

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 09

Шифр

(заполняется секретарём)

Вариант 09-04

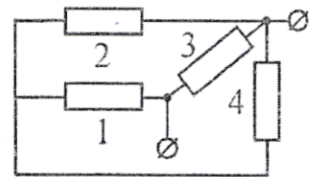
✓ **1** Первый вагон поезда прошел мимо наблюдателя, стоящего на платформе, за $\tau_1 = 1$ с, а второй - за $\tau_2 = 1,5$ с. Длина каждого вагона $L = 12$ м. Через какое время T после начала наблюдения поезд остановился? В процессе торможения поезд движется по прямой равнозамедленно.

✓ **2** Начальная скорость камня, брошенного под углом к горизонту, равна $V_0 = 10$ м/с, а через $\tau = 0,5$ с величина скорости камня уменьшилась до $V = 7$ м/с. Найдите максимальную высоту H полета камня. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

3 На нити подвешен шарик. Шарик отводят в сторону так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. Какой угол α образует нить с вертикалью в тот момент, когда ускорение шарика направлено горизонтально?

✓ **4** В калориметр, содержащий $m_1 = 2$ кг льда при температуре $t_1 = -5$ °С, добавили $m_2 = 200$ г воды при температуре $t_2 = +5$ °С. Определите массу m льда в калориметре после установления равновесия. Удельные теплоемкости льда $c_1 = 2100$ Дж/(кг·К), воды $c_2 = 4200$ Дж/(кг·К), удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг.

✓ **5** Цепь, схема которой показана на рисунке, подключена к источнику постоянного напряжения. Сопротивления всех резисторов равны. На резисторе 1 рассеивается мощность $P_1 = 10$ Вт. Найдите мощность P , рассеиваемую на всей цепи.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. v - конечная скорость
 $v = 0$
 $\tau_1 = 1\text{c}$
 $\tau_2 = 1,5\text{c}$
 $L = 12\text{м}$
 a - ускорение
 $T = ?$
- t_1 - время прохождения I вагона
 $t_1 = \tau_1$
 t_2 - время прохождения I и II вагонов, ~~$t_2 = \tau_1 + \tau_2$~~
 v_0 - начальная скорость
 $t_2 = \tau_1 + \tau_2$
 $t_2 = 1\text{c} + 1,5\text{c} = 2,5\text{c}$
 $L = v_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2}$ (первый вагон)
 $2L = v_0 t_2 - \frac{a t_2^2}{2}$ (первый и второй вагоны)

$$\begin{cases} L = v_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2} \\ 2L = v_0 t_2 - \frac{a t_2^2}{2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} L + \frac{a t_1^2}{2} = v_0 t_1 \\ 2L + \frac{a t_2^2}{2} = v_0 t_2 \end{cases} \div \Leftrightarrow \frac{L + \frac{a t_1^2}{2}}{2L + \frac{a t_2^2}{2}} = \frac{t_1}{t_2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow t_2 \left(L + \frac{a t_1^2}{2} \right) = t_1 \left(2L + \frac{a t_2^2}{2} \right)$$

$$t_2 L + t_2 \frac{a t_1^2}{2} = 2 t_1 L + t_1 \frac{a t_2^2}{2}$$

$$a \left(\frac{t_2 t_1^2}{2} - \frac{t_1 t_2^2}{2} \right) = 2 t_1 L - t_2 L$$

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

$$\begin{cases} L + \frac{a t_1^2}{2} = v_0 t_1 \\ 2L + \frac{a t_2^2}{2} = v_0 t_2 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} v_0 t_1 - L = \frac{a t_1^2}{2} \\ v_0 t_2 - \frac{a t_2^2}{2} = 2L \end{cases}$$

$$\frac{v_0 t_1 - L}{v_0 t_2 - 2L} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$$

$$(v_0 t_1 - L) t_2^2 = (v_0 t_2 - 2L) t_1^2$$

$$v_0 t_1 t_2^2 - L t_2^2 = v_0 t_2 t_1^2 - 2L t_1^2$$

$$v_0 (t_1 t_2^2 - t_2 t_1^2) = L t_2^2 - 2L t_1^2$$

$$v_0 = \frac{L t_2^2 - 2L t_1^2}{t_1 t_2^2 - t_2 t_1^2} = \frac{12 \cdot 6,25 - 2 \cdot 12 \cdot 1}{1 \cdot 6,25 - 2,5 \cdot 1} = \frac{51}{3,75} = 13,6 \text{ м/с}$$

