

# Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 09

## Вариант 09-03

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

1. Однородное колесо радиуса  $R = 0,5$  м катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности и за время  $T = 1,57$  с совершает один оборот. Точки А и В лежат на ободе колеса, АВ – диаметр колеса.

1) С какой скоростью  $V_0$  движется ось колеса?

2) С какой скоростью  $V_A$  движется точка А на ободе колеса, если точка В движется со скоростью  $V_B = 2$  м/с?

Все скорости измерены в лабораторной системе отсчета. Ось колеса движется равномерно.

2. Мяч, отбитый теннисистом на высоте  $h = 0,5$  м, поднимается на максимальную высоту  $H = 3$  м и за оставшееся время полета перемещается по горизонтали на  $S = 12$  м.

1) Через какое время  $T$  после удара мяч поднимется на максимальную высоту?

2) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

3. Чтобы спускать брусок равномерно по наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту, следует приложить силу  $F_1$ , направленную вверх вдоль наклонной плоскости, а чтобы равномерно втаскивать брусок вверх, следует приложить такую же по направлению силу  $F_2$ .

1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения бруска по плоскости, если  $F_2 = 2 \cdot F_1$ .

2) Какую по величине  $V_0$  скорость, направленную вверх вдоль наклонной плоскости, следует сообщить бруску, чтобы он остановился на расстоянии  $S = 1,35$  м от точки старта? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

4. Две шайбы, скорости которых  $V_1 = 2$  м/с и  $V_2 = 3$  м/с, движутся навстречу друг другу по гладкой горизонтальной плоскости и испытывают абсолютно упругий центральный удар. Массы шайб  $m_1 = 0,3$  кг и  $m_2 = 0,2$  кг.

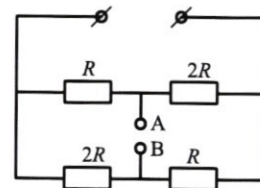
1) Найдите максимальную энергию  $E$  деформации шайб в процессе соударения.

2) Через какое время  $T$  после соударения расстояние между шайбами будет равно  $L = 2$  м?

5. Электрическая цепь состоит из идеального источника постоянного напряжения и четырех резисторов (см. схему на рис.). Если к клеммам А и В подключить идеальный вольтметр, то он покажет напряжение  $U = 4$  В. Если вольтметр заменить идеальным амперметром, он покажет силу тока  $I = 30$  мА.

1) Найдите напряжение  $U_0$  источника.

2) Какая мощность  $P$  будет рассеиваться в цепи при включенном вольтметре?





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

### Задача 1

Дано

$$R = 0,5 \text{ м}$$

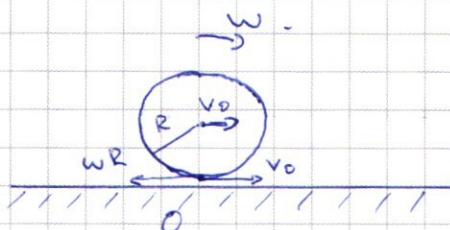
$$T = 1,57 \text{ с}$$

AB - диаметр  
колеса

1)  $V_0$  - ?

2)  $V_A$  - ?

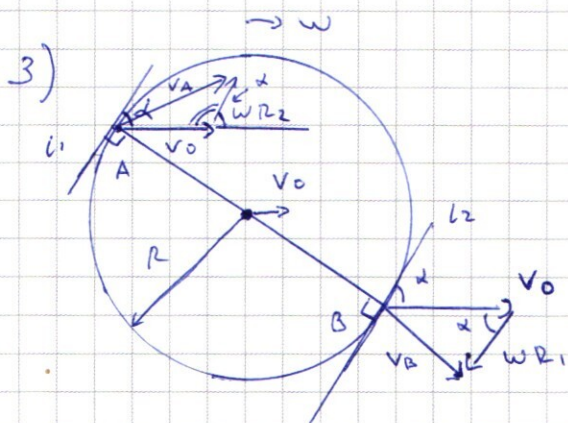
$$V_B = 2 \text{ м/с}$$



$\omega$  - скорость в  
нижней точке (O)

1) т.к. колесо совершает один оборот  
за время  $T \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$

