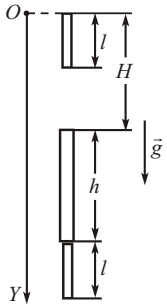
Вариант №1 (9-й класс)

Задача №1



Выберем начало системы координат на уровне карниза крыши задания.

Закон движения нижнего конца сосульки имеет вид

$$y = l + \tfrac{1}{2} g t^2.$$

Запишем закон движения в два момента времени: в момент времени t_1, когда нижний конец сосульки находился на уровне верхнего края окна ($y = H$), и в момент времени $t_2 = t_1 + t$, когда верхний конец сосульки оказался на уровне нижнего края окна ($y = H + h$):

$$H = l + \tfrac{1}{2} g t_1^2; \quad H + h = l + l + \tfrac{1}{2} g (t_1 + t)^2.$$

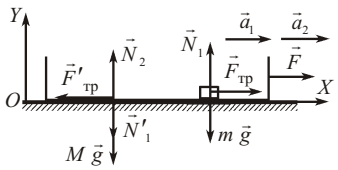
Отсюда находим:

$$l = \tfrac{1}{2} g t_1^2 + h = \tfrac{1}{2} g (t_1 + t)^2; \quad t_1 = \frac{2(l + h) - g t^2}{2 g t};$$

$$H = l + \frac{[2(l + h) - g t^2]^2}{8 g t^2} = 1{,}88 \text{ м}.$$

Ответ: $H = l + \dfrac{[2(l + h) - g t^2]^2}{8 g t^2} = 1{,}88$ м.

Задача №2



Поскольку по условию задачи шайба ударилась о левую стенку ящика, то ящик и шайба двигались с разными ускорениями.

При движении ящик будет увлекать за собой шайбу за счет силы трения, действующей между ними.

Запишем уравнения движения шайбы и ящика в проекциях на оси системы координат:

$$OX: \; m a_1 = F_{тр}; \quad OY: \; 0 = m g - N_1;$$

$$OX: \; M a_2 = F - F'_{тр}; \quad OY: \; 0 = M g - N_2 - N'_1,$$

где $F'_{тр} = F_{тр}$, $N_1 = N'_1$. Следовательно,

$$m a_1 = m g; \quad M a_2 = F - m g; \quad a_1 = g; \quad a_2 = \frac{F - m g}{M}.$$

Ускорение шайбы относительно ящика

$$\vec{a}_{1\,отн} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$$

будет направлено противоположно оси OX. При этом

$$a_{1\,отн} = a_2 - a_1 = \frac{F - m g}{M} - g = \frac{F - g(m + M)}{M}.$$

Следовательно, за время t относительно ящика шайба пройдет путь

$$S_{отн} = \frac{a_{1\,отн} t^2}{2} = \frac{[F - g(m + M)] t^2}{2 M} = 52{,}5 \text{ см},$$

который будет равен длине ящика.

Ответ: $l = \dfrac{[F - g(m + M)] t^2}{2 M} = 52{,}5$ см.

Задача №3

Поскольку горки, с которых соскользнули колобки, одинаковой высоты и колобки столкнулись у их основания, то скорости колобков в момент столкновения были равными по величине.

Очевидно, что в результате удара остановится более массивный колобок, а более легкий отскочит.

Запишем законы сохранения импульса и механической энергии при абсолютно упругом центральном ударе:

$$m = M - m_1; \quad \tfrac{1}{2} m^2 = \tfrac{1}{2} M^2 + \tfrac{1}{2} m_1^2,$$

где m, M – массы колобков ($M > m$); $\ , \ _1$ – скорости колобков в момент столкновения и скорость более легкого колобка после удара.

Отсюда получим:

$$_1 = \frac{M - m}{m}; \quad (m - M)^2 = \frac{(M - m)^2}{m}; \quad m(m - M) = (M - m)^2;$$

$$m^2 - m M = M^2 - 2 m M + m^2; \quad M = 3 m; \quad M/m = 3.$$

Ответ: $M/m = 3$.

Задача №4

Поскольку объем масла массой m равен

$$V = \frac{m}{\ },$$

а толщина слоя не должна превышать h, то минимальная площадь лужи

$$S_{min} = \frac{V}{h} = \frac{m}{h} = 2{,}38 \text{ м}^2.$$

При этом пленка будет содержать

$$N = \frac{h}{2 r} = 6 \cdot 10^4$$

молекулярных слоев.

Ответ: $S_{min} = \dfrac{m}{h} = 2{,}38$ м^2; $N = \dfrac{h}{2 r} = 6 \cdot 10^4$.

Задача №5

Когда хоккейную площадку залают водой, слой льда будет получать теплоту от воды при ее остывании от температуры t_2 до температуры плавления льда $t_{пл} = 0^\circ$C. Следовательно, вода отдаст льду количество теплоты

$$Q_{отд} = c_2 m_2 (t_2 - t_{пл}),$$

где $m_2 = {}_в h_2 S$ – масса воды (h_2 – толщина слоя воды; S – площадь хоккейной площадки).

Это количество теплоты перейдет ко льду: часть

$$Q_{л\,нагр} = c_1 m_1 (t_{пл} - t_1)$$

(где $m_1 = {}_л h S$ – масса льда) пойдет на нагревание льда от температуры t_1 до температуры плавления $t_{пл}$ и часть

$$Q_{пл} = m_1$$

на плавление льда.

Записав уравнение теплового баланса

$$Q_{л\,нагр} = Q_{пл} + Q_{отд}$$

в виде

$$c_1 m_1 (t_{пл} - t_1) = m_л + m_2 c_2 (t_2 - t_{пл}),$$

найдем массу налитой воды:

$$m_2 = \frac{m_1 [c_1 (t_{пл} - t_1) -]}{c_2 (t_2 - t_{пл})} = \frac{{}_л h S [c_1 (t_{пл} - t_1) -]}{c_2 (t_2 - t_{пл})}.$$

Следовательно, минимальная толщина воды, необходимая для таяния льда,

$$h_{min} = h_2 = \frac{m_2}{{}_в S} = h = \frac{{}_л S [c_1 (t_{пл} - t_1) -]}{{}_в c_2 (t_2 - t_{пл})} = 12 \text{ см}.$$

Ответ: $h_{min} = h = \dfrac{{}_л S [c_1 (t_{пл} - t_1) -]}{{}_в c_2 (t_2 - t_{пл})} = 12$ см.

Задача №6

При последовательном соединении лампочек их общее сопротивление

$$R_{общ} = n R,$$

где $n = 2015$.

При этом потребляемая ими мощность и мощность, потребляемая одной лампочкой,

$$N = \frac{U^2}{R_{общ}} = \frac{U^2}{n R}; \quad N_1 = \frac{N}{n} = \frac{U^2}{n^2 R}.$$

Поскольку номинальная мощность лампочки

$$N_{ном} = \frac{U^2}{R},$$

то мощность, выделяющаяся на каждой лампочке в гирлянде, собранной учеником, меньше номинальной в

$$N_{ном}/N_1 = n^2 = 4060225 \text{ раз}.$$

Ответ: $N_{ном}/N_1 = 4060225$.

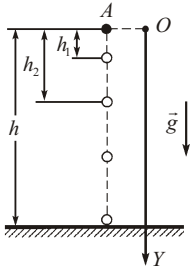
Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №2 (9-й класс)

Задача №1

Закон движения каждой капли будет иметь вид

$$y = \tfrac{1}{2} g t^2. \qquad (1)$$



Запишем закон движения (1) для первой капли в три момента времени: в момент t, когда вторая капля отделяется от крыши здания:

$$h_1 = \tfrac{1}{2} g t^2; \qquad (2)$$

в момент $2t$, когда третья капля отделяется от крыши здания:

$$h_2 = \tfrac{1}{2} g (2t)^2; \qquad (3)$$

в момент $4t$, когда пятая капля отделяется от крыши здания:

$$h = \tfrac{1}{2} g (4t)^2. \qquad (4)$$

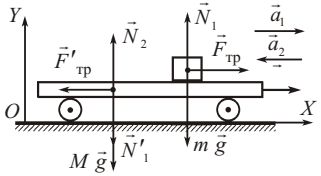
Расстояние между третьей и четвертой каплей в момент удара первой о землю будет равно расстоянию между положениями первой капли в моменты времени t и $2t$.

Из уравнений (2) (4) получим:

$$g t^2 = \tfrac{1}{8} h; \quad h = h_2 - h_1 = \tfrac{1}{2} g (2t)^2 - \tfrac{1}{2} g t^2 = \tfrac{3}{2} g t^2 = \tfrac{3}{16} h = 3 \text{ м}.$$

Ответ: $h = \tfrac{3}{16} h = 3$ м.

Задача №2



Тележка будет увлекать за собой груз за счет силы трения, действующей между ними.

Уравнения движения груза и тележки в проекциях на оси системы координат:

$$OX: \; m a_1 = F_{тр}; \quad OY: \; 0 = m g - N_1;$$

$$OX: \; M a_2 = F'_{тр}; \quad OY: \; 0 = M g - N_2 - N'_1,$$

где $F'_{тр} = F_{тр}$, $N_1 = N'_1$. Следовательно,

$$m a_1 = m g; \quad M a_2 = m g; \quad a_1 = g; \quad a_2 = m g / M.$$

Начальная скорость груза и его ускорение относительно тележки

$$\vec{v}_{1\,отн} = \vec{v}_0; \quad \vec{a}_{1\,отн} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2 = g - \frac{m g}{M} = g \frac{M - m}{M},$$

причем $\vec{v}_{1\,отн}$ будет направлена противоположно оси OX, а $\vec{a}_{1\,отн}$ по оси OX, т.е. относительно тележки груз будет двигаться равнозамедленно и пройдет путь до остановки

$$S_{отн} = \frac{v_{1\,отн}^2}{2 a_{1\,отн}} = \frac{M v_0^2}{2 g (M - m)}.$$

Следовательно, максимальная длина тележки, при которой груз с нее соскользнет,

$$l_{max} = S_{отн} = \frac{M v_0^2}{2 g (M - m)} = 0{,}93 \text{ м}.$$

Ответ: $l_{max} = \dfrac{M v_0^2}{2 g (M - m)} = 0{,}93$ м.

Задача №3

Записав уравнение движения первого козленка $x = \tfrac{1}{2} a t^2$ в моменты времени $t_1 = 3$ с и $t_2 = 4$ с, найдем путь, который пробежал козленок за четвертую секунду:

$$S = x_2 - x_1 = \tfrac{1}{2} a t_2^2 - \tfrac{1}{2} a t_1^2 = \tfrac{1}{2} a (t_2^2 - t_1^2).$$

Двигаясь с ускорением

$$a = \frac{2S}{t_2^2 - t_1^2},$$

первый козленок за время t приобрел скорость

$$v_1 = a t = \frac{2S}{t_2^2 - t_1^2} t.$$

На основании закона сохранения импульса

$$m v_1 = m v_2 + 2 m v$$

найдем скорость второго козленка перед столкновением

$$v_2 = v_1 - 2 v = \frac{2S}{t_2^2 - t_1^2} t - 2 v = 8 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_2 = \dfrac{2S}{t_2^2 - t_1^2} t - 2 v = 8$ м/с, где $t_1 = 3$ с, $t_2 = 4$ с.

Задача №4

Поскольку объем серебра массой m равен

$$V = \frac{m}{\rho},$$

то толщина слоя серебра, покрывающего поверхность площадью S,

$$h = \frac{V}{S} = \frac{m}{\rho S}.$$

Следовательно, толщина атомного слоя, равная диаметру атомов,

$$d = \frac{h}{N} = \frac{m}{\rho S N} = 3{,}3 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Ответ: $d = \dfrac{m}{\rho S N} = 3{,}3 \cdot 10^{-10}$ м.

Задача №5

Когда каток зальют водой, слой льда будет получать теплоту от воды при ее остывании до температуры 0°C и при ее замерзании. Толщина слоя льда будет увеличиваться до тех пор, пока его конечная температура не станет равной 0°C.

Следовательно, вода отдаст льду количество теплоты

$$Q_{отд} = Q_{в\,ост} + Q_{в\,зам},$$

где

$$Q_{в\,ост} = c_2 m_2 (t_2 - \quad)$$

количество теплоты, выделившейся при остывании воды массой m_2 до температуры 0°C,

$$Q_{в\,зам} = \lambda m_2$$

количество теплоты, выделившейся при замерзании воды.

Это количество теплоты

$$Q_{отд} = m_2 [c_2 (t_2 - \quad) + \lambda]$$

будет отдано льду, покрывающему каток, который нагреется до температуры 0°C:

$$Q_{пол} = Q_{л\,нагр} = c_1 m_1 (\quad - t_1),$$

где $m_1 = \rho_л h S$ масса льда ($\rho_л$ плотность льда; S площадь катка).

Записав уравнение теплового баланса

$$Q_{пол} = Q_{отд}$$

в виде

$$c_1 m_1 (\quad - t_1) = m_2 [c_2 (t_2 - \quad) + \lambda],$$

найдем массу налитой воды:

$$m_2 = \frac{c_1 m_1 (\quad - t_1)}{c_2 (t_2 - \quad) + \lambda} = \frac{c_1 \rho_л h S (\quad - t_1)}{c_2 (t_2 - \quad) + \lambda}.$$

Следовательно, толщину слоя льда на катке максимально можно увеличить на

$$h_{max} = \frac{m_2}{\rho_л S} = h \frac{c_1 (\quad - t_1)}{c_2 (t_2 - \quad) + \lambda} = 0{,}3 \text{ см}.$$

Ответ: $h_{max} = h \dfrac{c_1 (\quad - t_1)}{c_2 (t_2 - \quad) + \lambda} = 0{,}3$ см.