~~$$a = \frac{2 \cdot 1 \cdot 12 - 2,5 \cdot 12}{\frac{2,5 \cdot 1^2}{2} - \frac{1 \cdot 2,5^2}{2}} = \frac{48 - 60}{1,25 - 3,125} = \frac{-12}{-1,875} = 6,4 \text{ м/с}^2$$~~

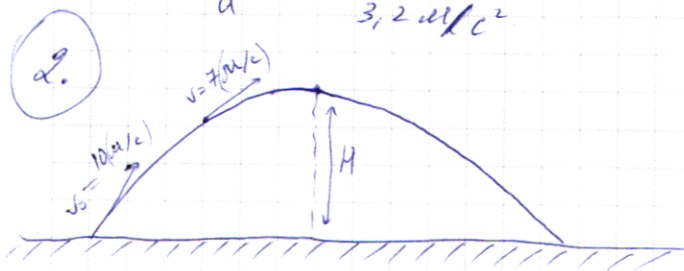
$$a = \frac{2 \cdot 1 \cdot 12 - 2,5 \cdot 12}{\frac{2,5 \cdot 1^2}{2} - \frac{1 \cdot 2,5^2}{2}} = \frac{48 - 60}{1,25 - 3,125} = \frac{12}{3,75} = 3,2 \text{ м/с}^2$$

$$a = \frac{v_0 - v}{T}$$

$$T = \frac{v_0 - v}{a}$$

$$T = \frac{v_0}{a} = \frac{13,6 \text{ м/с}}{3,2 \text{ м/с}^2} = 4,25 \text{ с}$$

Ответ: 4,25 с



$v_0 = 10 \text{ м/с}$
 $T = 0,5 \text{ с}$
 $v = 7 \text{ м/с}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$
 $H = ?$

за $T = 0,5 \text{ с}$ вертикальная скорость
 камня $v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha$ уменьшилась
 на Tg , а горизонтальная
 скорость $v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$ осталась
 неизменной, отсюда $v^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$,
 $v^2 = (v_0 \cdot \cos \alpha - Tg)^2 + v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha$

$$v^2 = v_0^2 \sin^2 \alpha - 2v_0 \sin \alpha Tg + T^2 g^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha$$

$$v^2 = v_0^2 - 2v_0 \sin \alpha Tg + T^2 g^2$$

$$\sin \alpha = \frac{v_0^2 + T^2 g^2 - v^2}{2v_0 T g} \quad \sin \alpha = \frac{100 + 0,25 \cdot 100 - 49}{2 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 10} = \frac{125 - 49}{100} = 0,76$$

предположим что t_h это время за которое камень достигнет вершины H . Когда камень будет в точке H , его вертикальная скорость будет равна нулю, отсюда

$$v_0 \sin \alpha - g t_h = 0$$

$$t_h = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$H = \frac{g t_h^2}{2}$$

$$H = \frac{g \cdot v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g^2}$$

$$H = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$H = \frac{100 \cdot 0,76^2}{2 \cdot 10} = 2,888 \text{ (м)}$$

Ответ: 2,888 (м)

4. $m_1 = 2 \text{ кг}$

$t_1 = -5^\circ \text{C}$

$m_2 = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$

$t_2 = +5^\circ \text{C}$

$c_1 = 2100 \text{ (кж/кг}\cdot\text{K)}$

$c_2 = 4200 \text{ (кж/кг}\cdot\text{K)}$

$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ (кж/кг)}$

$m = ?$

если после установления теплового равновесия в калориметре остался лёд, то установившаяся температура $t = 0$. $m_{\text{л}}$ - масса растаявшего льда

$$m = m_1 - m_{\text{л}}$$

закон теплового равновесия имеет

$Q_1 + Q_2 = 0$, где Q_1 это тепло которое отдаёт вода, а Q_2 тепло которое получил лёд.