2) т.к. колесо движется без проскаль-  
зывания  $\Rightarrow \omega O = 0 = V_0 - \omega R \Rightarrow V_0 = \omega R =$   
 $= \frac{2\pi R}{T} = \frac{2\pi \cdot 0,5 \text{ м}}{1,57 \text{ с}} \approx \frac{3,14 \text{ м}}{1,57 \text{ с}} \approx 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



$$|\vec{\omega R_1}| = |\vec{\omega R_2}| = |\vec{\omega R}|$$

$$\vec{V}_B = \vec{V}_0 + \vec{\omega R_1}$$

Пусть  $\alpha$  - угол между

$$\vec{\omega R_2} \text{ и } \vec{V}_0, l_1 \parallel \vec{\omega R_2} \parallel l_2 \parallel \vec{\omega R_1}$$

$$V_B^2 = V_0^2 + (\omega R_1)^2 - 2 V_0 \omega R_1 \cdot \cos \alpha$$

$$4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \frac{(8-4) \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{1}{2}$$

$$\vec{V}_A = \vec{V}_0 + \vec{\omega R_2} \Rightarrow V_A^2 = V_0^2 + (\omega R_2)^2 - 2 V_0 \omega R_2 \cos (180 - \alpha) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_A^2 = 4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 4 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \cos \alpha = 12 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \Rightarrow V_A = 2\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $V_0 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $V_A = 2\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

## Задача 2

Дано

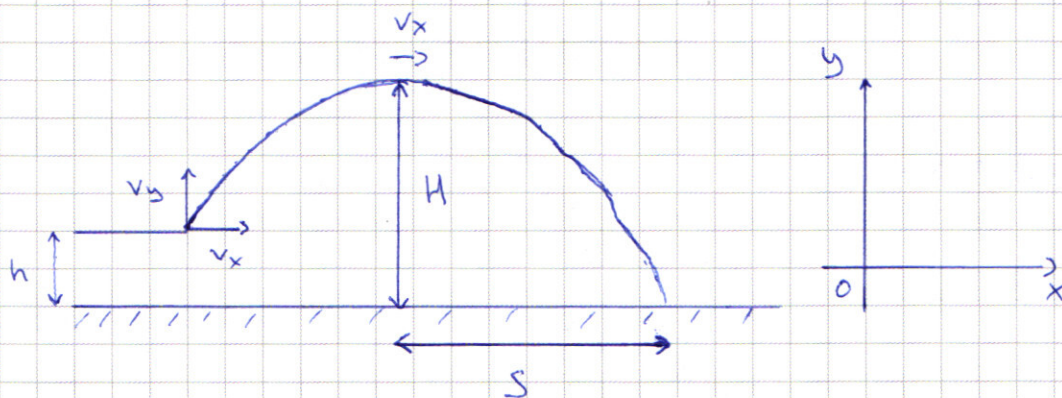
$$h = 0,5 \text{ м}$$

$$H = 3 \text{ м}$$

$$S = 12 \text{ м}$$

$$T = ?$$

$$v_0 = ?$$



1) Разложим  $\vec{v}_0$  на  $v_x$  и  $v_y$

$$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2, \quad v_x = \text{const}, \quad \text{и.к.} \quad \sum F_x = 0$$

$$2) \quad \text{оу: } H - h = \frac{0 - v_y^2}{-2g} \Rightarrow v_y^2 = (H - h) 2g \Rightarrow v_y = \sqrt{(H - h) 2g} =$$

$$\sqrt{2,5 \text{ м} \cdot 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \sqrt{50} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 5\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$T = \frac{0 - v_y}{-g} = \frac{v_y}{g} = \frac{5\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ с}$$

$$3) \quad \text{ох: } S = v_x \cdot t$$

$$\text{оу: } H = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3 \text{ м}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = \sqrt{0,6} \text{ с}$$

$$\Rightarrow v_x = \frac{S}{t} = \frac{12 \text{ м}}{\sqrt{0,6} \text{ с}} = \frac{12\sqrt{0,6}}{0,6} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 20\sqrt{0,6} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$4) \quad v_0^2 = v_y^2 + v_x^2 = (25 \cdot 2 + 400 \cdot 0,6) \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = (50 + 240) \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 290 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{290} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } T = \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ с}$$

