

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

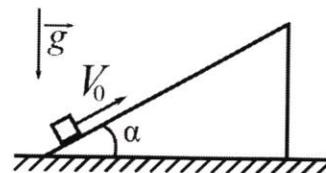
(заполняется секретарём)

1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва  $K = 1800 \text{ Дж}$ . На землю осколки падают в течение  $\tau = 10 \text{ с}$ .

- 1) На какой высоте  $H$  взорвался фейерверк?
- 2) В течение какого промежутка времени  $\tau$  осколки будут падать на землю?

Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол  $\alpha$  такой, что  $\cos \alpha = 0,6$ . Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость  $V_0$  (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту



$H = 0,2 \text{ м}$ . Масса клина в два раза больше массы шайбы. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

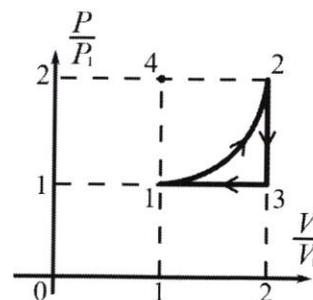
- 1) Найдите начальную скорость  $V_0$  шайбы.
- 2) Найдите скорость  $V$  клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

- 1) Найдите ускорение  $a$  модели.
- 2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,8$ , радиус сферы  $R = 1 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление  $P_1$  и объём  $V_1$ .

- 1) Какое количество  $Q$  теплоты подведено к газу в процессе расширения?
- 2) Найдите работу  $A$  газа за цикл.
- 3) Найдите КПД  $\eta$  цикла.



5. Заряд  $Q > 0$  однородно распределен по сфере радиуса  $R$ . В первом опыте на расстоянии  $3R$  от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом  $q > 0$ .

- 1) Найдите силу  $F_1$ , действующую на заряженный шарик.
- Во втором опыте заряд  $q$  однородно распределяют по стержню длины  $R$ , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии  $3R$  от центра.

- 2) Найдите силу  $F_2$ , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Явлениями поляризации пренебрегите.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

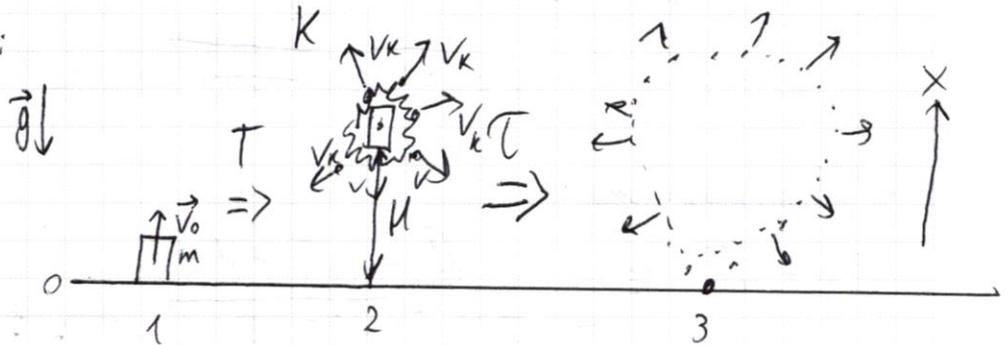
№1 Задача

Дано:  
 $m = 1 \text{ кг}$   
 $T = 3 \text{ с}$   
 $k = 1800 \text{ Дж}$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

1)  $H$  - ?

2)  $T$

Решение:



1) Из кинематики следует:

$$H = v_0 T - \frac{g T^2}{2}, \text{ где } v_0 - \text{ начальная пусковая скорость}$$

Из кинематики следует:

$$v = v_0 - g T, \text{ где } v - \text{ конечная скорость}$$

$v = 0$ , так как когда реперверк достигает вершины траектории при вертикальном полёте ( $90^\circ$  с горизонтом) он выше не может лететь.

$$\Rightarrow 0 = v_0 - g T \quad v_0 = g T = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 3 \text{ с} = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$H = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 3 \text{ с} - \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 3^2 \text{ с}^2}{2} = (90 - 45) \text{ м} = 45 \text{ м}$$

2) Самый первый сканок будет тот, который имел  $\vec{v}_k$  (скорость одного сканка реперверка)  $\parallel \vec{g}$ , так:



если  $v_k$  будет иметь  $\alpha \rightarrow 0$  к вертикали  $\Rightarrow v_k^2 = v_{kx}^2 + v_{ky}^2$ , где  $v_{kx}$ ;  $v_{ky}$  - горизонтальные и вертикальные составляющие скорости  $v_k$  соответственно. И логично, что здесь

$v_{kx} \neq 0$  даже при  $\alpha \rightarrow 0$

$\Rightarrow v_{ky} < v_k$ , а при  $\vec{v}_k \parallel \vec{g}$   $v_k = v_{ky}$