$$Q_1 = c_2 m_2 (t - t_2) = -c_2 m_2 t$$

$$Q_2 = c_1 m_1 (t - t_1) + \lambda m_{\text{л}}$$

~~$$c_1 m_1 (t - t_1)$$~~
$$c_1 m_1 (t - t_1) + \lambda m_{\text{л}} + c_2 m_2 (t - t_2) = 0$$

$$c_1 m_1 (0 - t_1) + \lambda m_{\text{л}} + c_2 m_2 (0 - t_2) = 0$$

$$-t_1 c_1 m_1 + \lambda m_{\text{л}} - t_2 c_2 m_2 = 0$$

$$m_{\text{л}} = \frac{t_1 c_1 m_1 + t_2 c_2 m_2}{\lambda}$$

$$m_{\text{л}} = \frac{-5 \cdot 2100 \cdot 2 + 5 \cdot 4200 \cdot 0,2}{3,3 \cdot 10^5} = -\frac{16800}{3,3 \cdot 10^5} \approx -0,051 \text{ кг}$$

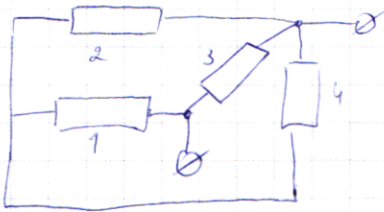
знак минус означает, что лёд превратился в.

$$m = m_1 - m_{\text{л}} = 2 \text{ кг} + 0,051 \text{ кг} \approx 2,051 \text{ кг}$$

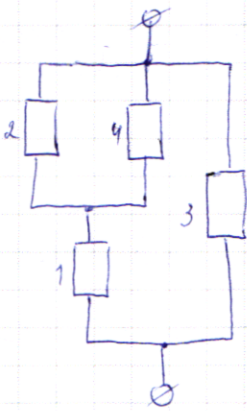
Ответ: 2,051 кг

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

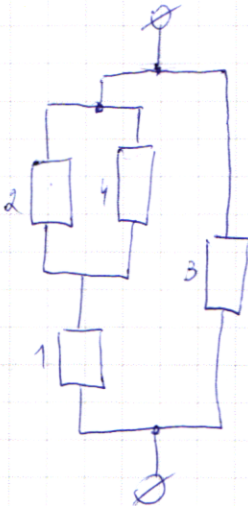
5.



упрости схему



упрости схему



сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$

$$P_1 = 10 \text{ Вт}$$

$$P = ?$$

U - напряжение всей цепи

U_1 - напряжение в резисторе 1

соединение участков 2,4 и 3 параллельное $\Rightarrow U_3 = U_{2,4} = U$

соединение участков 2,4 и 1 последовательное $\Rightarrow U_1 + U_{2,4} = U_{1,2,4} = U$, $I_1 = I_{2,4} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_{2,4}}{R_{2,4}}$$

$$R_{2,4} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = \frac{R^2}{2R} = \frac{R}{2}$$

$$R_1 = R$$

$$\frac{U_1}{R} = \frac{2U_{2,4}}{R} \Rightarrow U_1 = 2U_{2,4} \Rightarrow U_{2,4} = \frac{U_1}{2}$$

$$U_1 + U_{2,4} = U_1 + \frac{U_1}{2} = U$$

$$\frac{3}{2}U_1 = U \Rightarrow \underline{U_1 = \frac{2}{3}U}$$

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{св}}} \quad (\text{где } R_{\text{св}} \text{ это сопротивление всей цепи)}$$

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} \Rightarrow U_1^2 = P_1 R_1 \Rightarrow \frac{4}{9}U^2 = P_1 R$$