Задача №6

К 2015 году количество лампочек в гирлянде составило 15 штук.

При параллельном соединении n лампочек их общее сопротивление

$$R_{общ} = \frac{R}{n},$$

а потребляемая ими мощность

$$N = \frac{U^2}{R_{общ}} = \frac{n U^2}{R}.$$

Следовательно, при $n_1 = 10$ и $n_2 = 15$ мощности, потребляемые гирляндой,

$$N_1 = \frac{10 U^2}{R}; \quad N_2 = \frac{15 U^2}{R},$$

а их отношение

$$N_2 / N_1 = 1{,}5.$$

Ответ: $N_2 / N_1 = 1{,}5$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №1 (10-й класс)

Задача №1

Двигаясь с ускорением a, за время t_1 ракета достигнет высоты

$$h_1 = \tfrac{1}{2} a t_1^2$$

и приобретет скорость

$$a t_1.$$

После выключения двигателей ракета поднимется на высоту

$$h_2 = \frac{{}^2}{2g}.$$

Следовательно, максимальная высота подъема ракеты

$$h_{max} = h_1 + h_2 = \frac{{}^2}{2a} + \frac{{}^2}{2g} = \frac{{}^2(g + a)}{2ag} = 27{,}4 \text{ км}.$$

Ответ: $h_{max} = \dfrac{{}^2(g + a)}{2ag} = 27{,}4$ км.

Задача №2

Уравнение движения любого из спутников Марса

$$m a_{ц.\,с.} = F,$$

где центростремительное ускорение спутника $a_{ц.\,с.} = {}^2/r$, а сила притяжения спутника планетой

$$F = G\frac{m M}{r^2},$$

где m и M – массы спутника и Марса соответственно; $r = R + h$ – радиус орбиты.

Следовательно,

$$m\frac{{}^2}{r} = G\frac{m M}{r^2}; \qquad = \sqrt{G\frac{M}{R + h}} = \sqrt{g_0\frac{R^2}{R + h}},$$

где учтено, что ускорение свободного падения у поверхности планеты

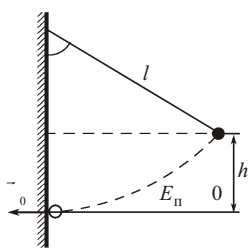
$$g_0 = G\frac{M}{R^2}.$$

Таким образом

$$_1 = \sqrt{g_0\frac{R^2}{R + h_1}}; \quad _2 = \sqrt{g_0\frac{R^2}{R + h_2}}; \quad _1 - {}_2 = \sqrt{g_0\frac{R^2}{R + h_1}} - \sqrt{g_0\frac{R^2}{R + h_2}} = 767 \text{ м/с}.$$

Ответ: $\sqrt{g_0\dfrac{R^2}{R + h_1}} - \sqrt{g_0\dfrac{R^2}{R + h_2}} = 767$ м/с.

Задача №3



На основании закона сохранения механической энергии получим

$$m g h = \tfrac{1}{2} m {}^2_0,$$

где $h = l(1 - \cos\ )$, l – длина нити; $_0$ – скорость шарика в момент первого удара о стену.

Следовательно, скорость шарика непосредственно после первого удара

$$_1 = (1 - \ )\ _0,$$

после второго

$$_2 = (1 - \ )\ _1 = (1 - \ )^2\ _0,$$

после третьего

$$_3 = (1 - \ )\ _2 = (1 - \ )^3\ _0,$$

после четвертого

$$_4 = (1 - \ )\ _3 = (1 - \ )^4\ _0.$$

На основании закона сохранения механической энергии после четвертого удара о стену:

$$\tfrac{1}{2} m {}^2_4 = m g l (1 - \cos\ _4); \quad \tfrac{1}{2} m (1 - \ )^8 {}^2_0 = m g l (1 - \cos\ _4);$$

$$(1 - \ )^8 m g l (1 - \cos\ ) = m g l (1 - \cos\ _4).$$

Отсюда максимальный угол отклонения нити

$$\cos\ _4 = [1 - (1 - \ )^8 (1 - \cos\ )]; \quad _4 = \arccos[1 - (1 - \ )^8 (1 - \cos\ )] = 30^\circ.$$

Ответ: $_4 = \arccos[1 - (1 - \ )^8 (1 - \cos\ )] = 30^\circ$.

Задача №4

Количество теплоты, выделившейся при сгорании керосина,

$$Q_{гор} = q M,$$

где $M = {}_к V_к$ – масса керосина; $V_к = 1$ л $= 10^{-3}$ м^3.

Количество теплоты, полученное льдом,

$$Q_{пол} = Q_{гор} = q\ _к V_к.$$

Суммарное количество теплоты, необходимое для нагревания льда массой m от температуры $t = 40^\circ$C до температуры плавления $t_{пл} = 0^\circ$C, последующего плавления льда и нагревания талой воды до температуры кипения $t_{кип} = 100^\circ$C равно

$$Q = Q_{нагр\ льда} + Q_{плавл\ льда} + Q_{нагр\ воды} = m c_л (t_{пл} - t) + m + m c_в (t_{кип} - t_{пл}).$$

На основании уравнения теплового баланса

$$Q_{пол} = Q$$

получим

$$q\ _к V_к = m c_л (t_{пл} - t) + m + m c_в (t_{кип} - t_{пл});$$

$$m = \frac{q\ _к V_к}{c_л (t_{пл} - t) + + c_в (t_{кип} - t_{пл})} = 24{,}7 \text{ кг}.$$

Следовательно, полученного кипятка

$$V_{кип} = \frac{m}{\ _в} = 24{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 24{,}7 \text{ л}$$

достаточно для приготовления обеда.

Ответ: хватит.

Задача №5

При подключении подводящих проводов части кольца будут представлять собой параллельно соединенные сопротивления. При параллельном соединении сопротивлений R_1 и R_2 общее сопротивление

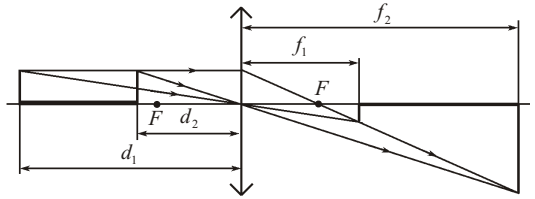
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

будет меньше наименьшего. Следовательно, чтобы получить максимально возможное сопротивление участка цепи, образованного кольцом, подводящие провода надо подключить к противоположным точкам диаметра. Таким образом

$$R_1 = R_2 = \frac{\tfrac{1}{2} l}{S}; \quad R = \frac{l}{4S} = 0{,}9 \text{ Ом}.$$

Ответ: подводящие провода надо подключить к противоположным точкам диаметра; $R = \dfrac{l}{4S} = 0{,}9$ Ом.

Задача №6



Поскольку концы карандаша расположены за фокусом линзы, то оба изображения мухи будут действительными. Запишем формулу линзы и формулу увеличения для двух положений мухи:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad k_1 = \frac{f_1}{d_1};$$

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}; \quad k_2 = \frac{f_2}{d_2},$$

где d_1, d_2, f_1, f_2 – расстояния от линзы до дальнего и ближнего концов карандаша и соответствующих изображений мухи, причем $f_1 = f_2$ (см. рисунок). Отсюда получим:

$$f_1 = d_1 k_1; \quad f_2 = d_2 k_2; \quad \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_1 k_1} = \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_2 k_2} = \frac{1}{F}.$$

Следовательно,

$$d_1 = \frac{k_1 + 1}{k_1} F; \quad d_2 = \frac{k_2 + 1}{k_2} F; \quad f_1 = (k_1 + 1) F; \quad f_2 = (k_2 + 1) F.$$

Таким образом, линза изменяет длину карандаша в

$$k = \frac{f_2 - f_1}{d_1 - d_2} = \frac{(k_2 + 1) F - (k_1 + 1) F}{\dfrac{k_1 + 1}{k_1} F - \dfrac{k_2 + 1}{k_2} F} = k_1 k_2 = 3 \text{ раза}.$$

Ответ: увеличивает в $k = k_1 k_2 = 3$ раза.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №2 (10-й класс)

Задача №1

Двигаясь с ускорением a, за время t ракета достигнет высоты

$$h_1 = \tfrac{1}{2} a t^2$$

и приобретет скорость

$$a t.$$

После выключения двигателей ракета поднимется на высоту

$$h_2 = \frac{\ ^2}{2g} = \frac{a^2 t^2}{2g}.$$

Следовательно, максимальная высота подъема ракеты

$$h_{\max} = h_1 + h_2 = \frac{a t^2}{2} + \frac{a^2 t^2}{2g} = \frac{a t^2}{2}\frac{g + a}{g} = 11{,}52 \text{ км}.$$

Ответ: $h_{\max} = \dfrac{a t^2}{2}\dfrac{g + a}{g} = 11{,}52$ км.

Задача №2

Уравнение движения спутника вокруг планеты

$$m a_{\text{ц. с.}} = F,$$

где центростремительное ускорение спутника $a_{\text{ц. с.}} = {}^2/r$, а сила притяжения спутника планетой

$$F = G\frac{m M}{r^2},$$

где m и M – массы спутника и планеты соответственно; r – радиус орбиты спутника.

Следовательно,

$$m\frac{\ ^2}{r} = G\frac{m M}{r^2}; \qquad \sqrt{G\frac{M}{r}} = \sqrt{G\frac{\tfrac{4}{3}\ R^3}{r}},$$

где учтено, что масса планеты $M = V = \tfrac{4}{3} R^3$ (здесь R – радиус планеты).

Таким образом, первые космические скорости для Земли и Урана (при $r = R$)

$$_{1З} = \sqrt{G\frac{\ _З \tfrac{4}{3} R_З^3}{R_З}} = R_З\sqrt{\tfrac{4}{3}\ _З G}; \qquad _{1У} = R_У\sqrt{\tfrac{4}{3}\ _У G},$$

а их отношение

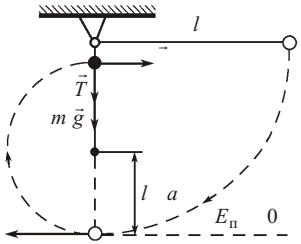
$$\frac{_{1У}}{_{1З}} = \frac{R_У}{R_З}\sqrt{\frac{_У}{_З}}.$$

Отсюда первая космическая скорость для Урана

$$_{1У} = {}_{1З}\frac{R_У}{R_З}\sqrt{\frac{_У}{_З}} = 15{,}24 \text{ км/с}.$$

Ответ: $_{1У} = {}_{1З}\dfrac{R_У}{R_З}\sqrt{\dfrac{_У}{_З}} = 15{,}24$ км/с.

Задача №3



Когда нить налетит на гвоздь, шарик начнет двигаться по окружности радиусом $R = l - a$, где a – расстояние от точки подвеса до гвоздя.

Запишем уравнения движения шарика (после того как нить налетит на гвоздь) в верхней точке траектории в виде

$$m a_{\text{ц. с.}} = T + m g,$$

где $a_{\text{ц. с.}} = {}^2/R$ – центростремительное ускорение шарика (здесь – скорость шарика в верхней точке траектории).

На основании закона сохранения механической энергии получим

$$m g l = \tfrac{1}{2} m\ ^2 + m g\, 2(l - a).$$

Следовательно,

$$^2 = 2 g l - 4 g (l - a); \qquad m\frac{2 g l - 4 g (l - a)}{l - a} = T + m g.$$

Чтобы шарик, зацепившись нитью за гвоздь, сделал пол оборота вокруг гвоздя на натянутой нити, сила натяжения нити в верхней точке траектории должна быть больше нуля. Таким образом

$$T = m\frac{2 g l - 4 g (l - a)}{l - a} - m g > 0.$$

Отсюда находим:

$$\frac{2 l - 4(l - a)}{l - a} > 1; \qquad a > \tfrac{3}{5} l = 30 \text{ см}.$$

Ответ: $a > \tfrac{3}{5} l = 30$ см.

Задача №4

В массе m_2 мокрых дров содержится масса $m_в$ воды, которую надо нагреть на $t = (100^\circ\text{C} - t)$ градусов и испарить:

$$m_2 = m_1 + m_в; \qquad m_2 = \frac{m_2}{\ _2}\ _1 + m_в; \qquad m_в = m_2\frac{\ _2 - \ _1}{\ _2},$$

где $m_1 = m_2\ _1/\ _2$ – масса сухой древесины.

При этом сгорает просушенная древесина массой m_1 и выделяется количество теплоты

$$Q = q m_1 = q\frac{m_2}{\ _2}\ _1.$$

На нагревание воды, содержащейся в древесине, и ее испарение расходуется количество теплоты

$$Q_1 = c m_в t + r m_в = m_2\frac{\ _2 - \ _1}{\ _2}(c t + r),$$

а на нагревание массы воды $m = {}_в V$, находящейся в в котелке,

$$Q_2 = c m t = c\ _в V t.$$

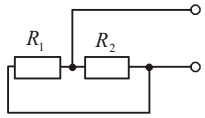
Следовательно,

$$Q = Q_1 + Q_2; \qquad q m_2\frac{\ _1}{\ _2} = m_2\frac{\ _2 - \ _1}{\ _2}(c t + r) + c\ _в V t;$$

$$m_2 = \frac{\ _2 c\ _в V t}{q\ _1 - (c t + r)(\ _2 - \ _1)} = 0{,}85 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_2 = \dfrac{\ _2 c\ _в V t}{q\ _1 - (c t + r)(\ _2 - \ _1)} = 0{,}85$ кг.