$$v_0 = \sqrt{290} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

### Задача 3

Дано

$$\alpha = 30^\circ$$

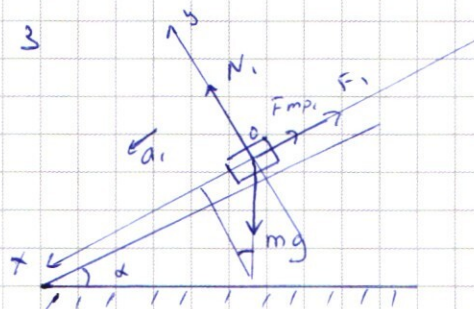
$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = 0$$

$$1) \mu - ?$$

$$|\vec{F}_2| = 2|\vec{F}_1|$$

$$2) v_0 - ?$$

$$S = 1,35 \text{ м}$$



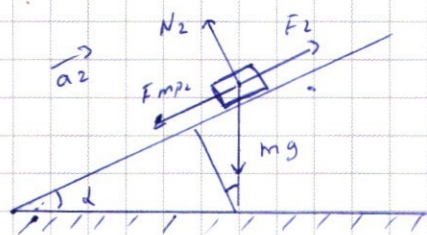
$$Ox: m a_x = mg \sin \alpha - F_{mp1} - F_1$$

$$Oy: m a_y = N_1 - mg \cos \alpha$$

$$a_x = a_y = 0, F_{mp1} = N_1 \cdot \mu$$

$$N_1 = mg \cos \alpha$$

$$mg \sin \alpha = mg \cos \alpha \mu + F_1 \quad (1)$$



$$Ox: m a_x = F_{mp2} + mg \sin \alpha - F_2$$

$$Oy: m a_y = N_2 - mg \cos \alpha$$

$$a_x = a_y = 0, F_{mp2} = N_2 \cdot \mu$$

$$N_2 = mg \cos \alpha \Rightarrow$$

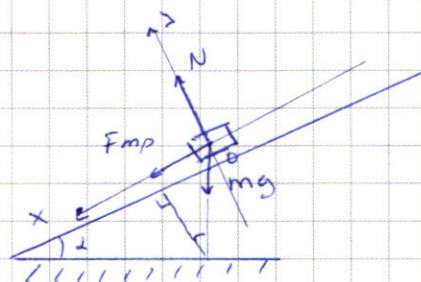
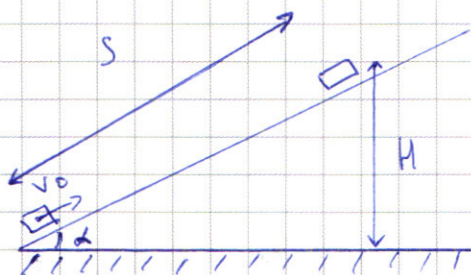
$$\Rightarrow F_2 = mg \cos \alpha \mu + mg \sin \alpha \quad (2)$$

$$(1) \quad mg(\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \mu) = F_1 \Rightarrow \frac{\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \mu}{\cos \alpha \cdot \mu + \sin \alpha} = \frac{1}{2} \Rightarrow$$

$$(2) \quad mg(\cos \alpha \mu + \sin \alpha) = F_2$$

$$\Rightarrow 2 \sin \alpha - 2 \cos \alpha \cdot \mu = \cos \alpha \mu + \sin \alpha \Rightarrow 3 \cos \alpha \cdot \mu = \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{\sin \alpha}{3 \cos \alpha} = \frac{\frac{1}{2}}{3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{1}{3\sqrt{3}}$$



$$Oy: N = mg \cdot \cos \alpha$$

$$F_{mp} = N \cdot \mu = mg \cos \alpha \cdot \mu$$

Баланс энергии:

$$U_2 - E_1 = A_{тр}$$

$$\begin{cases} U_2 = mgH, & H = S \cdot \sin \alpha \\ E_1 = m \frac{v_0^2}{2} \\ A_{тр} = -F_{mp} \cdot S = -mg \cos \alpha \cdot S \cdot \mu \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow mg \cdot S \cdot \sin \alpha - m \frac{v_0^2}{2} = -mg \cos \alpha \cdot \mu \cdot S \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_0^2}{2} = g \cdot S \cdot \sin \alpha + g \cos \alpha \cdot \mu \cdot S \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0^2 = 2gS(\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \mu) = 2 \cdot 10 \frac{м}{с^2} \cdot 1,35 м \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{3\sqrt{3}} \right)$$

$$\left( 2 \cdot 10 \cdot 1,35 \cdot \frac{2}{3} \right) \frac{м^2}{с^2} = \frac{54}{3} \frac{м^2}{с^2} = 18 \frac{м^2}{с^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = 3\sqrt{2} \frac{м}{с}$$