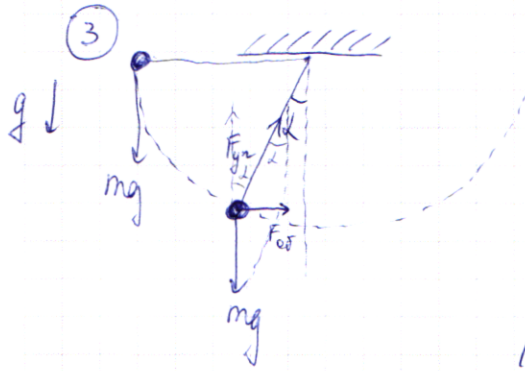
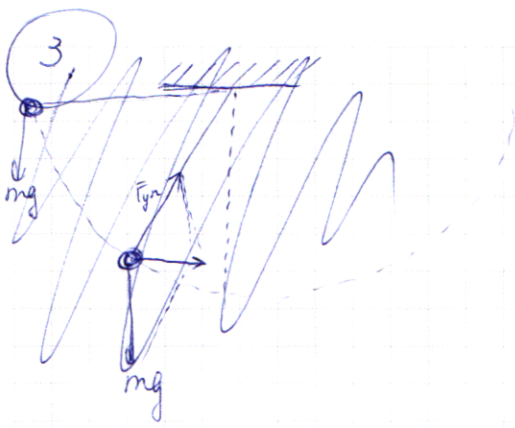
$$R_{\text{св}} = \frac{R_{2,4,1} \cdot R_3}{R_{2,4,1} + R_3} = \frac{(R_{2,4} + R_1) \cdot R_3}{(R_{2,4} + R_1) + R_3} = \frac{(\frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} + R_1) \cdot R_3}{\frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} + R_1 + R_3} =$$

$$= \frac{(\frac{R}{2} + R)R}{\frac{R}{2} + R + R} = \frac{\frac{3}{2}R^2}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5}R$$

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{св}}} = \frac{5U^2}{3R}, \quad \frac{4U^2}{9} = P_1 R \Rightarrow U^2 = \frac{9}{4}P_1 R$$

$$P = \frac{5 \cdot \frac{9}{4}P_1 R}{3R} = \frac{45}{12}P_1 = \frac{15}{4}P_1 = \frac{15}{4} \cdot 10 \text{ Вт} = 37,5 \text{ Вт}$$

Ответ: 37,5 Вт



a - ускорение шарика.

величина ускорения остается неизменной во время ~~всего~~ движения. В момент начала движения ускорение шарика было равно g , отсюда следует, что $|a|=g$

$F_{уп}$ - сила упругости нити

m - это масса шарика

когда нить образует с вертикалью угол α , у шарика ускорение направлено горизонтально \Rightarrow вертикального ускорения нет \Rightarrow (II закон Ньютона) $mg - F_{уп} \cdot \cos \alpha = 0$

$$F_{уп} = \frac{mg}{\cos \alpha}$$

(II закон Ньютона)

$$F_{уп} \cdot \sin \alpha = ma$$

$$\frac{mg \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = ma$$

$$g \cdot \operatorname{tg} \alpha = a$$

$$g \cdot \operatorname{tg} \alpha = g$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 \Rightarrow \alpha = 45^\circ$$

Ответ: 45°

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$v=0$
 $t_1 = 1c$
 $t_2 = 1,5c$
 $L = 12m$
 $a = const$
 $T = ?$

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

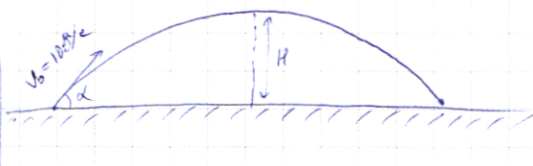
$$\begin{cases} L = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2} \\ 2L = v_0(t_1 + t_2) - \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 = \frac{L + \frac{at_1^2}{2}}{t_1} \\ 2L = \frac{L + \frac{at_1^2}{2}}{t_1} (t_1 + t_2) - \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2} \\ 2L = v_0(t_1 + t_2) - \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} L + \frac{at_1^2}{2} = v_0 t_1 \\ 2L + \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} = v_0(t_1 + t_2) \end{cases}$$

$$\frac{L + \frac{at_1^2}{2}}{2L + \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2}} = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

$$(t_1 + t_2) \left(L + \frac{at_1^2}{2} \right) = t_1 \left(2L + \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2} \right)$$

$v_0 = 10 m/s$
 $\tau = 0,5c$
 $v = 7 m/s$
 $g = 10 m/s^2$
 $H = ?$



$$\tau = 0,5c$$

$$(v_0 \cdot \sin \alpha - \tau \cdot g)^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha = v^2$$