Задача №5



Движок реостата «разобьет» его на два сопротивления R_1 и R_2. При включении реостата в цепь так, как показано на рисунке, эти сопротивления будут соединены параллельно. При этом общее сопротивление участка цепи

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

будет меньше наименьшего из сопротивлений R_1 и R_2. Следовательно, чтобы получить максимально возможное сопротивление участка цепи, движок реостата должен находиться ровно посередине. Таким образом

$$R_1 = R_2 = \frac{\tfrac{1}{2} l}{S}; \qquad R = \frac{l}{4S} = 5 \text{ Ом}.$$

Ответ: движок реостата должен находиться ровно посередине; $R = \dfrac{l}{4S} = 5$ Ом.

Задача №6

Когда карандаш находится между фокусом и линзой на расстоянии $d_1 = F - a$ от линзы, его изображение будет мнимым (здесь a – расстояние от фокуса линзы до карандаша); если же карандаш находится за фокусом линзы на расстоянии $d_2 = F + a$ от линзы, его изображение будет действительным.

Запишем формулу линзы и формулу увеличения для двух положений карандаша:

$$\frac{1}{d_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{F}; \quad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1}; \qquad \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{F}; \quad \Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2},$$

где f_1, f_2 – расстояния от линзы до изображений карандаша. Следовательно,

$$f_1 = \frac{d_1 F}{F - d_1}; \quad f_1 = \frac{d_2 F}{d_2 - F}; \quad \Gamma_1 = \frac{F}{F - d_1} = \frac{F}{F - (F - a)} = \frac{F}{a}; \quad \Gamma_2 = \frac{F}{d_2 - F} = \frac{F}{(F + a) - F} = \frac{F}{a}.$$

Таким образом, в обоих случаях линза даст одинаковое увеличение карандаша, т.е. ученик не прав.

Ответ: ученик не прав.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

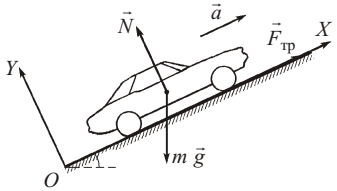
Вариант №1 (11-й класс)

Задача №1

Уравнение движения автомобиля в проекциях на оси системы координат:

$$OX:\ m\,a = m\,g\sin\alpha - F_{тр}; \qquad (1)$$

$$OY:\ 0 = N - m\,g\cos\alpha. \qquad (2)$$



Поскольку $F_{тр} = \mu N$, то из уравнений (1) (2) получим:

$$N = m\,g\cos\alpha;\quad F_{тр} = m\,a + m\,g\sin\alpha;$$

$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha);\quad a = g(\cos\alpha - \mu\sin\alpha).$$

Чтобы проехать расстояние $S = h/\sin\alpha$ за минимальное время t_{min}, автомобиль должен двигаться с максимальным ускорением

$$a_{max} = g(\cos\alpha - \mu\sin\alpha).$$

Следовательно,

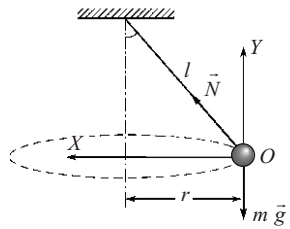
$$S = \tfrac{1}{2}a_{max}t_{min}^2;\quad t_{min} = \sqrt{\frac{2S}{a_{max}}} = \sqrt{\frac{2h}{g\sin\alpha(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}} = 20\ с.$$

Ответ: $t_{min} = \sqrt{\dfrac{2h}{g\sin\alpha(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}} = 20$ с.

Задача №2

Уравнение движения груза маятника в проекциях на оси системы координат

$$OX:\ m\omega^2 r = N\sin\alpha;\quad OY:\ 0 = N\cos\alpha - m\,g,$$



где $r = l\sin\alpha$ – радиус окружности, описываемой грузом. Отсюда получим:

$$N = \frac{m\,g}{\cos\alpha};\quad \omega^2 l\sin\alpha = \frac{g\sin\alpha}{\cos\alpha};\quad \frac{l}{g} = \frac{1}{\omega^2\cos\alpha} = \frac{t^2}{4\pi^2\cos\alpha},$$

где учтено, что $\omega = 2\pi/t$.

Следовательно, период малых колебаний этого маятника в вертикальной плоскости

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = \frac{t}{\sqrt{\cos\alpha}} = 1{,}41\ с.$$

Ответ: $T = \dfrac{t}{\sqrt{\cos\alpha}} = 1{,}41$ с.

Задача №3

Сила давления шара на дно сосуда (вес шара) будет меньше его силы тяжести на величину силы Архимеда:

$$P_1 = m\,g - F_{Арх\,1} = m\,g - \rho_1 g V;\quad P_2 = m\,g - F_{Арх\,2} = m\,g - \tfrac{1}{2}\rho_2 g V,$$

где $\rho_1 = \rho_1$ начальная плотность раствора; $\rho_2 = \rho_2$ конечная плотность раствора (ρ_1, ρ_2 соответствующие плотности соли).

Так как объем раствора уменьшился в 2 раза, то плотность соли в нем возросла в 2 раза, т.е. $\rho_2 = 2\rho_1$. Следовательно,

$$F = P_2 - P_1 = m\,g - \tfrac{1}{2}(\rho_1 + \rho_2)g V - m\,g + (\rho_1 + \rho_1)g V = \tfrac{1}{2}(\rho_1 + 2\rho_1)g V = (\tfrac{3}{2}\rho_1)g V;$$

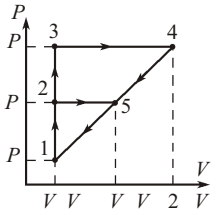
$$F = \tfrac{3}{2}\rho_1 g V = \rho_1 g V = \tfrac{1}{2}\rho_1 g V = \tfrac{2}{3}\rho_1 g R^3 = 20{,}5\ Н,$$

где учтено, что объем шара $V = \tfrac{4}{3}\pi R^3$.

Ответ: $F = \tfrac{2}{3}\rho_1 g R^3 = 20{,}5$ Н.

Задача №4

Пусть объем газа в состояниях *1*, *2* и *3* равен V, а в состоянии *5* $V_5 = 2V$. В силу линейной зависимости давления газа от объема на участках 5 1 и 4 5 1 объем газа в состоянии *4* будет равен $V_4 = 2V$.



В циклическом процессе 1 2 5 1 газ получает теплоту в процессах 1 2 и 2 5, отдает $Q_{х\,1}$ в процессе 5 1. Аналогично, в цикле 1 3 4 1 газ получает теплоту в процессах 1 3 и 3 4, отдает $Q_{х\,2}$ в процессе 4 1. Следовательно, КПД циклов

$$\eta_1 = \frac{A_1}{Q_{н\,1}} = \frac{A_1}{Q_{1\,2} + Q_{2\,5}};\quad \eta_2 = \frac{A_2}{Q_{н\,2}} = \frac{A_2}{Q_{1\,3} + Q_{3\,4}}.$$

Работы газа за циклы

$$A_1 = \tfrac{1}{2}P V;\quad A_2 = 2P V,$$

а количества теплоты, полученной от нагревателей:

$$Q_{1\,2} = U_{1\,2} + A_{1\,2} = \tfrac{3}{2}R(T_2 - T_1);\quad Q_{2\,5} = U_{2\,5} + A_{2\,5} = \tfrac{3}{2}R(T_5 - T_2) = P V;$$

$$Q_{1\,3} = U_{1\,3} + A_{1\,3} = \tfrac{3}{2}R(T_3 - T_1);\quad Q_{3\,4} = U_{3\,4} + A_{3\,4} = \tfrac{3}{2}R(T_4 - T_3) = 2(P + P)V.$$

Записав уравнение Менделеева – Клапейрона в характерных состояниях

$$(P + P)V = R T_1;\quad P V = R T_2;\quad (P + P)V = R T_3;$$

$$(P + P)(V + 2V) = R T_4;\quad P(V + V) = R T_5,$$

получим:

$$Q_{1\,2} = \tfrac{3}{2}P V;\quad Q_{2\,5} = \tfrac{5}{2}P V;\quad Q_{1\,3} = 3P V;\quad Q_{3\,4} = 5(P + P)V.$$

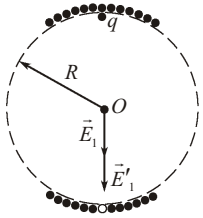
Следовательно,

$$\eta_1 = \frac{\tfrac{1}{2}P V}{\tfrac{3}{2}P V + \tfrac{5}{2}P V} = \frac{P V}{3P V + 5P V};$$

$$\eta_2 = \frac{3P V + 5(P + P)V}{2P V + 3P V + 5P V} = \frac{2P V}{2P V} = \frac{5}{2} - \frac{1}{2} = \frac{5}{2};\quad \eta_2 - \eta_1 = \frac{2}{15} = 0{,}111 = 11{,}1\%.$$

Ответ: $\eta_2 - \eta_1 = \dfrac{2}{15} = 0{,}111 = 11{,}1\%$.

Задача №5



Оценим радиус сферы, полагая площадь ее поверхности $4\pi R^2$ приближенно равной суммарной площади поперечных сечений всех шариков $N\pi d^2/4$:

$$4\pi R^2 = N\pi d^2/4;\quad R = \tfrac{1}{4}\sqrt{N}\,d.$$

До перемещения шариков напряженность электрического поля в центре сферы равна нулю. Если удалить один из шариков, симметрия нарушится и напряженность в центре сферы будет равна напряженности поля, создаваемого одним шариком:

$$E_1 = k\frac{q}{R^2},$$

причем (пусть для определенности шарики заряжены положительно) вектор $\vec{E}_1$ будет направлен от центра сферы к месту расположения удаленного шарика (см. рисунок). Если же этот шарик перенести внутрь сферы в диаметрально противоположную точку, то его заряд создаст поле напряженностью $E'_1 = E_1$, направленное так же, как E_1. Следовательно, напряженность электрического поля в центре сферы будет равна

$$E = E_1 + E'_1 = 2k\frac{q}{R^2}.$$

Если убрать еще один шарик, первоначально примыкавший к первому удаленному, то по причинам, изложенным выше, напряженность электрического поля в центре сферы приближенно будет равна

$$E_0 = E_1 + E = 3k\frac{q}{R^2} = \frac{3}{2}E.$$

Следовательно, на второй шарик, помещенный в центр сферы, будет действовать сила

$$F = q E_0 = \frac{E R^2}{2k}\cdot\frac{3}{2}E = \frac{3R^2}{4k}E^2 = \frac{3N d^2}{64k}E^2 = 0{,}15\ нН.$$

Ответ: $F = \dfrac{3N d^2}{64k}E^2 = 0{,}15$ нН.

Задача №6

Запишем формулу собирающей линзы в случае действительного изображения предмета и формулу увеличения в виде

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F};\quad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1} = \frac{u}{\Delta}.$$

Отсюда получим:

$$f_1 = \frac{u}{\Delta}d_1 = 2d_1;\quad \frac{1}{d_1} + \frac{1}{2d_1} = \frac{1}{F};\quad d_1 = \tfrac{3}{2}F;\quad f_1 = 3F.$$

Из формулы линзы, записанной в момент, когда жук находился на расстоянии $d_2 = d_1 - \tfrac{1}{4}F = \tfrac{5}{4}F$ от линзы,

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$$

получим:

$$\frac{4}{5F} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F};\quad f_2 = 5F.$$

Следовательно,

$$t = d_1 - d_2 = \tfrac{1}{4}F;\quad u = t - f_2 + f_1 = 2F,$$

где u – средняя скорость изображения жука за время, в течение которого он проползет вдоль оси линзы расстояние, равное 1/4 ее фокусного расстояния. Таким образом,

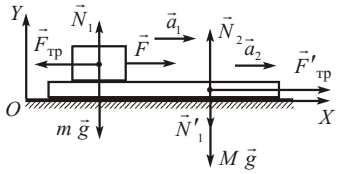
$$u/\Delta = 8.$$

Ответ: $u/\Delta = 8$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №2 (11-й класс)

Задача №1



Так как трения между доской и поверхностью, на которой она находится, нет, то при любой величине силы F, приложенной к бруску, он будет увлекать за собой доску за счет силы трения, действующей между ними.

Запишем уравнения движения бруска и доски в проекциях на оси системы координат в предположении, что $\vec{a}_1 = \vec{a}_2$:

$$OX:\ m a_1 = F - F_{тр};\quad OY:\ 0 = N_1 - m g;$$
$$OX:\ M a_2 = F'_{тр};\quad OY:\ 0 = N_2 - N'_1 - M g,$$

где сила трения $F_{тр} = F'_{тр} = \mu N_1$. Следовательно,

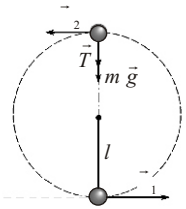
$$m a_1 = F - \mu m g;\quad a_1 = F/m - \mu g = 0{,}5\ м/с^2.$$

Поскольку $a_1 > 0$, то брусок и доска будут двигаться вместе с одинаковым ускорением

$$a = \frac{F}{M + m} = 0{,}5\ м/с^2.$$

Ответ: $a_1 = a_2 = \dfrac{F}{M + m} = 0{,}5$ м/с^2.