Из кинематики  
 $H = v_k T - \frac{g T^2}{2}$

Из условия определения  $K$  и количества атомов в пучке:

$$K = \sum_{i=1}^N E_{ki}, \text{ где } E_{ki} - \text{кинетическая энергия}$$

$$K = \sum_{i=1}^N \frac{m_i v_k^2}{2} = \frac{v_k^2}{2} \sum_{i=1}^N m_i = \frac{m v_k^2}{2}$$

$$v_k^2 = \frac{2K}{m} \quad v_k = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Из Кинематики

$$H = +v_k T + \frac{gT^2}{2} \quad \frac{v_k^2}{2} + v_k T + H = 0$$

$$T_{1,2} = \frac{-v_k \pm \sqrt{v_k^2 - 4 \cdot \frac{g}{2} \cdot H}}{2 \cdot \frac{g}{2}} = \frac{-60 \pm \sqrt{3600 + 4 \cdot 10 \cdot 45}}{10} =$$

$$= \frac{-60 \pm \sqrt{4500}}{10} = \begin{cases} -6 - \frac{10}{10} \sqrt{45} < 0 \Rightarrow \text{не принимаем} \\ -6 + \frac{10}{10} \sqrt{45} = -6 + 3\sqrt{5} = 3(\sqrt{5} - 2) = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ с} \end{cases}$$

$$\sqrt{5} \approx 2,2$$

$$2 \leq \sqrt{5} \leq 3$$

$$2,2 \leq \sqrt{5} \leq 2,3$$

Ответ: 1)  $H = 45 \text{ м}$  2)  $T = 0,6 \text{ с}$

№2 Задача

Дано:  
 $\cos \alpha = 0,6$   
 $H = 0,2 \text{ м}$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Решение

$$1) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

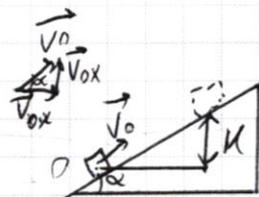
$$\sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - 0,6^2} = \sqrt{1 - 0,36} = \sqrt{0,64} = 0,8$$

из векторов:

$$v_{ox} = v_0 \cdot \cos \alpha, \text{ где } v_{ox} - \text{горизонтальная составляющая}$$

$$v_{oy} = v_0 \cdot \sin \alpha, \text{ где } v_{oy} - \text{вертикальная составляющая } v_0$$



Из Кинематики:

$$H = v_{oy} t - \frac{gt^2}{2}, \text{ где } t - \text{время подъема на МАХ ВЫСОТУ}$$

$$v_y = v_{oy} - gt, \text{ где } v_y - \text{конечная вертикальная скорость} \Rightarrow v_y = 0$$

$$0 = v_{oy} - gt \Rightarrow v_{oy} = gt \Rightarrow t = \frac{v_{oy}}{g}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\mu = \frac{V_{0y}^2}{g} - \frac{V_{0y}^2}{2g} = \frac{V_{0y}^2}{2g} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$V_0^2 = \frac{\mu \cdot 2g}{\sin^2 \alpha} = \frac{0,2 \cdot 20}{0,64} = 6,25$$

$$V_0 = \sqrt{6,25} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2) при подлете по касательной к шайбе передняя скорость и после небольшого отскока  
и продолжения движения  $\Rightarrow \frac{mV^2}{2} = \frac{mV_{\text{ш}}^2}{2}$ , где  $V_{\text{ш}}$  - скорость шайбы в касание

$$\Rightarrow V = V_{\text{ш}} \quad E_{\text{кв}} = E_{\text{кш}}$$

из кинематики

$$\mu = \frac{gt_{\text{ш}}^2}{2}, \text{ где } t_{\text{ш}} - \text{время соприкосновения шайбы}$$

$$t_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{2\mu}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{10}} = \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ с}$$

$$V = V_{\text{ш}} = gt_{\text{ш}} = 10 \cdot 0,2 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: 1)  $V_0 = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  2)  $V = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N3

Дано:

$$N = 2mg$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\mu = 0,8$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

1)  $\alpha$  - ?

2)  $V_{\text{мин}}$  - ?

Решение:

$$1) F = ma \quad F_{\text{тр}} - \text{сила трения}$$

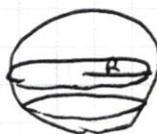
$$F_{\text{тр}} = ma \quad - \text{III закон Ньютона}$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = 2\mu mg$$

$$\alpha = 2\mu g = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

2) по т. о. кинематической энергии

$$\frac{mV_{\text{мин}}^2}{2} = \sum A = A_{F_{\text{тр}}} = F_{\text{тр}} L = F_{\text{тр}} \pi R$$



$$R_1 = 0 \text{ при } \alpha_1 = 0$$

$$R_1 = R \text{ при } \alpha_1 = 90^\circ$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{R}{2} \text{ при } \alpha = \frac{\alpha_1}{2} = 45^\circ$$