вертикальная скорость уменьшается на $\tau \cdot g$, а горизонтальная - на $\tau \cdot g$, а горизонтальная - $v_0 \cdot \sin \alpha - \tau \cdot g = 0$

$$v_0^2 \sin^2 \alpha - 2v_0 \sin \alpha \tau g + \tau^2 g^2 + v_0^2 \cos^2 \alpha = v^2$$

$$v_0^2 - 2v_0 \sin \alpha \tau g + \tau^2 g^2 = v^2$$

$$\sin \alpha = \frac{v_0^2 + \tau^2 g^2 - v^2}{2v_0 \tau g} = \frac{100 + 0,25 \cdot 100 - 49}{2 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 10} = \frac{100 + 25 - 49}{100} = 0,76$$

$$\alpha \approx 49,46^\circ$$

$$H = \frac{g \tau^2}{2} = \frac{g \cdot v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g^2} = \frac{100 \cdot 0,76^2}{20} \approx 2,888$$

$m_1 = 2 \text{ кг}$
 $t_1 = -5^\circ \text{C}$
 $m_2 = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$
 $t_2 = +5^\circ \text{C}$
 $c_1 = 2100 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$
 $c_2 = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$
 $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$
 $m = ?$

t - температура установившейся после установившегося теплового равновесия

~~Q_1 - тепло которое отдает лёд~~
 ~~m_1 - масса расплавленного льда~~
 $m = m_1 - m_2$

закон теплового равновесия

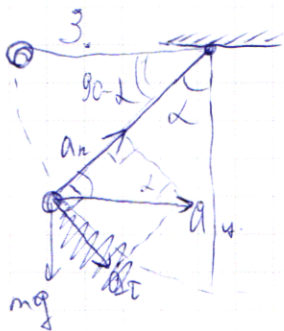
$Q_1 + Q_2 = 0$ ($-Q_1$ это тепло которое попустил лёд, Q_2 тепло которое было отдано водой)

~~$c_1(0-t_1)m_1 + \lambda m_1$~~
 если после установившегося теплового равновесия в кал. осталось лёд, тогда $t = 0$

$c_1(0-t_1)m_1 + \lambda m_1 + c_2(0-t_2)m_2 = 0$

$-t_1 c_1 m_1 + \lambda m_1 - t_2 c_2 m_2 = 0$

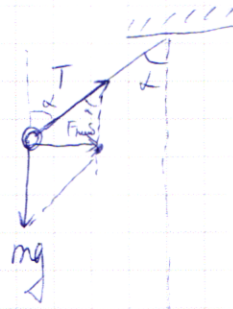
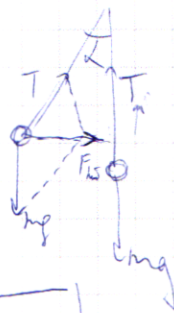
$m_1 = \frac{t_1 c_1 m_1 + t_2 c_2 m_2}{\lambda}$



$A_4 \cdot \sin \alpha = A_n$
 $A_4 + \cos \alpha = A_n$

$\vec{T} + m\vec{g} = F_{\text{инт}}$

$\frac{mv^2}{l} +$



$T \cdot \cos \alpha = mg$

$T = \frac{mg}{\cos \alpha}$

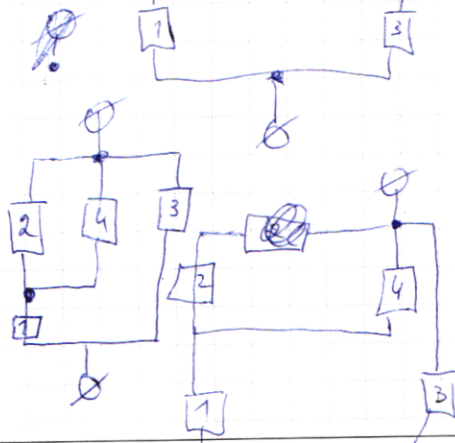
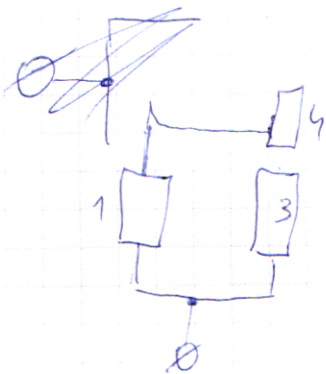
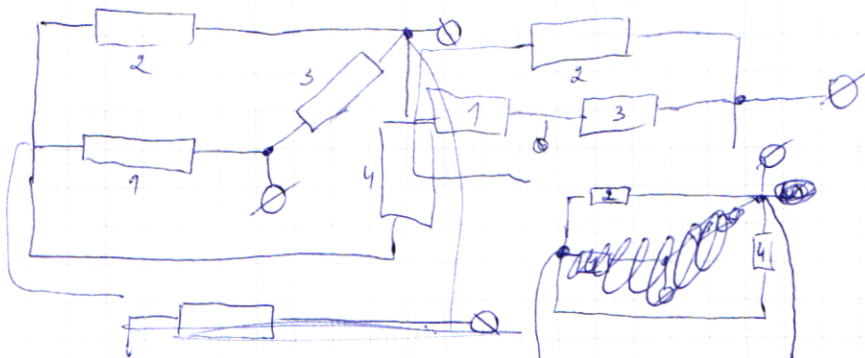
$F_{\text{инт}} = T \cdot \sin \alpha$