Задача №2



Скорость груза маятника при прохождении им положения равновесия найдем на основании закона сохранения механической энергии:

$$m g l = \tfrac{1}{2} m \upsilon_1^2;\qquad \upsilon_1 = \sqrt{2 g l}.$$

Запишем уравнение движения шарика при его вращении в вертикальной плоскости в верхней точке траектории

$$m \frac{\upsilon_2^2}{l} = T + m g$$

и закон сохранения механической энергии

$$\tfrac{1}{2} m \upsilon_1^2 = \tfrac{1}{2} m \upsilon_2^2 + m g\, 2 l,$$

где υ_1, υ_2 начальная скорость груза (в положении равновесия) и скорость груза в верхней точке, соответственно. Следовательно,

$$m \upsilon_2^2 = m \upsilon_1^2 - 4 m g l;\quad T = \frac{m \upsilon_2^2}{l} - m g = 0;\quad \frac{m \upsilon_1^2 - 4 m g l}{l} = m g = 0;\quad \upsilon_1 = \sqrt{5 g l}.$$

Поскольку $\upsilon_{1\min} = \sqrt{5 g l}$ больше $\upsilon_1 = \sqrt{4{,}5 g l}$, то при начальной скорости груза, равной υ_1, он не сможет совершить оборот в вертикальной плоскости.

Ответ: не сможет.

Задача №3

Сила давления конуса на дно сосуда (вес конуса) будет меньше его силы тяжести на величину силы Архимеда:

$$P_1 = m g - F_{Арх\,1} = m g - \rho_1 g V_1;\quad P_2 = m g - F_{Арх\,2} = m g - \rho_2 g V_2,$$

где $P_1 = 0$, $P_2 = m g$; $V_1 = \tfrac{1}{3} \pi R^2 h$, $V_2 = \tfrac{1}{3} \pi (\tfrac{1}{2} R)^2 \tfrac{1}{2} h = \tfrac{1}{8} V_1$ объем всего конуса и объем его части, погруженной в раствор после испарения воды (здесь R радиус основания конуса, равный радиусу сосуда, h высота конуса); $\rho_1 = \rho_1$ начальная плотность раствора; $\rho_2 = \rho_2$ конечная плотность раствора (ρ_1, ρ_2 соответствующие плотности соли).

Начальный и конечный объемы раствора

$$V_{р\,1} = R^2 h - V_1 = \tfrac{2}{3} R^2 h;\quad V_{р\,2} = R^2 \tfrac{1}{2} h - V_2 = \tfrac{11}{24} R^2 h = \tfrac{11}{16} V_{р\,1}.$$

Так как объем раствора уменьшился в 16/11 раз, то плотность соли в нем возросла во столько же раз, т.е. $\rho_2 = \tfrac{16}{11} \rho_1$. Следовательно,

$$m g - (\rho_2 - \rho_1) g V_1;\quad m g - m g = (\rho_2 - \rho_1) g \tfrac{1}{8} V_1;\quad m g (1 - \tfrac{1}{8}) = (\rho_2 - \rho_1) g V_1;$$
$$(\rho_2 - \rho_1) g V_1 (1 - \tfrac{1}{8}) = (\tfrac{16}{11} \rho_1 - \rho_1) g V_1;\quad \rho_1 = \frac{(1 - \tfrac{1}{8})}{\tfrac{2}{11}(1 - \tfrac{1}{8})} = 96{,}5\ кг/м^3.$$

Ответ: $\rho_1 = \dfrac{(1 - \tfrac{1}{8})}{\tfrac{2}{11}(1 - \tfrac{1}{8})} = 96{,}5$ кг/м^3.

Задача №4

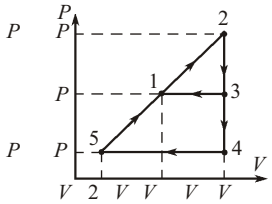
Пусть объем газа в состояниях *2*, *3* и *4* равен V, а в состоянии *1* $V_1 = V - V = V$. В силу линейной зависимости давления газа от объема на участках 5 1 2 и 1 2 объем газа в состоянии *5* будет равен $V_5 = V + 2 V = 3 V$.

В циклическом процессе 1 2 3 1 газ получает теплоту в процессе 1 2, отдает в процессах 2 3 и 3 1. Аналогично, в цикле 5 2 4 1 газ получает теплоту в процессе 1 2, отдает в процессах 2 4 и 4 5. Следовательно, КПД циклов

$$\frac{A_1}{Q_{н\,1}} = \frac{A_1}{A_1 + |Q_{2\,3} + Q_{3\,1}|};\qquad \frac{A_2}{Q_{н\,2}} = \frac{A_2}{A_2 + |Q_{2\,4} + Q_{4\,5}|}.$$

Работы газа за циклы

$$A_1 = \tfrac{1}{2} P V;$$
$$A_2 = 2 P V,$$



а количества теплоты, отданные холодильникам:

$$Q_{2\,3} = U_{2\,3} + A_{2\,3} = \tfrac{3}{2} R (T_3 - T_2);$$
$$Q_{3\,1} = U_{3\,1} + A_{3\,1} = \tfrac{3}{2} R (T_1 - T_3) = P V;$$
$$Q_{2\,4} = U_{2\,4} + A_{2\,4} = \tfrac{3}{2} R (T_4 - T_2);$$
$$Q_{4\,5} = U_{4\,5} + A_{4\,5} = \tfrac{3}{2} R (T_5 - T_4) = 2 (P - P) V = V.$$

Записав уравнение Менделеева – Клапейрона в характерных состояниях

$$P (V - V) = R T_1;\quad (P + P) V = R T_2;\quad P V = R T_3;$$
$$(P - P) V = R T_4;\quad (P - P)(V + 2 V) = R T_5,$$

получим:

$$Q_{2\,3} = \tfrac{3}{2} P V;\quad Q_{3\,1} = \tfrac{5}{2} P V;\quad Q_{2\,4} = 3 P V;\quad Q_{4\,5} = 5 (P - P) V = V.$$

Следовательно,

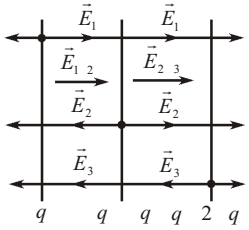
$$\frac{\tfrac{1}{2} P V}{\tfrac{1}{2} P V + \tfrac{3}{2} P V + \tfrac{5}{2} P V} = \frac{P V}{P V + 3 P V + 5 P V};$$

$$\frac{1}{2} = \frac{2 P V + 3 P V + 5 (P - P) V}{2 P V} = \frac{P V + 3 P V + 5 P V}{2 P V} = 2 - \frac{1}{2} = 2;$$

$$\frac{2}{1 + 4} = 0{,}138 = 13{,}8\%.$$

Ответ: $\dfrac{2}{1 + 4} = 0{,}138 = 13{,}8\%$.

Задача №5



Пусть заряд первой пластины равен q, второй ($q + q$), а третьей ($q + 2 q$). Тогда напряженности электрического поля пластин

$$E_1 = \frac{q}{2 S \varepsilon_0};\quad E_2 = \frac{q + q}{2 S \varepsilon_0};\quad E_3 = \frac{q + 2 q}{2 S \varepsilon_0}.$$

Напряженности поля в пространстве между первой и второй пластинами и между второй и третьей равны соответственно

$$E_{1\,2} = E_1 - E_2 + E_3 = \frac{q - (q + q) + (q + 2 q)}{2 S \varepsilon_0} = \frac{3 q}{2 S \varepsilon_0};$$
$$E_{2\,3} = E_1 - E_2 - E_3 = \frac{q - (q + q) - (q + 2 q)}{2 S \varepsilon_0} = \frac{q}{2 S \varepsilon_0}.$$

Отсюда получим:

$$3 q = q + 2 S \varepsilon_0 E_{1\,2};\quad q = q - 2 S \varepsilon_0 E_{2\,3};\quad q = \tfrac{1}{2} S \varepsilon_0 (E_{1\,2} + E_{2\,3});\quad q = \tfrac{1}{2} S \varepsilon_0 (3 E_{2\,3} - E_{1\,2}).$$

Если убрать среднюю пластину, то между первой и третьей пластинами будет действовать сила

$$F = q E_3 = (q + 2 q) E_1 = \tfrac{1}{2} S \varepsilon_0 (3 E_{2\,3} - E_{1\,2}) \frac{q + 2 q}{2 S \varepsilon_0} = \tfrac{1}{8} S \varepsilon_0 (3 E_{2\,3} - E_{1\,2})(E_{2\,3} + 3 E_{1\,2}) = 2{,}4\ нН.$$

Ответ: $F = \tfrac{1}{8} S \varepsilon_0 (3 E_{2\,3} - E_{1\,2})(E_{2\,3} + 3 E_{1\,2}) = 2{,}4$ нН.

Задача №6

Поскольку четкое изображение предмета наблюдают на экране, то в обоих случаях оно является действительным.

Запишем формулу собирающей линзы с фокусным расстоянием F_1 в случае действительного изображения предмета и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1};\quad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d}.$$

Отсюда получим:

$$f_1 = \Gamma_1 d;\quad \frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma_1 d} = \frac{1}{F_1};\quad \frac{\Gamma_1 + 1}{\Gamma_1 d} = \frac{1}{F_1}.$$

Аналогично для случая линзы с фокусным расстоянием F_2:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2};\quad \Gamma_2 = \frac{f_2}{d};\quad f_2 = \Gamma_2 d;\quad \frac{1}{d} + \frac{1}{\Gamma_2 d} = \frac{1}{F_2};\quad \frac{\Gamma_2 + 1}{\Gamma_2 d} = \frac{1}{F_2}.$$

Следовательно,

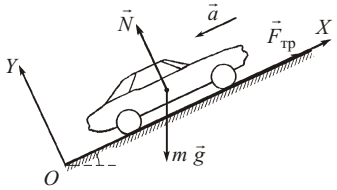
$$\frac{\Gamma_2 (\Gamma_1 + 1)}{\Gamma_1 (\Gamma_2 + 1)} = \frac{F_2}{F_1};\quad F_2 = \frac{\Gamma_2 (\Gamma_1 + 1)}{\Gamma_1 (\Gamma_2 + 1)} F_1 = 16\ см.$$

Ответ: $F_2 = \dfrac{\Gamma_2 (\Gamma_1 + 1)}{\Gamma_1 (\Gamma_2 + 1)} F_1 = 16$ см.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №3 (11-й класс)

Задача №1



Поскольку коэффициент трения шин автомобиля о поверхность дороги меньше tg 0,58, то колеса будут пробуксовывать, и автомобиль не сможет подняться на любую высоту.

Уравнение движения автомобиля в проекциях на оси системы координат:

$$OX: \quad m\,a \quad m\,g\sin \quad F_{тр}; \qquad (1)$$

$$OY: \quad 0 \quad N \quad m\,g\cos \quad . \qquad (2)$$

Поскольку $F_{тр}$ N, то из уравнений (1) (2) получим:

$$N \quad m\,g\cos \ ; \quad F_{тр} \quad m\,g\cos \ ; \quad a \quad g\,(\sin \quad \cos \quad .$$

Проехав вверх по дороге расстояние S_{max} $h_{max}/\sin$, автомобиль остановится. Следовательно,

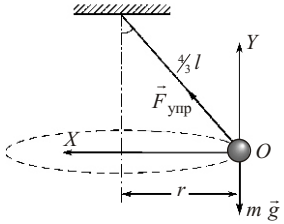
$$S \quad \frac{{}^{2}{}_{0}}{2\,a} \quad \frac{{}^{2}{}_{0}}{2\,g\,(\sin \quad \cos} \ ; \quad \frac{h_{max}}{\sin} \quad \frac{{}^{2}{}_{0}}{2\,g\,(\sin \quad \cos} \ .$$

Отсюда максимальная высота склона

$$h_{max} \quad \frac{{}^{2}{}_{0}}{2\,g\,(1 \quad \mathrm{ctg} \quad)} \quad 31{,}2 \text{ м.}$$

Ответ: $h_{max} \quad \dfrac{{}^{2}{}_{0}}{2\,g\,(1 \quad \mathrm{ctg} \quad)} \quad 31{,}2$ м.

Задача №2



Уравнение движения шарика в проекции на ось OX системы координат

$$OX: \ m \quad {}^{2}r \quad F_{упр}\sin \quad ,$$

где r $\frac{4}{3}l\sin$ – радиус окружности, описываемой шариком; $F_{упр}$ $\frac{1}{3}k\,l$ – сила упругости жгута. Отсюда получим:

$$\frac{4}{3}m \quad {}^{2}l\sin \quad \frac{1}{3}k\,l\sin \ ; \quad 4\,m \quad {}^{2} \quad k; \quad \frac{m}{k} \quad \frac{1}{4 \quad {}^{2}} \quad \frac{t^2}{16 \quad {}^{2}},$$

где учтено, что 2 / t.

Следовательно, период малых вертикальных колебаний шарика на жгуте

$$T \quad 2\sqrt{\frac{m}{k}} \quad \frac{t}{2} \quad 1 \text{ с.}$$

Ответ: T ½ t 1 с.

Задача №3

Условия плавания цилиндра до и после испарения воды:

$$m\,g \quad F_{Арх\,1}; \quad m\,g \quad {}_{1}g\,V_1;$$

$$m\,g \quad F_{Арх\,2}; \quad m\,g \quad {}_{2}g\,V_2,$$

где ${}_{1}$ ${}_{1}$ начальная плотность раствора; ${}_{2}$ ${}_{2}$ конечная плотность раствора (${}_{1}$, ${}_{2}$ соответствующие плотности соли); $V_1 \quad n_1 V$, $V_2 \quad n_2 V$.

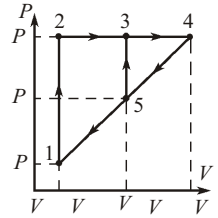
Так как объем раствора уменьшился в 1,5 раза, то плотность соли в нем возросла в 1,5 раза, т.е. ${}_{2}$ 1,5 ${}_{1}$. Следовательно,

$$m\,g \quad (\quad {}_{1})g\,n_1 V; \quad m\,g \quad (\quad {}_{2})g\,n_2 V; \quad (\quad {}_{1})g\,n_1 V \quad (\quad 1{,}5 \quad {}_{1})g\,n_2 V;$$

$${}_{1} \quad \frac{n_1 \quad n_2}{1{,}5\,n_2 \quad n_1}; \quad {}_{1} \quad \frac{n_1 \quad n_2}{1{,}5\,n_2 \quad n_1} \quad \frac{0{,}5\,n_2}{1{,}5\,n_2 \quad n_1} \quad 1143 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: ${}_{1} \quad \dfrac{0{,}5\,n_2}{1{,}5\,n_2 \quad n_1} \quad 1143$ кг/м^3.