Ответ:  $\mu = \frac{1}{3\sqrt{3}}$

$$v_0 = 3\sqrt{2} \frac{м}{с}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

### Задача 5

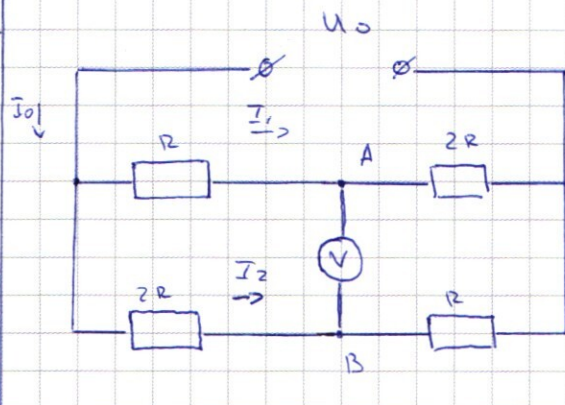
Дано

$$U_A = 4 \text{ В}$$

$$I_2 = 30 \text{ мА}$$

1)  $U_0$  - ?

2)  $P_0$  - ?



т.к. вольтметр

идеальный  $\Rightarrow$  он

не пропускает

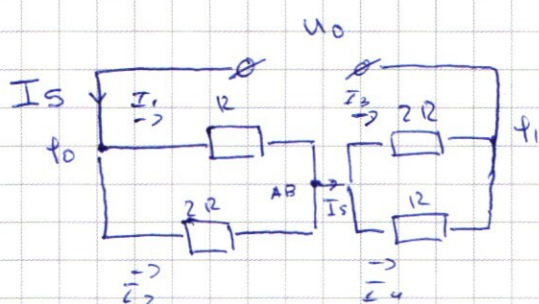
через себя ток.

$$\begin{cases} U_0 = I_1 \cdot 3R \\ U_0 = I_2 \cdot 3R \end{cases} \Rightarrow I_1 = I_2 = I$$

$$2) \begin{cases} \varphi_A - \varphi_B = U \\ \varphi_A - \varphi_B = -IR + I2R \end{cases}$$

$$\Rightarrow IR = U = 4 \text{ В} \Rightarrow U_0 = 3IR = 12 \text{ В}$$

$$3) \begin{cases} P_0 = U_0 \cdot I_0, I_0 = 2I \Rightarrow P_0 = U_0 \cdot 2I \\ P_{\text{пот}} = 2 \cdot I^2 \cdot 3R \\ I = \frac{U}{R} \end{cases} \Rightarrow P = P_0 - P_{\text{пот}}$$



4) т.к. амперметр идеаль-

ный  $\Rightarrow$  мы можем заме-

нить его проводом, тогда

$\varphi_A = \varphi_B \Rightarrow$  мы можем объединить  
узлы А и узлы В.

$$|I_3 - I_1| = I_A \quad (1)$$

$$I_3 + I_4 = I_5$$

$$I_5 = I_1 + I_2 \quad (2)$$

$$\varphi_A - \varphi_B = I_3 \cdot 2R = I_4 \cdot R \Rightarrow$$

$$\varphi_0 - \varphi_{AB} = I_1 R = I_2 \cdot 2R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_3 = \frac{I_4}{2} \Rightarrow I_3 = \frac{1}{3} I_5 \quad (4)$$

$$\Rightarrow I_1 = 2I_2 \Rightarrow I_1 = \frac{2}{3} I_5 \quad (3)$$

$$(1) - (4) \left| \frac{1}{3} I_5 = \frac{2}{3} I_5 \right| = I_A \Rightarrow \frac{1}{3} I_5 = I_A$$

$$U_0 = I_S \cdot R_0 \Delta u_{s1} + R_0 \Delta u_{s2}$$

$$R_0 \Delta u_{s1} = R_0 \Delta u_{s2} = \frac{2}{3} R \Rightarrow U_0 = 3 I_a \cdot \frac{4}{3} R \Rightarrow$$

$$I_S = 3 I_a = 90 \mu A \Rightarrow 12 B = I_a \cdot 4 R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R = \frac{\frac{3 B}{I_a}}{\frac{3 B}{0,03 A}} = 100 \Omega \quad (*)$$