$F_{\text{инт}} = \frac{mg \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha} = mg \cdot \tan \alpha$

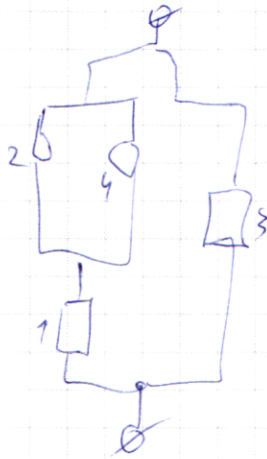
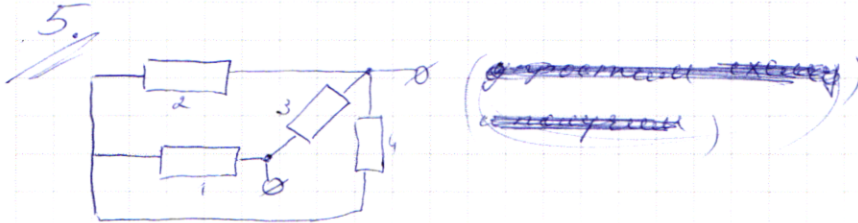
$F_{\text{инт}} = ma$

$a = \frac{F_{\text{инт}}}{m} = g \cdot \tan \alpha$

$a = \frac{v^2}{R} \cdot \sin \alpha$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$u = \text{const}$$

$$P_1 = 10 \text{ Вт}$$

$$P = 7$$

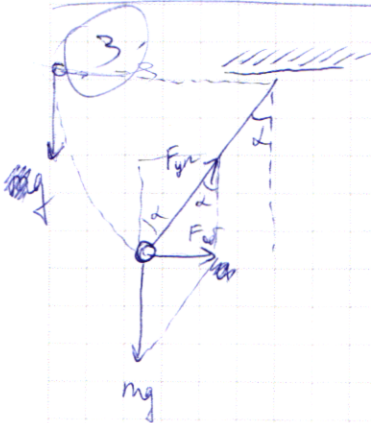
$$P = 3U$$

$$A = 3Ut \quad P = \frac{A}{t}$$

$$P = \frac{u^2}{R}$$

$$R_1 = R$$

$$R_{\text{экв}} = \frac{R \cdot 1,5R}{R + 1,5R} = \frac{1,5R^2}{2,5R} = 0,6R = \frac{3}{5}R$$



$$F_T \cdot \cos \alpha = mg$$

$$F_T = \frac{mg}{\cos \alpha}$$

$$F_T \cdot \sin \alpha = F_{\text{ос}}$$

$$\frac{mg}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = F_{\text{ос}}$$

$$F_{\text{ос}} = mg \cdot \tan \alpha$$

$$ma = mg \cdot \tan \alpha$$

$$a = g \cdot \tan \alpha$$

$$|a_{\text{ос}}| = \text{const}$$

в верхней точке $a_{\text{ос}} = g$

$$g = g \cdot \tan \alpha$$

$$\tan \alpha = 1$$

$$\alpha = 45^\circ$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 8
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Grid area for writing the answer.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 9
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 10
(Нумеровать только чистовики)