Задача №4



Пусть давление газа в состояниях *2*, *3* и *4* равно P, а в состоянии *5* $P_5 \quad P \quad P$. В силу линейной зависимости давления газа от объема на участках 4 5 и 4 5 1 давление газа в состоянии *1* будет равно $P_1 \quad P \quad 2 \quad P$.

В циклическом процессе 3 4 5 3 газ получает теплоту в процессах 5 3 и 3 4, отдает в процессе 4 5. Аналогично, в цикле 1 2 4 1 газ P получает теплоту в процессах 1 2 и 2 4, отдает в процессе 4 1. Следовательно, КПД циклов

$$\frac{A_1}{Q_{н\,1}} \quad \frac{A_1}{Q_{5\,3} \quad Q_{3\,4}}; \quad \frac{A_2}{Q_{н\,2}} \quad \frac{A_2}{Q_{1\,2} \quad Q_{2\,4}}. \quad P \quad 2 \quad P$$

Работы газа за циклы

$$A_1 \quad \tfrac{1}{2} \quad P \quad V; \quad A_2 \quad 2 \quad P \quad V,$$

а количества теплоты, полученной от нагревателей:

$$Q_{5\,3} \quad U_{5\,3} \quad A_{5\,3} \quad \tfrac{3}{2} \quad R\,(T_3 \quad T_5); \quad Q_{3\,4} \quad U_{3\,4} \quad A_{3\,4} \quad \tfrac{3}{2} \quad R\,(T_4 \quad T_3) \quad P \quad V;$$

$$Q_{1\,2} \quad U_{1\,2} \quad A_{1\,2} \quad \tfrac{3}{2} \quad R\,(T_2 \quad T_1); \quad Q_{2\,4} \quad U_{2\,4} \quad A_{2\,4} \quad \tfrac{3}{2} \quad R\,(T_4 \quad T_2) \quad 2\,P \quad V.$$

Записав уравнение Менделеева Клапейрона в характерных состояниях

$$(P \quad 2 \quad P)\,(V \quad V \quad R\,T_1; \quad P\,(V \quad V \quad R\,T_2; \quad P\,V \quad R\,T_3;$$

$$P\,(V \quad V) \quad R\,T_4; \quad (P \quad P)\,V \quad R\,T_5,$$

получим:

$$Q_{5\,3} \quad \tfrac{3}{2} \quad P\,V; \quad Q_{3\,4} \quad \tfrac{5}{2}P \quad V; \quad Q_{1\,2} \quad 3 \quad P\,(V \quad V); \quad Q_{2\,4} \quad 5\,P \quad V.$$

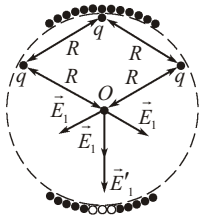
Следовательно,

$$\frac{\tfrac{1}{2} \quad P \quad V}{\tfrac{3}{2} \quad P\,V \quad \tfrac{5}{2}P \quad V} \quad \frac{P \quad V}{3 \quad P\,V \quad 5\,P \quad V};$$

$$\frac{1 \quad 3 \quad P\,(V \quad V) \quad 5\,P \quad V}{2 \quad P \quad V} \quad \frac{3 \quad P\,V \quad 5\,P \quad V}{2 \quad P \quad V} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{1}{2} \quad \frac{3}{2}; \quad \frac{2}{1 \quad 3} \quad 0{,}129 \quad 12{,}9\%.$$

Ответ: $\dfrac{2}{1 \quad 3} \quad 0{,}129 \quad 12{,}9\%$.

Задача №5



Оценим радиус кольца, полагая его длину 2 R приближенно равной сумме диаметров всех шариков $N\,2r$:

$$2 \quad R \quad N\,2r; \quad R \quad N\,r/ \ .$$

До перемещения шариков напряженность электрического поля в центре кольца равна нулю. Если удалить один из шариков, симметрия нарушится и напряженность в центре кольца будет равна напряженности поля, создаваемого одним шариком:

$$E_1 \quad k\,\frac{q}{R^2},$$

причем (пусть для определенности шарики заряжены положительно) вектор $\vec{E}_1$ будет направлен от центра кольца к месту расположения удаленного шарика.

Если этот шарик перенести в центр кольца, на него будет действовать сила

$$F \quad q\,E_1 \quad k\,\frac{q^2}{R^2}.$$

При отсутствии трех соседних зарядов напряженность электрического поля в центре кольца приближенно будет равна

$$E'_1 \quad 3\,E_1 \quad 3\,k\,\frac{q}{R^2},$$

а если эти заряды расположить так, как показано на рисунке, то напряженность электрического поля в центре кольца будет равна

$$E \quad E'_1 \quad E_1 \quad 2\,E_1\cos 60^\circ = 3\,k\,\frac{q}{R^2} \quad k\,\frac{q}{R^2} \quad k\,\frac{q}{R^2} \quad 5\,k\,\frac{q}{R^2} \quad 5\,\frac{k}{R^2}\,R\sqrt{\frac{F}{k}} \quad 5\,\frac{}{N\,r}\sqrt{k\,F} \quad 7{,}8 \text{ кВ/м.}$$

Ответ: $E \quad 5\,\dfrac{}{N\,r}\sqrt{k\,F} \quad 7{,}8$ кВ/м.

Задача №6

Запишем формулу собирающей линзы в случае действительного изображения предмета и формулу увеличения в виде

$$\frac{1}{d} \quad \frac{1}{f} \quad \frac{1}{F}; \quad \Gamma \quad \frac{f}{d} \quad \frac{u}{},$$

где u скорости изображений светлячков, равные их собственным скоростям . Отсюда получим:

$$f \quad \frac{u}{}\,d \quad d; \quad \frac{1}{d} \quad \frac{1}{d} \quad \frac{1}{F}; \quad d \quad 2\,F; \quad f \quad 2\,F.$$

Из формулы линзы, записанной в момент, когда один из светлячков находился на расстоянии d_1 d $\tfrac{1}{2}F$ $\tfrac{3}{2}F$ от линзы, а другой на расстоянии d_2 d $\tfrac{1}{2}F$ $\tfrac{5}{2}F$,

$$\frac{1}{d_1} \quad \frac{1}{f_1} \quad \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{d_2} \quad \frac{1}{f_2} \quad \frac{1}{F},$$

получим:

$$\frac{1}{\tfrac{3}{2}F} \quad \frac{1}{f_1} \quad \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{\tfrac{5}{2}F} \quad \frac{1}{f_2} \quad \frac{1}{F}; \quad f_1 \quad 3\,F; \quad f_2 \quad \tfrac{5}{3}F$$

Следовательно,

$$u_1 \quad t \quad f_1 \quad f \quad F; \quad u_2 \quad t \quad f \quad f_2 \quad \tfrac{1}{3}F,$$

где u_1, u_2 средние скорости изображений светлячков за время, в течение которого они проползут вдоль оси линзы расстояния, равные 1/2 ее фокусного расстояния. Таким образом,

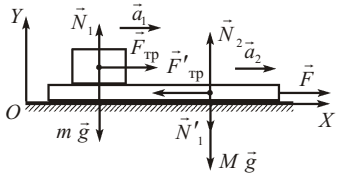
$$u_1/u_2 \quad 3.$$

Ответ: u_1/u_2 3.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №4 (11-й класс)

Задача №1



Поскольку поверхность, на которой находится доска, гладкая, то при любой величине силы F доска будет двигаться. При этом доска будет увлекать за собой брусок за счет силы трения, действующей между ними.

Уравнения движения бруска и доски в проекциях на оси системы координат:

$$OX:\ m a_1 = F_{тр};\quad OY:\ 0 = m g - N_1;$$
$$OX:\ M a_2 = F - F'_{тр};\quad OY:\ 0 = M g - N_2 - N'_1,$$

где сила трения $F_{тр} = F'_{тр} = \mu N_1$. Следовательно,

$$m a_1 = \mu m g;\quad M a_2 = F - \mu m g.$$

Для того, чтобы брусок соскользнул с доски, его ускорение должно быть меньше ускорения доски:

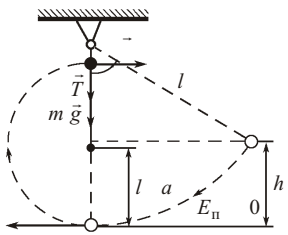
$$a_1 < a_2 \quad \mu g < (F - \mu m g)/M < a_2.$$

Отсюда находим:

$$F < \mu g (M + m) = 19{,}6\ \text{Н}.$$

Ответ: $F < \mu g (M + m) = 19{,}6$ Н.

Задача №2



Когда нить налетит на гвоздь, шарик начнет двигаться по окружности радиусом $R = l - a$, где a – расстояние от точки подвеса до гвоздя.

Запишем уравнение движения шарика (после того как нить налетит на гвоздь) в верхней точке траектории

$$m\frac{v^2}{R} = T + m g$$

и закон сохранения механической энергии

$$m g h = \tfrac{1}{2} m v^2 + m g\, 2(l - a),$$

где v – скорость шарика в верхней точке траектории; $h = l(1 - \cos\alpha)$.

Следовательно,

$$v^2 = 2 g l (1 - \cos\alpha) - 4 g (l - a);\quad m\frac{2 g l (1 - \cos\alpha) - 4 g (l - a)}{l - a} = T + m g.$$

Чтобы шарик, зацепившись нитью за гвоздь, сделал пол оборота вокруг гвоздя на натянутой нити, сила натяжения нити в верхней точке траектории должна быть больше нуля. Таким образом

$$T = m\frac{2 g l (1 - \cos\alpha) - 4 g (l - a)}{l - a} - m g > 0.$$

Отсюда находим:

$$a < \tfrac{1}{5} l (3 - 2\cos\alpha) = 40\ \text{см}.$$

Ответ: $a < \frac{1}{5} l (3 - 2\cos\alpha) = 40$ см.

Задача №3

Условия плавания конуса до и после испарения воды:

$$m g = F_{Арх\,1} = \rho_1 g V_1;\quad m g = F_{Арх\,2} = \rho_2 g V_2,$$

где $V_1 = \frac{1}{3} R^2 h$, $V_2 = V_1 - \frac{1}{3}(\tfrac{1}{2}R)^2 \tfrac{1}{2} h = \frac{7}{8} V_1$ – объем всего конуса и объем его части, погруженной в раствор после испарения воды (здесь R – радиус основания конуса, h – высота конуса); ρ_1 – ρ_1 – начальная плотность раствора; ρ_2 – ρ_2 – конечная плотность раствора (ρ_1, ρ_2 – соответствующие плотности соли).

Так как объем раствора уменьшился в $1/(1 - \alpha) = \frac{5}{4}$ раза, то плотность соли в нем возросла во столько же раз, т.е. $\rho_2 = \frac{5}{4}\rho_1$. Следовательно,

$$m g = (\rho_0 + \rho_1) g V_1;\quad m g = (\rho_0 + \rho_2) g V_2;\quad (\rho_0 + \rho_1) g V_1 = (\rho_0 + \rho_2) g V_2;$$
$$(\rho_0 + \rho_1) g V_1 = (\tfrac{5}{4}\rho_1 + \rho_1) g \tfrac{7}{8} V_1;\quad \rho_1 = \tfrac{2}{3}\rho_0.$$

Так как изначально конус плавал полностью погрузившись в раствор, то его плотность была равна первоначальной плотности раствора:

$$\rho_к = \tfrac{2}{3}\rho_0 = 2{,}33\cdot 10^3\ \text{кг/м}^3.$$

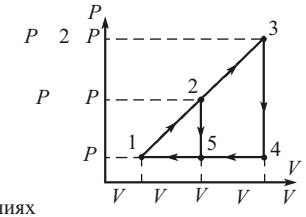
Ответ: $\rho_к = \frac{2}{3}\rho_0 = 2{,}33\cdot 10^3$ кг/м^3.

Задача №4

Пусть давление газа в состояниях *1*, *5* и *4* равно P, а в состоянии *2* $P_2 = 2P$. В силу линейной зависимости давления газа от объема на участке 1–2–3 давление газа в состоянии *3* будет равно $P_3 = 3P$.