(\*)  $\rightarrow$  пункт 3

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{3 B}{100 \Omega} = 0,03 A \Rightarrow I_{0.2} I = 0,06 A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_n = I_0 \cdot U_0 = 0,06 A \cdot 12 B = 0,72 Bm$$

$$P_{пол} = 2 \cdot \underbrace{I^2}_{U} \cdot R = 2 \cdot 0,03^2 A \cdot 100 \Omega = 2 \cdot 0,0009 A^2 \cdot 100 \Omega = 0,18 Bm$$

$$P = P_n - P_{пол} = 0,72 Bm - 0,18 Bm = 0,54 Bm$$

Ответ:  $U_0 = 12 B$

$$P = 0,54 Bm$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

### Задача 4

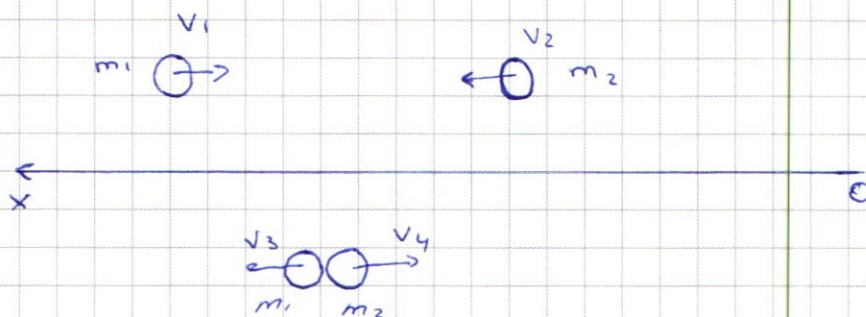
Дано

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 3 \text{ м/с}$$

$$m_1 = 0,3 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,2 \text{ кг}$$



1)  $E_{\text{max}} = ?$

ЗСМ ОХ:

2)  $T = ?$

$$-m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_3 - m_2 v_4 \quad (1)$$

$$L = 2 \text{ м}$$

П.к удар упругий  $\Rightarrow E = \omega \vec{n} \cdot \vec{s} +$

ЗСЭ

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_3^2}{2} + \frac{m_2 v_4^2}{2} \quad (2)$$

$$\begin{cases} m_1 (v_1 - v_3) (v_1 + v_3) = m_2 (v_4 - v_2) (v_4 + v_2) \\ -m_1 (v_1 + v_3) = -m_2 (v_4 + v_2) \end{cases} \Rightarrow v_1 - v_3 = v_4 - v_2$$

