все участки цепи изготовлены из медной проволоки с одинаковой площадью сечения. Ответ дайте в ваттах (Вт), округлив его до целых.



Ответ. 3

Решение. Обозначим  $R$  сопротивления кусочков цепи АО, ВО, СО и ДО, тогда сопротивления сторон AD, AB, BC и DC будут равны  $R_1 = R\sqrt{2}$ , и перерисуем цепь (см. рис. а).

При этом учтем, что в силу симметрии, потенциалы точек  $C_1$  и  $C_2$  равны, и, если эти точки склеить, то получится исходная цепь. Далее делаем эквивалентные преобразования цепи

(см. рис. б и рис. в), при этом  $R_2 = 2R + R_1 = R(2 + \sqrt{2})$ ,  $R_3 = \frac{RR_2}{R + R_2} = \frac{R}{7}(4 + \sqrt{2})$ .

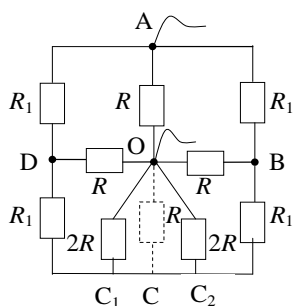


Рис. а

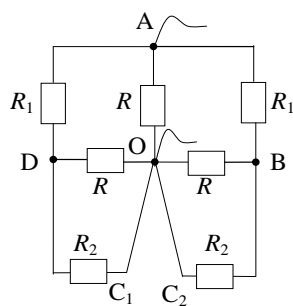


Рис. б

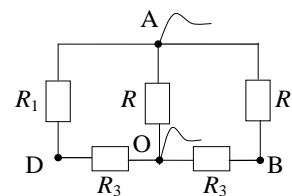


Рис. в

Т.к. на участках АВ и ОВ течет одинаковый ток  $I$ , то мощности, выделяющиеся на этих участках, равны соответственно  $P_{AB} = I^2 R_1$  и  $P_{OB} = I^2 R_3$ ,  $\Rightarrow \frac{P_{AB}}{P_{OB}} = \frac{R_1}{R_3}$ . Мощность, выде-

Отборочный (заочный) онлайн-этап Олимпиады школьников «Шаг в будущее»  
по общеобразовательному предмету Физика

ляющаяся на участке АО, равна  $P_{AO} = \frac{U^2}{R}$ , где  $U$  – напряжение на клеммах АО. Учитывая,

что  $P_{AB} + P_{OB} = \frac{U^2}{R_1 + R_3}$ , получим, формулу для мощности, выделяющейся на участке АВ.

$$P_{AB} = \frac{U^2}{R_1 + R_3} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3} \Rightarrow P_{AB} = P_{AO} \cdot \frac{9\sqrt{2} - 8}{16} = 3 \text{ Вт.}$$

**Критерии оценивания заданий отборочного этапа**

Максимальная сумма баллов за 9 заданий варианта составляет 100 баллов.

За каждую задачу выставляется либо максимальный балл в случае правильного ответа, либо 0, если ответ отсутствует или неверный.