В циклическом процессе 1–2–5–1 газ получает теплоту в процессе 1–2, отдает в процессах 2–5 и 5–1. Аналогично, в цикле 1–3–4–1 газ получает теплоту в процессе 1–3, отдает в процессах 3–4 и 4–1. Следовательно, КПД циклов

$$\eta_1 = \frac{A_1}{Q_{н\,1}} = \frac{A_1}{A_1 - |Q_{2\,5} + Q_{5\,1}|};\qquad \eta_2 = \frac{A_2}{Q_{н\,2}} = \frac{A_2}{A_2 - |Q_{3\,4} + Q_{4\,1}|}.$$



Работы газа за циклы

$$A_1 = \tfrac{1}{2} P V;\quad A_2 = 2 P V,$$

а количества теплоты, отданные холодильникам:

$$Q_{2\,5} = U_{2\,5} - A_{2\,5} = \tfrac{3}{2} R (T_5 - T_2);$$
$$Q_{5\,1} = U_{5\,1} - A_{5\,1} = \tfrac{3}{2} R (T_1 - T_5) = P V;$$
$$Q_{3\,4} = U_{3\,4} - A_{3\,4} = \tfrac{3}{2} R (T_4 - T_3);$$
$$Q_{4\,1} = U_{4\,1} - A_{4\,1} = \tfrac{3}{2} R (T_1 - T_4) = 2 P V.$$

Записав уравнение Менделеева – Клапейрона в характерных состояниях

$$P(V - V) = R T_1;\quad (P + P)V = R T_2;\quad (P + 2P)(V - V) = R T_3;$$
$$P(V - V) = R T_4;\quad P V = R T_5,$$

получим:

$$Q_{2\,5} = \tfrac{3}{2} P V;\quad Q_{5\,1} = \tfrac{5}{2} P V;\quad Q_{3\,4} = 3 P (V - V);\quad Q_{4\,1} = 5 P V.$$

Следовательно,

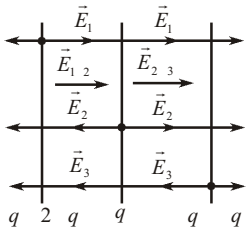
$$\eta_1 = \frac{\tfrac{1}{2} P V}{\tfrac{1}{2} P V + \tfrac{3}{2} P V + \tfrac{5}{2} P V} = \frac{P V}{P V + 3 P V + 5 P V};$$

$$\eta_2 = \frac{2 P V + 3 P (V - V) + 5 P V}{2 P V} = \frac{P V + 3 P V + 5 P V}{2 P V} = 2 + \frac{1}{2} = 2;$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = 0{,}095 = 9{,}5\%.$$

Ответ: $\frac{\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} = 0{,}095 = 9{,}5\%$.

Задача №5



Пусть заряд второй пластины равен q. Тогда заряд первой пластины будет равен ($q + 2q = 3q$), третьей ($q - q = 0$), напряженности электрического поля пластин

$$E_1 = \frac{q + 2q}{2 S \varepsilon_0};\quad E_2 = \frac{q}{2 S \varepsilon_0};\quad E_3 = \frac{q - q}{2 S \varepsilon_0},$$

а силы взаимодействия между первой и второй и между второй и третьей пластинами

$$F_{1\,2} = (q + 2q) E_2 = (q + 2q)\frac{q}{2 S \varepsilon_0};\quad F_{2\,3} = (q - q) E_2 = (q - q)\frac{q}{2 S \varepsilon_0}.$$

Учитывая условие задачи ($F_{1\,2} = 2 F_{2\,3}$), отсюда получим: $q = 4q$.

Напряженности поля в пространстве между первой и второй и между второй и третьей пластинами равны соответственно

$$E_{1\,2} = E_1 - E_2 = E_3 = \frac{(q + 2q) - q - (q - q)}{2 S \varepsilon_0} = \frac{3 q - q}{2 S \varepsilon_0} = \frac{q}{2 S \varepsilon_0};$$
$$E_{2\,3} = E_1 - E_2 - E_3 = \frac{(q + 2q) - q - (q - q)}{2 S \varepsilon_0} = \frac{3 q - q}{2 S \varepsilon_0} = \frac{7 q}{2 S \varepsilon_0}.$$

Следовательно (знак минус в выражении для $E_{1\,2}$ указывает лишь на то, что вектор $\vec{E}_{1\,2}$ направлен от второй пластины к первой),

$$E_{2\,3}/E_{1\,2} = 7.$$

Ответ: $E_{2\,3}/E_{1\,2} = 7$.

Задача №6

Поскольку четкое изображение предмета наблюдают на экране, то в обоих случаях оно является действительным.

Запишем формулу собирающей линзы с фокусным расстоянием F_1 в случае действительного изображения предмета и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_1};\quad \Gamma_1 = \frac{f}{d_1}.$$

Отсюда получим:

$$d_1 = \frac{f}{\Gamma_1};\quad \frac{\Gamma_1}{f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_1};\quad f = (\Gamma_1 + 1) F_1.$$

Аналогично для случая линзы с фокусным расстоянием $F_2 = \frac{1}{2} F_1$:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_2};\quad \Gamma_2 = \frac{f}{d_2};\quad d_2 = \frac{f}{\Gamma_2};\quad \frac{\Gamma_2}{f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_2};\quad f = (\Gamma_2 + 1) F_2.$$

Следовательно,

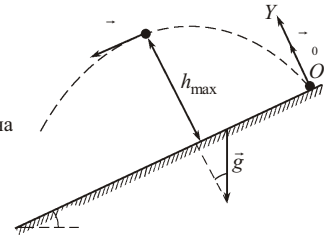
$$(\Gamma_1 + 1) F_1 = (\Gamma_2 + 1) F_2;\quad \Gamma_2 = \frac{(\Gamma_1 + 1) F_1}{F_2} = 1 + 2\Gamma_1 = 1 + 4.$$

Ответ: $\Gamma_2 = 2\Gamma_1 + 1 = 4$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №5

Задача №1



Записав закон движения мячика по оси OY

$$y \quad {}_0 t \quad \tfrac{1}{2} g \cos \quad t^2$$

и зависимость от времени проекции его скорости на эту же ось

$$_y \quad {}_0 \quad g \cos \quad t$$

в момент максимального подъема мячика над поверхностью склона ($y \quad h_{max}$; $_y \quad 0$)

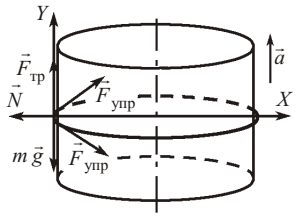
$$h_{max} \quad {}_0 \quad t \quad \tfrac{1}{2} g \cos \quad t^2; \quad 0 \quad {}_0 \quad g \cos \quad t,$$

получим:

$$t \quad \frac{{}_0}{g \cos}; \quad h_{max} \quad \frac{{}^2_0}{g \cos} \quad \frac{{}^2_0}{2 g \cos} \quad \frac{{}^2_0}{2 g \cos} \quad 2{,}1 \text{ м.}$$

Ответ: $h_{max} \quad \dfrac{{}^2_0}{2 g \cos} \quad 2{,}1$ м.

Задача №2



Рассмотрим бесконечно малый элемент кольца длиной l.

Полагая, что масса кольца m распределена по всей его длине равномерно, найдем массу единицы длины кольца

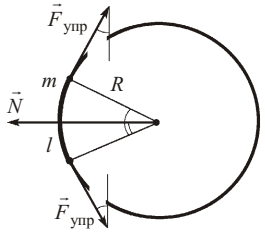
$$m_{ед} \quad \frac{m}{2 \quad R}$$

и массу элемента кольца длиной l

$$m \quad m_{ед} \quad l \quad \frac{m}{2 \quad R} \quad l.$$

Представив длину l через радиус кольца R и угол , получим

$$l \quad R\,2 \quad ; \qquad m \quad \frac{m}{} \quad .$$



Запишем уравнение движения элемента кольца в проекциях на оси системы координат в виде

$$m\,a \quad F_{тр} \qquad m\,g; \quad 0 \quad N \quad 2 F_{упр} \sin \quad ,$$

где $F_{тр} \quad N$.

Поскольку длина l мала, то угол также мал, и можно положить sin . Тогда уравнения движения примут вид

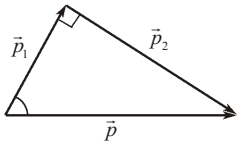
$$\frac{m}{} \quad a \quad F_{тр} \quad \frac{m}{} \quad g; \quad 0 \quad N \quad 2 F_{упр} \quad .$$

Отсюда получим:

$$F_{тр} \quad 2 \quad F_{упр} \quad ; \quad \frac{m}{} \quad a \quad 2 \quad F_{упр} \quad \frac{m}{} \quad g; \quad F_{упр} \quad \frac{m}{2}(a \quad g) \quad 0{,}1 \text{ Н.}$$

Ответ: $F_{упр} \quad \dfrac{m}{2}(a \quad g) \quad 0{,}1$ Н.

Задача №3



На основании закона сохранения импульса

$$\vec{p} \quad \vec{p}_1 \quad \vec{p}_2,$$

где $\vec{p} \quad m\,\vec{}, \vec{p}_1 \quad m_1\,\vec{}_1, \vec{p}_2 \quad m_2\,\vec{}_2$ импульс снаряда до разрыва и импульсы осколков сразу после разрыва.

Изобразим на рисунке направления импульсов до и после разрыва. Следовательно,

$$p_1 \quad p \cos \quad ; \quad p_2 \quad p \sin \quad ;$$

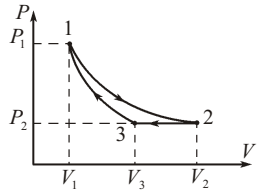
$$E \quad \frac{p_1^2}{2 m_1} \quad \frac{p_2^2}{2 m_2} \quad \frac{p^2}{2 m} \quad \frac{p^2 \cos^2}{2 m_1} \quad \frac{p^2 \sin^2}{2 m_2} \quad \frac{p^2}{2 m};$$

$$E \quad \tfrac{1}{2} m \quad {}^2 (\tfrac{4}{3} \cos^2 \quad 4 \sin^2 \quad 1) \quad 280 \text{ кДж,}$$

где учтено, что массы осколков $m_1 \quad \tfrac{3}{4} m$, $m_2 \quad \tfrac{1}{4} m$.

Ответ: $E \quad \tfrac{1}{2} m \quad {}^2 (\tfrac{4}{3} \cos^2 \quad 4 \sin^2 \quad 1) \quad 280$ кДж.

Задача №4



В циклическом процессе 1 2 3 1 газ получает теплоту в процессе 1 2, отдает в процессе 2 3. Следовательно, КПД цикла

$$\frac{A}{Q_н} \quad \frac{A}{A \quad Q_х} \quad \frac{A}{A \quad |Q_{2\ 3}|},$$

отсюда работа газа за цикл

$$A \quad \frac{}{1} |Q_{2\ 3}|.$$

Количество теплоты, отданной холодильнику в процессе 2 3,

$$Q_{2\ 3} \quad U_{2\ 3} \quad A_{2\ 3} \quad \tfrac{3}{2} \quad R\,(T_3 \quad T_2) \quad P_2 (V_2 \quad V_3).$$

Записав уравнение Менделеева Клапейрона в состояниях *2* и *3*

$$P_2 V_2 \quad R\,T_2; \quad P_2 V_3 \quad R\,T_3,$$

получим:

$$Q_{2\ 3} \quad \tfrac{5}{2} \quad R\,(T_3 \quad T_2).$$

КПД цикла Карно, проводимого в диапазоне температур, соответствующем адиабатическому процессу 3 1 ($T_{min} \quad T_3$; $T_{max} \quad T_1$),

$$_к \quad \frac{T_1 \quad T_3}{T_1}.$$

Поскольку $T_2 \quad T_1$, то

$$T_2 \quad T_3 \quad {}_к T_1; \quad Q_{2\ 3} \quad \tfrac{5}{2} \quad {}_к \quad R\,T_1; \quad A \quad \frac{}{1} \tfrac{5}{2} \quad {}_к \quad R\,T_1 \quad 1{,}3 \text{ кДж.}$$

Ответ: $A \quad \dfrac{}{1} \tfrac{5}{2} \quad {}_к \quad R\,T_1 \quad 1{,}3$ кДж.

Задача №5

Поскольку сопротивление R закорочено, то через него ток не течет. Следовательно, полное сопротивление цепи равно $2R \quad r$, ток в цепи

$$I \quad \frac{\mathscr{E}}{2R \quad r},$$

падение напряжения на сопротивлении $2R$, равное напряжению на конденсаторе,

$$U \quad I\,2R \quad \mathscr{E} \frac{2R}{2R \quad r},$$

заряд конденсатора

$$q \quad C\,U \quad C\,\mathscr{E} \frac{2R}{2R \quad r} \quad 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

Ответ: $q \quad C\,\mathscr{E} \dfrac{2R}{2R \quad r} \quad 4 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Задача №6

Запишем формулу собирающей линзы в случае действительного изображения жука, когда он находился на оптической оси линзы на расстояниях d и $(d \quad F)$ от линзы:

$$\frac{1}{d} \quad \frac{1}{f_1} \quad \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{d \quad F} \quad \frac{1}{f_2} \quad \frac{1}{F}.$$

Отсюда получим:

$$f_1 \quad \frac{d\,F}{d \quad F}; \quad f_2 \quad \frac{(d \quad F)\,F}{d}.$$

Поскольку по условию задачи скорость жука и средняя скорость его изображения u

$$\frac{d \quad F) \quad d}{t} \quad \frac{F}{t}; \quad u \quad \frac{f_1 \quad f_2}{t} \quad \frac{F^3}{t\,(d \quad F)\,d}$$

равны, то

$$F \quad \frac{F^3}{(d \quad F)\,d}; \quad d^2 \quad F\,d \quad F^2 \quad 0; \quad d \quad \tfrac{1}{2}(F \quad \sqrt{F^2 \quad 4 F^2}) \quad \tfrac{1}{2} F\,(1 \quad \sqrt{5}).$$

Запишем формулу собирающей линзы в случае, когда жук полз перпендикулярно к главной оптической оси линзы, и формулу увеличения линзы:

$$\frac{1}{d \quad F} \quad \frac{1}{f} \quad \frac{1}{F}; \quad \Gamma \quad \frac{f}{d \quad F} \quad \frac{u}{},$$

где u средняя скорость изображения жука в этом случае. Следовательно,

$$f \quad \frac{(d \quad F)\,F}{d}; \quad \frac{F}{d} \quad \frac{u}{}; \quad \frac{}{u} \quad \frac{d}{F} \quad \frac{1 \quad \sqrt{5}}{2} \quad 1{,}62.$$

Ответ: $/u \quad \tfrac{1}{2}(1 \quad \sqrt{5}) \quad 1{,}62$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №6

Задача №1

Пролетев расстояние h, шарик приобретет скорость

$$\sqrt{2gh}. \qquad (1)$$

После абсолютно упруго удара о поверхность наклонной плоскости шарик отскочит в горизонтальном направлении. Записав законы движения шарика

$$x = \cos t - \tfrac{1}{2} g \sin t^2;$$

$$y = \sin t - \tfrac{1}{2} g \cos t^2$$

в момент второго удара о плоскость ($x = S$; $y = 0$)

$$S = \cos t - \tfrac{1}{2} g \sin t^2;$$

$$0 = \sin t - \tfrac{1}{2} g \cos t^2,$$

с учетом (1) получим:

$$t = \frac{2 \sin}{g \cos}; \quad S = \frac{2\ ^2 \sin}{g} - \frac{2\ ^2 \sin^3}{g \cos^2}; \quad S = 4h \sin (1 - \operatorname{tg}) = 2{,}83 \text{ м}.$$

Ответ: $S = 4h \sin (1 - \operatorname{tg}) = 2{,}83$ м.