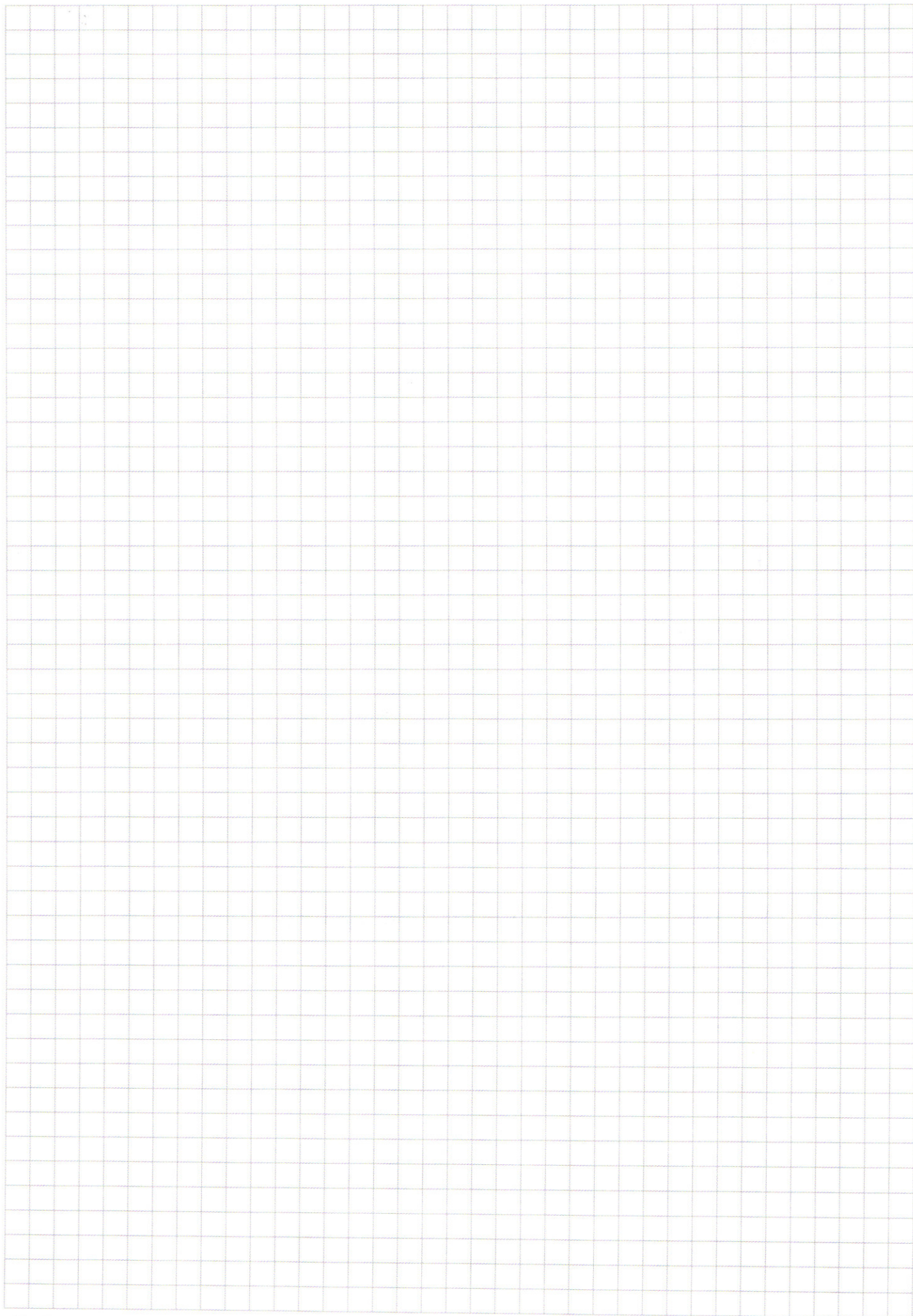
$$\begin{aligned} \Rightarrow \begin{cases} \frac{m_1}{m_2} (v_1 + v_3) = v_4 + v_2 \\ v_1 - v_3 = v_4 - v_2 \end{cases} & \Rightarrow \frac{3}{2} v_1 - v_1 + \frac{3}{2} v_3 + v_3 = 2 v_2 \\ \frac{1}{2} v_1 + \frac{5}{2} v_3 = 2 v_2 & \Rightarrow v_3 = \frac{2 v_2 - \frac{1}{2} v_1}{5} \cdot 2 \\ = 6 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с} \cdot \frac{2}{5} = 2 \text{ м/с} & \Rightarrow v_4 = 3 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$$L = (v_3 + v_4) \cdot T \quad (3) \Rightarrow T = \frac{L}{v_3 + v_4} = \frac{2 \text{ м}}{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{2}{5} \text{ с} = 0,4 \text{ с}$$

т.к удар абсолютно упругий  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  шары не деформируются  $\Rightarrow E_{\text{max}} = 0$

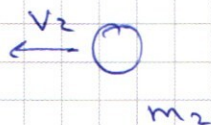
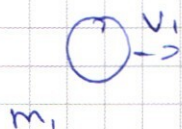
Ответ:  $E_{\text{max}} = 0$  ;  $T = 0,4 \text{ с}$ .



☒ черновик    ☐ чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$Q = \frac{A}{q} = A \cdot U \cdot I \cdot t$$

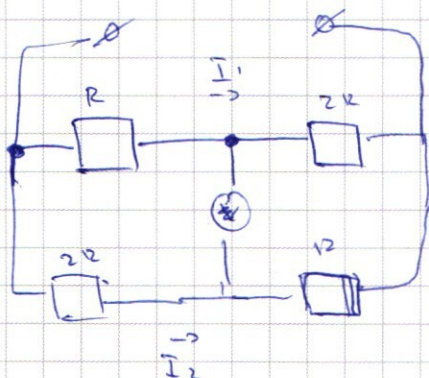
$$P = UI$$

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_2 v_3 - m_1 v_4$$

$$P = I^2 3R$$

$$P = I^2 5R$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_2 v_3^2 + m_1 v_4^2$$



$$U_0 = I_1 \cdot 5R$$

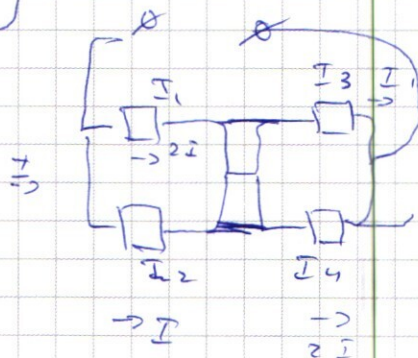
$$U_0 = I_2 \cdot 3R$$

$$I_1 = I_2 = I$$

$$4R = U_0 - I R \Rightarrow U_0 = 12V$$

$$I_2 \cdot 2 = I_1 \cdot 1$$

$$I_1 + \frac{1}{2} I_1 = \frac{3}{2} I_1$$



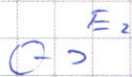
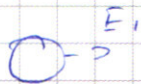
$$I_3 +$$

$$I_1 - I_3 = 30 \text{ mA} \Rightarrow I = 30 \text{ mA}$$

$$I = 2R + 2I \cdot 2R$$

$$R (2I + 2I) = 12R$$

$$R \cdot 4I = 12R \Rightarrow R = \frac{3R}{20 \text{ mA}} = \frac{3R}{0.02 \text{ A}} = 100 \Omega$$



$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_3^2}{2} + \frac{m_2 v_4^2}{2}$$

$$m_1 v_1 = m_1 v_3$$

~~модель столкновения~~

$$-m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_3 - m_2 v_4$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_3^2 + m_2 v_4^2$$

$$m_1 v_3 = m_2 v_4$$

$$0,3 + 4 = 0,2 +$$



$$v_1 + v_2 = 2u$$

$$\frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 m_2} = 0$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$2 \quad 3 \quad - m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_3$$

$$2 \quad 3$$

$$6 - 1$$

~~модель~~

$$m_1 (v_3 - v_1)$$

$$m_1 (v_3 + v_1) = m_2 (v_4 + v_2)$$

$$v_3 + v_1 = \frac{2}{3} (v_4 + v_2)$$

$$m_1 (v_1 - v_3) (v_1 + v_3) = m_2 (v_4 - v_2) (v_4 + v_2)$$

$$m_1 (v_1 + v_3) = m_2 (v_4 + v_2)$$

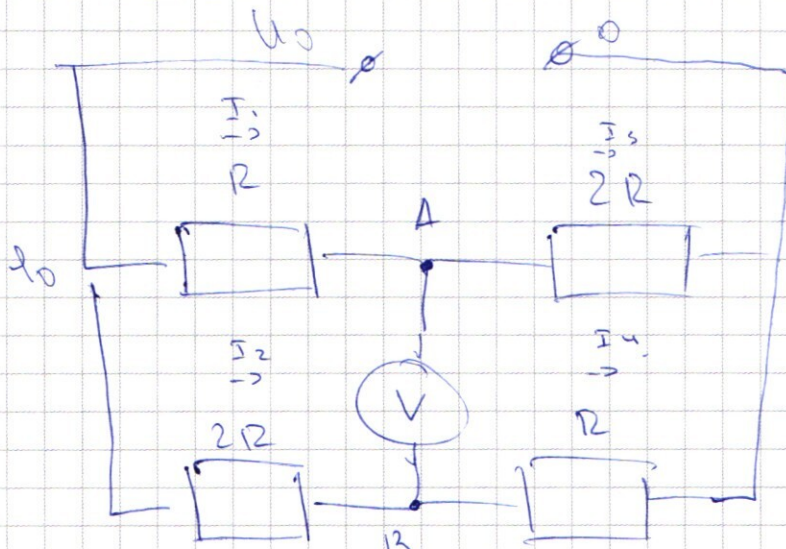
$$m_1 (v_1 - v_3) = m_2 (v_4 - v_2)$$

$$\frac{3}{2} (v_1 + v_3) = v_4 + v_2$$

$$2v_4 = \frac{5}{2} v_1 + \frac{1}{2} v_3$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