Задача №2

Рассмотрим бесконечно малый элемент кольца длиной l.

Полагая, что масса кольца m распределена по всей его длине равномерно, найдем массу единицы длины кольца

$$m_{\text{ед}} = \frac{m}{2 R}$$

и массу элемента кольца длиной l

$$m = m_{\text{ед}} l = \frac{m}{2 R} l.$$

Представив длину l через радиус кольца R и угол , получим

$$l = R 2 ; \quad m = \frac{m}{} .$$

Запишем уравнение движения элемента кольца в проекциях на оси системы координат в виде

$$m\ ^2 R = 2T \sin - N; \quad 0 = F_{\text{тр}} - m g,$$

где $F_{\text{тр}} = N$.

Поскольку длина l мала, то угол также мал, и можно положить $\sin = $. Тогда уравнения движения примут вид

$$m\ ^2 R = 2T - N; \quad 0 = N - m g.$$

Отсюда получим:

$$m\ ^2 R = 2T - \frac{m g}{}; \quad \frac{m}{} \ ^2 R = 2T - \frac{m g}{}; \quad \frac{m g}{2 T - m\ ^2 R} = 0{,}32.$$

Ответ: $\dfrac{m g}{2 T - m\ ^2 R} = 0{,}32$.

Задача №3

На основании закона сохранения импульса

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p},$$

где $\vec{p}_1 = m_1 \vec{\ }$, $\vec{p}_2 = m_2 \vec{\ }$, $\vec{p} = m \vec{u}$ импульсы тел до столкновения и импульс составного тела сразу после столкновения.

Изобразим на рисунке направления импульсов до и после столкновения. Следовательно,

$$p_2^2 = p_1^2 + p^2; \quad m_2^2\ ^2 = m_1^2\ ^2 + m^2 u^2;$$

$$E = \frac{m_1\ ^2}{2} + \frac{m_2\ ^2}{2} - \frac{m u^2}{2} = \frac{m\ ^2}{2} - \frac{(m_2^2 - m_1^2)\ ^2}{2m} = \frac{^2}{2} \frac{m^2 - m_2^2 + m_1^2}{m}.$$

Отсюда получим:

$$E = \frac{^2}{2} \frac{m^2 - (m - m_1)^2 + m_1^2}{m} = m_1\ ^2; \quad m_1 = \frac{E}{^2} = 0{,}25 \text{ кг}; \quad m_2 = m - m_1 = 0{,}45 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_1 = E/\ ^2 = 0{,}25$ кг; $m_2 = m - m_1 = 0{,}45$ кг.

Задача №4

В циклическом процессе 1 2 3 1 газ получает теплоту при изохорическом нагревании, отдает при изотермическом сжатии. Следовательно, КПД цикла

$$= \frac{A}{Q_{\text{н}}} = \frac{A}{Q_{3\ 1}},$$

отсюда работа газа за цикл

$$A = Q_{3\ 1}.$$

Количество теплоты, полученной от нагревателя,

$$Q_{3\ 1} = U_{3\ 1} + A_{3\ 1} = \tfrac{3}{2} R (T_1 - T_3).$$

КПД цикла Карно, проводимого в диапазоне температур, соответствующем изохорическому процессу 3 1 ($T_{\min} = T_3$; $T_{\max} = T_1$),

$$_{\text{к}} = \frac{T_1 - T_3}{T_1}.$$

Поскольку максимальная температура в цикле $T_1 = T$, то

$$T - T_3 = {}_{\text{к}} T; \quad Q_{3\ 1} = \tfrac{3}{2} R (T - T_3) = \tfrac{3}{2} R\ {}_{\text{к}} T; \quad A = \tfrac{3}{2} R\ {}_{\text{к}} T = 638{,}5 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = \tfrac{3}{2} R\ {}_{\text{к}} T = 638{,}5$ Дж.

Задача №5

Через сопротивления R и $3R$ будут течь одинаковые токи I. При этом напряжение U_1 на конденсаторе емкостью C будет равно падению напряжения на сопротивлении R, а напряжение U_2 на конденсаторе емкостью $3C$ падению напряжения на сопротивлении $2R$:

$$U_1 = I R; \quad U_2 = I\, 3R.$$

Следовательно, заряды конденсаторов

$$q_1 = C U_1 = C I R; \quad q_2 = 3C U_2 = 9 C I R,$$

а их отношение

$$q_2/q_1 = 9.$$

Ответ: $q_2/q_1 = 9$.

Задача №6

Запишем формулу собирающей линзы в случае действительного изображения жука, когда он находился на оптической оси линзы на расстояниях d_1 и d_2 от линзы:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}. \qquad (1)$$

Запишем формулу увеличения линзы в случае, когда жук полз перпендикулярно к главной оптической оси линзы:

$$\Gamma = \frac{f_2}{d_2} = \frac{u}{},$$

где u средняя скорость изображения жука в этом случае, равная скорости . Следовательно,

$$f_2 = d_2. \qquad (2)$$

Уз уравнений (1) и (2) получим:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F}; \quad d_2 = 2F; \quad f_1 = \frac{d_1 F}{d_1 - F}; \quad f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F} = 2F. \qquad (3)$$

Поскольку по условию задачи скорость жука

$$\frac{d_2 - d_1}{t} = \frac{2F - d_1}{t}$$

меньше средней скорости его изображения

$$u = \frac{f_1 - f_2}{t} = \frac{F (2F - d_1)}{t (d_1 - F)}$$

в 2 раза, то

$$2 (2F - d_1) = \frac{F (2F - d_1)}{d_1 - F}; \quad 2 (d_1 - F) = F; \quad d_1 = \tfrac{3}{2} F; \quad d = d_2 - d_1 = \tfrac{1}{2} F.$$

Ответ: $d = \tfrac{1}{2} F$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №7

Задача №1

В состоянии невесомости после освобождения системы пластина и пластина с закрепленным на ней телом вернутся в состояние, когда пружина недеформирована.

От момента освобождения системы до момента, когда пружина вернется в недеформированное состояние, движение можно рассматривать как колебание пружинного маятника, который начинает движение из крайней точки. При этом время движения до положения равновесия будет равно четверти периода колебаний такого «маятника»:

$$t_0 = \frac{1}{4}T_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{m_0}{k}}; \qquad t = \frac{1}{4}T = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{m_0 + m}{k}},$$

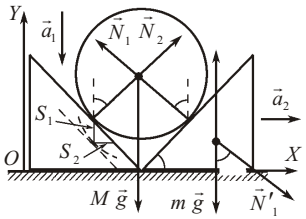
где k – коэффициент жесткости пружины; m – масса взвешиваемого тела.

Следовательно,

$$\frac{t_0}{t} = \sqrt{\frac{m_0}{m_0 + m}}; \qquad m = m_0\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 - 1 = 6 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = m_0\left(\frac{t}{t_0}\right)^2 - 1 = 6$ кг.

Задача №2



Так как система симметрична, то клинья будут двигаться одинаково. Поэтому рассмотрим движение цилиндра и одного из клиньев.

Уравнения движения цилиндра и клина в проекциях на оси системы координат:

$$OY: \quad M a_1 = M g - N_1 \cos - N_2 \cos , \qquad (1)$$

$$OX: \quad m a_2 = N'_1 \sin , \qquad (2)$$

где $N_2 = N_1$, $N'_1 = N_1$.

Из рисунка видно, если цилиндр опустится на расстояние S_1, то клин сместится на S_2, причем $S_1 = S_2 \operatorname{tg}$. Следовательно,

$$a_1 = a_2 \operatorname{tg} . \qquad (3)$$

Решив систему уравнений (1) – (3) относительно a_1, получим:

$$N_1 = \frac{m a_2}{\sin}; \quad M a_1 = M g - 2\frac{m a_2}{\sin}\cos ; \quad M a_1 = M g - 2\frac{m a_1}{\operatorname{tg}^2}; \quad a_1 = \frac{M g \operatorname{tg}^2}{M \operatorname{tg}^2 + 2m} = 0{,}47 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_1 = \frac{M g \operatorname{tg}^2}{M \operatorname{tg}^2 + 2m} = 0{,}47$ м/с^2.

Задача №3

Амплитуда колебаний определяется начальной скоростью чаши и ее смещением из положения равновесия в момент начала колебаний. Поскольку часть песка сбросили с чаши в крайнем верхнем положении (в котором скорость равна нулю) и колебания прекратились (амплитуда стала равной нулю), то это положение является новым положением равновесия чаши с оставшимся песком.

Начальное условие равновесия чаши с песком и условие равновесия после того, как сбросили часть песка:

$$m g = F_{\text{упр}1}; \qquad (m + m) g = F_{\text{упр}2},$$

где m – масса сброшенного песка; $F_{\text{упр}1} = k x_1$, $F_{\text{упр}2} = k x_2$ (здесь k – коэффициент жесткости пружины), причем $x_1 - x_2 = A$. Отсюда получим:

$$A = \frac{F_{\text{упр}1}}{k} - \frac{F_{\text{упр}2}}{k} = \frac{m g}{k} - \frac{(m + m) g}{k} = \frac{m g}{k}; \qquad m = \frac{k A}{g}.$$

Воспользовавшись формулой для периода колебаний пружинного маятника

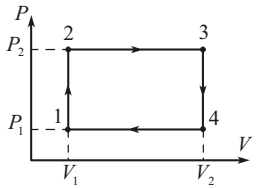
$$T = 2\sqrt{m/k},$$

получим:

$$k = \frac{4^2 m}{T^2}; \qquad m = \frac{4^2 m A}{g T^2} = 32 \text{ г}.$$

Ответ: $m = \frac{4^2 m A}{g T^2} = 32$ г.

Задача №4



Работа, совершаемая газом за цикл,

$$A = (P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = P V.$$

В циклическом процессе газ получает теплоту в процессах изохорического нагревания 1 – 2 и изобарического расширения 2 – 3:

$$Q_н = Q_{1\,2} + Q_{2\,3},$$

где

$$Q_{1\,2} = U_{1\,2} + A_{1\,2} = \frac{3}{2} R (T_2 - T_1);$$

$$Q_{2\,3} = U_{2\,3} + A_{2\,3} = \frac{3}{2} R (T_3 - T_2) + P_2 (V_2 - V_1) = \frac{3}{2} R (T_3 - T_2) + P_2 V.$$

Записав уравнение Менделеева – Клапейрона в характерных состояниях

$$P_1 V_1 = R T_1; \quad P_2 V_1 = R T_2; \quad P_2 V_2 = R T_3; \quad P_1 V_2 = R T_4,$$

получим:

$$Q_{1\,2} = \frac{3}{2}(P_2 V_1 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) = \frac{3}{2} V_1 P;$$

$$Q_{2\,3} = \frac{3}{2}(P_2 V_2 - P_2 V_1) + P_2 V = \frac{3}{2} P_2 (V_2 - V_1) + P_2 V = \frac{5}{2} P_2 V;$$

$$Q_н = \frac{3}{2} V_1 P + \frac{5}{2} P_2 V.$$

Следовательно, КПД цикла

$$\frac{A}{Q_н} = \frac{P V}{\frac{3}{2} V_1 P + \frac{5}{2} P_2 V}.$$

Отсюда получим:

$$= \frac{\frac{3}{2} V_1 P + \frac{5}{2} P_2 V}{P V} = \frac{\frac{3}{2} V_1 P + \frac{5}{2} P_2 V + \frac{5}{2} P_1 V - \frac{5}{2} P_1 V}{P V};$$

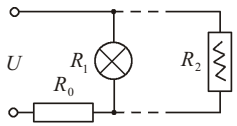
$$= \frac{\frac{5}{2} P_2 V - \frac{5}{2} P_1 V}{P V} + \frac{\frac{3}{2} V_1 P}{P V} = \frac{\frac{5}{2} P_1 V}{P V} + \frac{\frac{5}{2} P V}{P V} + \frac{\frac{3}{2} V_1}{V} = \frac{\frac{5}{2} P_1}{P} + \frac{5}{2} + \frac{\frac{3}{2} V_1}{V} = \frac{\frac{5}{2} P_1}{P}.$$

Очевидно, КПД цикла будет максимальным при $V_1 = V$ и $P_1 = P$:

$$\frac{}{}_{\max} = \frac{5}{2}; \qquad {}_{\max} = \frac{2}{5} = 40\%.$$

Ответ: ${}_{\max} = \frac{2}{5} = 40\%$.

Задача № 5



В силу громоздкости решения в общем виде, задачу будем решать, проводя вычисления.

Из формулы мощности

$$N = U^2/R$$

найдем сопротивления лампочки и электрокамина:

$$R_1 = U^2/N_1 = 484 \text{ Ом}; \qquad R_2 = U^2/N_2 = 96{,}8 \text{ Ом}.$$

До включения камина общее сопротивление цепи, ток в цепи и напряжение на лампочке:

$$R_{\text{общ}\,1} = R_0 + R_1 = 488 \text{ Ом}; \qquad I_1 = \frac{U}{R_{\text{общ}\,1}} = 0{,}451 \text{ А}; \qquad U_1 = I_1 R_1 = 218{,}2 \text{ В}.$$

После включения камина общее сопротивление цепи, ток в цепи и напряжение на лампочке:

$$R_{\text{общ}\,2} = R_0 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 84{,}67 \text{ Ом}; \qquad I_2 = \frac{U}{R_{\text{общ}\,2}} = 2{,}6 \text{ А}; \qquad U_2 = I_2 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 209{,}7 \text{ В}.$$

Следовательно, после включения камина напряжение на лампочке уменьшилось на

$$U = U_1 - U_2 = 8{,}5 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 8{,}5$ В.

Задача №6

Запишем формулу собирающей линзы в случае действительного изображения предмета и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \qquad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1},$$

где $d_1 = 3F$. Отсюда получим:

$$f_1 = \frac{3}{2}F; \qquad \Gamma_1 = \frac{1}{2}.$$

Изображение, даваемое собирающей линзой, является предметом для рассеивающей линзы и будет находиться от нее на расстоянии $d_2 = 2F - f_1 = \frac{1}{2}F$ со стороны падения лучей (т.е. предмет для рассеивающей линзы будет действительным, а его изображение – мнимым).

Запишем формулу рассеивающей линзы и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d_2} - \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}; \qquad \Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2}.$$

Отсюда получим:

$$f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F}; \qquad \Gamma_2 = \frac{F}{d_2 - F} = \frac{F}{\frac{1}{2}F - F} = \frac{2}{3}.$$

Следовательно, увеличение системы линз

$$\Gamma = \Gamma_1 \Gamma_2 = \frac{1}{3}.$$

Ответ: $\Gamma = \Gamma_1 \Gamma_2 = \frac{1}{3}$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Вариант №8

Задача №1

Под действием поршня контейнер будет двигаться вертикально вверх с ускорением

$$a = (F - m g)/m = (n m g - m g)/m = (n - 1) g.$$

При этом за время t контейнер поднимется на высоту

$$h_1 = \tfrac{1}{2} a t^2 = \tfrac{1}{2}(n - 1) g t^2$$

и приобретет скорость

$$a t = (n - 1) g t.$$

Затем в течение времени

$$t_1 = /g = (n - 1) t$$

контейнер будет двигаться равнозамедленно с ускорением свободного падения и пройдет путь

$$h_2 = {}^2/2g = \tfrac{1}{2}(n - 1)^2 g t^2.$$

Время свободного падения контейнера с высоты $h = h_1 + h_2$

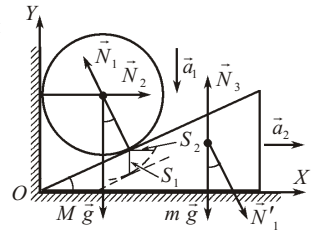
$$t_2 = \sqrt{2 h/g} = t\sqrt{(n - 1) + (n - 1)^2}.$$

Таким образом, время пребывания контейнера в состоянии невесомости

$$t_1 + t_2 = (n - 1) t + t\sqrt{(n - 1) + (n - 1)^2} = 5 \text{ с}.$$

Ответ: $(n - 1) t + t\sqrt{(n - 1) + (n - 1)^2} = 5$ с.

Задача №2



Уравнения движения шара и клина в проекциях на оси системы координат:

$$OY: \quad M a_1 = M g - N_1 \cos\ , \qquad (1)$$

$$OX: \quad m a_2 = N'_1 \sin\ , \qquad (2)$$

где $N'_1 = N_1$.

Из рисунка видно, если шар опустится на расстояние S_1, то клин сместится на S_2, причем $S_1 = S_2 \operatorname{tg}\ $. Следовательно,

$$a_1 = a_2 \operatorname{tg}\ . \qquad (3)$$

Решив систему уравнений (1) – (3) относительно a_2, получим:

$$N_1 = \frac{m a_2}{\sin}; \quad M a_2 \operatorname{tg} = M g - \frac{m a_2}{\sin}\cos\ ; \quad a_2 = \frac{M g \operatorname{tg}}{M \operatorname{tg}^2 + m} = 0{,}55 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a_2 = \dfrac{M g \operatorname{tg}^2}{M \operatorname{tg}^2 + m} = 0{,}55$ м/с^2.

Задача №3

Амплитуда колебаний определяется начальной скоростью чаши и ее смещением из положения равновесия в момент начала колебаний. Поскольку гирьку поставили на чашу в крайнем нижнем положении (в котором скорость равна нулю) и колебания прекратились (амплитуда стала равной нулю), то это положение является новым положением равновесия чаши с гирькой.

Условия равновесия чаши и чаши с гирькой:

$$M g = F_{\text{упр}\,1}; \quad (M + m) g = F_{\text{упр}\,2},$$

где $F_{\text{упр}\,1} = k x_1$, $F_{\text{упр}\,2} = k x_2$ (здесь k – коэффициент жесткости пружины), причем $x_2 - x_1 = A$. Отсюда получим:

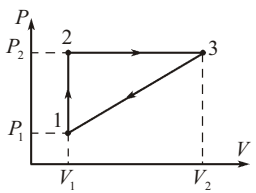
$$A = \frac{F_{\text{упр}\,2}}{k} - \frac{F_{\text{упр}\,1}}{k} = \frac{(M + m) g}{k} - \frac{M g}{k} = \frac{m g}{k}; \quad k = \frac{m g}{A}.$$

Воспользовавшись формулой для периода колебаний пружинного маятника, получим:

$$T = 2\sqrt{\frac{M}{k}} = 2\sqrt{\frac{M A}{m g}} = 1{,}4 \text{ с}.$$

Ответ: $T = 2\sqrt{\dfrac{M A}{m g}} = 1{,}4$ с.

Задача №4



Работа, совершаемая газом за цикл,

$$A = \tfrac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = \tfrac{1}{2} P V.$$

В циклическом процессе газ получает теплоту в процессах изохорического нагревания 1 – 2 и изобарического расширения 2 – 3:

$$Q_н = Q_{1\,2} + Q_{2\,3},$$

где

$$Q_{1\,2} = U_{1\,2} = A_{1\,2} = \tfrac{3}{2} R (T_2 - T_1);$$

$$Q_{2\,3} = U_{2\,3} + A_{2\,3} = \tfrac{3}{2} R (T_3 - T_2) + P_2 (V_2 - V_1) = \tfrac{3}{2} R (T_3 - T_2) + P_2 V.$$

Записав уравнение Менделеева – Клапейрона в характерных состояниях

$$P_1 V_1 = R T_1; \quad P_2 V_1 = R T_2; \quad P_2 V_2 = R T_3,$$

получим:

$$Q_{1\,2} = \tfrac{3}{2}(P_2 V_1 - P_1 V_1) = \tfrac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) = \tfrac{3}{2} V_1 P;$$

$$Q_{2\,3} = \tfrac{3}{2}(P_2 V_2 - P_2 V_1) + P_2 V = \tfrac{3}{2} P_2 (V_2 - V_1) + P_2 V = \tfrac{5}{2} P_2 V;$$

$$Q_н = \tfrac{3}{2} V_1 P + \tfrac{5}{2} P_2 V.$$

Следовательно, КПД цикла

$$\frac{A}{Q_н} = \frac{\tfrac{1}{2} P V}{\tfrac{3}{2} V_1 P + \tfrac{5}{2} P_2 V} = \frac{P V}{3 V_1 P + 5 P_2 V}.$$

Отсюда получим:

$$\frac{}{} = \frac{3 V_1 P + 5 P_2 V}{P V} - \frac{3 V_1 P + 5 P_2 V + 5 P_1 V + 5 P_1 V}{P V};$$

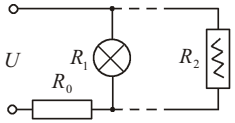
$$\frac{}{} = \frac{5 P_2 V + 5 P_1 V}{P V} - \frac{3 V_1 P}{P V} - \frac{5 P_1 V}{P V} = \frac{5 P + V}{P V} - \frac{3 V_1}{V} - \frac{\tfrac{5}{2} P_1}{P} = 5 - \frac{3 V_1}{V} - \frac{5 P_1}{P}.$$

Очевидно, КПД цикла будет максимальным при $V_1 = V$ и $P_1 = P$:

$$\frac{}{}_{\max} = 5; \quad {}_{\max} = \tfrac{1}{5} = 20\%.$$

Ответ: ${}_{\max} = \tfrac{1}{5} = 20\%$.

Задача № 5



В силу громоздкости решения в общем виде, задачу будем решать, проводя вычисления.

Из формулы мощности

$$N = U^2/R$$

найдем сопротивления лампочки:

$$R_1 = U^2/N_1 = 484 \text{ Ом}.$$

До включения камина общее сопротивление цепи, ток в цепи и напряжение на лампочке:

$$R_{\text{общ}\,1} = R_0 + R_1 = 490 \text{ Ом}; \quad I_1 = \frac{U}{R_{\text{общ}\,1}} = 0{,}45 \text{ А}; \quad U_1 = I_1 R_1 = 217{,}3 \text{ В}.$$

После включения камина напряжение U_2 на общем сопротивлении $R_{1\,2}$ лампочки и электрокамина и падение напряжения U_0 на подводящих проводах:

$$U_2 = U_1 - U = 210{,}6 \text{ В}; \quad U_0 = U - U_2 = 9{,}4 \text{ В},$$

где $R_{1\,2} = R_1 R_2/(R_1 + R_2)$.

Поскольку ток в неразветвленной части цепи равен суммарному току через нагрузку, то

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_2}{R_{1\,2}}.$$

Следовательно,

$$R_{1\,2} = \frac{U_2}{U_0} R_0 = 134{,}4 \text{ Ом}; \quad R_2 = \frac{R_1 R_{1\,2}}{R_1 - R_{1\,2}} = 186 \text{ Ом}; \quad N_2 = \frac{U^2}{R_2} = 260 \text{ Вт}.$$

Ответ: $N_2 = 260$ Вт.

Задача №6

Запишем формулу рассеивающей линзы и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d_1} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}; \quad \Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1},$$

где $d_1 = 3 F$. Отсюда получим:

$$f_1 = \tfrac{3}{4} F; \quad \Gamma_1 = \tfrac{1}{4}.$$

Изображение, даваемое рассеивающей линзой, является предметом для собирающей линзы и будет находиться от нее на расстоянии $d_2 = 2 F - f_1 = \tfrac{1}{4} F$ со стороны падения лучей (т.е. предмет и его изображение для собирающей линзы будут действительными).

Запишем формулу собирающей линзы и формулу увеличения:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}; \quad \Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2}.$$

Отсюда получим:

$$f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F}; \quad \Gamma_2 = \frac{F}{d_2 - F} = \frac{F}{\tfrac{1}{4} F - F} = \tfrac{4}{7}.$$

Следовательно, увеличение системы линз

$$\Gamma = \Gamma_1 \Gamma_2 = \tfrac{1}{7}.$$

Ответ: $\Gamma = \Gamma_1 \Gamma_2 = \tfrac{1}{7}$.

Председатель центральной методической комиссии по физике _____

Российская аэрокосмическая олимпиада школьников по физике

«СОГЛАСОВАНО»

Председатель Координационного Совета

Российской аэрокосмической олимпиады школьников

_____А.Н. Геращенко

Структура билетов и критерии оценки 2-го тура Российской аэрокосмической олимпиады школьников по физике в 2015 году

Билет, выдаваемый школьнику, содержит **6 задач** различной степени сложности по основным разделам физики: механика, молекулярная физика и термодинамика, электромагнетизм, оптика, атомная и ядерная физика. Каждый билет содержит **две задачи средней сложности**, **две задачи повышенной сложности**, **одну сложную** и **одну нестандартную задачу**. Таким образом, школьнику требуется продемонстрировать знания и умения решения задач разной сложности по темам из нескольких разделов физики. Задачи в билетах располагаются в соответствии с общепринятым порядком изучения основных разделов физики в школах.

Оценка работы складывается из баллов, полученных за каждую отдельную задачу. Максимальный вклад задачи средней сложности равен **10** баллам, повышенной сложности – **15**, сложной – **20**, нестандартной – **30**. Максимальная оценка за работу **100** баллов.

За решение каждой задачи билета выставляется одна из следующих оценок:

1,0 – задача решена правильно;

0,8 – задача решена правильно и получен ответ в общем виде; есть ошибка в размерности полученной физической величины или арифметическая ошибка;

0,6 – задача решена не полностью; имеются все необходимые для ее решения физические соотношения; есть ошибка в алгебраических преобразованиях;

0,4 – задача решена не полностью; отсутствуют некоторые физические соотношения, необходимые для решения задачи;

0,2 – задача не решена; в работе имеются лишь отдельные записи, относящиеся к решению данной задачи или к описанию явления, рассматриваемого в задаче;

0,0 – решение задачи или относящиеся к нему какие-либо записи в работе отсутствуют.

За каждую задачу ставится балл, равный оценке, полученной за ее решение, умноженной на максимальный балл за данную задачу.

За работу в целом ставится оценка, равная сумме баллов, полученных за решение каждой задачи. Если сумма баллов равна нулю, то итоговая оценка за работу «1».

Председатель центральной методической комиссии олимпиады _____