6.12.72



$$U_0 = I_1 \cdot 3R$$

$$U_0 = I_2 \cdot 3R$$

$$-I \cdot R + I \cdot 2R = 0$$

$\Rightarrow$

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{2R} = \frac{2R + R}{2R^2} = \frac{1}{R_0} \Rightarrow 0.45$$

$$\Rightarrow R_0 = \frac{2R}{3R}$$

$$I_A - I_B = U =$$

$$2.005 \cdot 100 = 200.5$$

$$E_2 - E_1 + U_2 - U_1 = 0$$

$$E + U = 0$$

$$\Delta E = A - \Delta U$$

$$-\Delta U = A$$

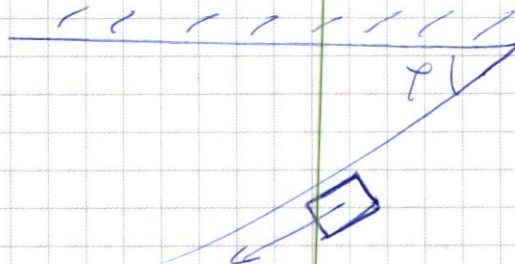
$$E_1 - E_2 = mgh$$

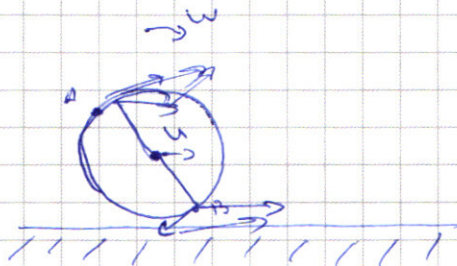
$$= \frac{3}{2}$$

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1} =$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{1} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$$





$$\frac{\pi}{1,57} = \frac{3,14}{1,57}$$

$$\frac{12 \cdot 10}{6} = \frac{120}{6} = 20$$

$$\omega \cdot T = 2\pi \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{2\pi \cdot R}{T} = v$$

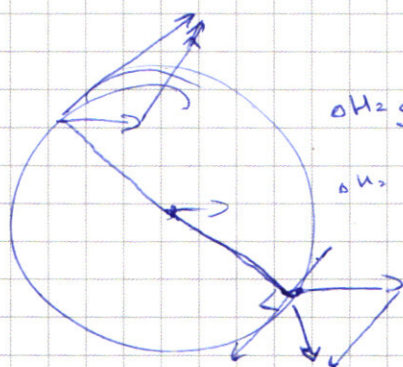
$$\frac{3,14}{1,57} = 2$$

$$3 = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow$$

$$t = \frac{6}{10}$$

$$\vec{v}_0 = \vec{v} + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\omega = 4 \cdot \frac{1}{s} \quad \Delta H = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

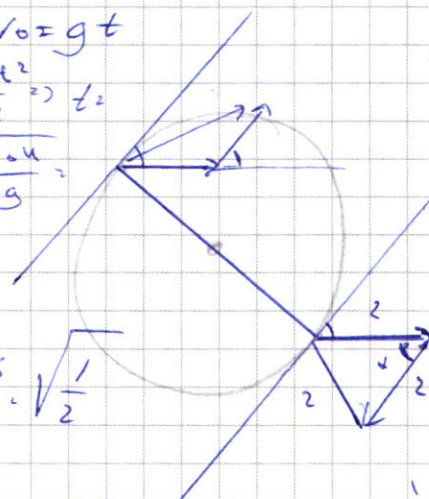


$$v_0 = gt$$

$$\Delta H = gt^2 - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t =$$

$$\Delta H = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}}$$

$$\frac{2 \cdot 2,5}{10} \cdot \sqrt{\frac{1}{2}}$$



$$v_y = 10 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = \frac{10\sqrt{2}}{2}$$

$$24 = 8 - 8 \cos \alpha \Rightarrow \cos \alpha = \frac{1}{2}$$

$$H - h = \frac{v_y^2}{2g}$$

$$400 \cdot \frac{3}{5} = 240$$

$$290$$