$R_1 = \text{радиус окружности, по которой ездит машина}$

$$L = 2\pi R_1 = \pi R$$

$$V_{min}^2 = \frac{2\pi R f_{max}}{m} = \frac{2\pi R m \alpha}{m} = 2\pi R \alpha = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 16$$

$$V_{min} = \sqrt{6,28 \cdot 4^2} = 4\sqrt{6,28} \approx 10 \frac{m}{c}$$

$$2 \leq 6,28 \approx 2,5^2 \leq 3$$

$$2,5 \leq \leq 2,6$$

Ответы: 1)  $\alpha = 16 \frac{m}{c^2}$  2)  $V_{min} = 10 \frac{m}{c}$

№4

Дано:

$p_1$   
 $V_1$

$\mu$ -число  
оборотов

и 1-2-го  
этажа

этажа

1)  $Q$ ?

2)  $A$ ?

3)  $\eta$ ?

Решение

$$Q = \Delta U_{1,2} + A_{1,2}, \text{ где } \Delta U_{1,2}; A_{1,2}$$

изменение внутренней энергии  
и работа на участке 1-2

$$\Delta U = \frac{i}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1) = 1,5 p_2 V_2 - 1,5 p_1 V_1 =$$

где  $i$  - число  
степеней  
свободы  
(для  $i=3$ )

$$= 1,5 \cdot 2 p_1 V_1 - 1,5 p_1 V_1 = 6 p_1 V_1 - 1,5 p_1 V_1 =$$

$$= 4,5 p_1 V_1$$

по числу оборотов в ч. =  $V_2 - V_1$  или  $p_2 - p_1$

$$A_{1,2} = \text{площадь под графиком процесса 1-2} = p_2 (V_2 - V_1) - \frac{\pi}{4} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) =$$

$$= 2 p_1 V_1 - \frac{\pi}{4} p_1 V_1 = \left(2 - \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1$$

$$\pi \approx 3,14 \approx 3$$

$$Q = 4,5 p_1 V_1 + \left(2 - \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 = 4,5 p_1 V_1 + 1 \frac{1}{4} p_1 V_1 = 5,75 p_1 V_1$$

$$2) A = \text{площадь в процессе 1-2-3 на графике} = (V_2 - V_1)(p_2 - p_1) - \frac{\pi}{4} p_1 V_1 =$$

$$= p_1 V_1 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \approx \frac{1}{4} p_1 V_1$$

$$3) \eta = \frac{A_{полез.}}{Q_{вх.}}$$

где  $Q_{вх.}$  - количество из нагревателя и выт она подается  
в процессе 1-2

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{0,25 p_1 V_1}{5,75 p_1 V_1} = \frac{1 p_1}{23} = \frac{4}{92} \approx 0,04\%$$

Ответы: 1)  $Q = 5,75 p_1 V_1$ ; 2)  $A = \frac{1}{4} p_1 V_1$  3)  $\eta = 0,04\%$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5

Дано:  
R q; Q > 0  
k

1)  $F_1$  - ?

2)  $F_2$  - ?

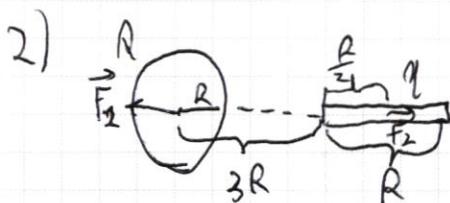
Решение:



$$F_1 = \sum_{i=1}^N F_{ki} = k \frac{Qq}{(3R)^2} = k \frac{Qq}{9R^2}$$

$F_{ki}$  - сила кулона

но если рассмотреть infinitesimal зарядов, вычислив дадут Q  
но они из-за симметрии попарно компенсируют друг друга получаем  $F_1$  из центра сферы.



аналогично  $F_1$  вычисляем для сферы и сферич. из центра из-за симметрии

$$F_2 = k \frac{Qq}{(3+0,5)R} = k \frac{Qq}{3,5R^2} = k \frac{Qq}{12,25R^2}$$

Ответ: 1)  $F_1 = k \frac{Qq}{9R^2}$  ; 2)  $F_2 = k \frac{Qq}{12,25R^2}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3



$$F = m a$$

$$F_{fry} = m a \quad \alpha = \mu \cdot 2g = 0,8 \cdot 2 \cdot 10 = 16 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{fry} = \mu N$$

$$N = 2mg$$

$$\frac{mV^2}{2} = A_{F_{fry}} \quad \text{AA}$$

$$\frac{mV^2}{2} = m a \cdot 2\pi R \Rightarrow \frac{V^2}{2} = \alpha \pi R$$

$$V^2 = 2\pi R a \quad 6,28 \cdot 4^2$$

$$V = \sqrt{2\pi R a} = \sqrt{2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 16} =$$

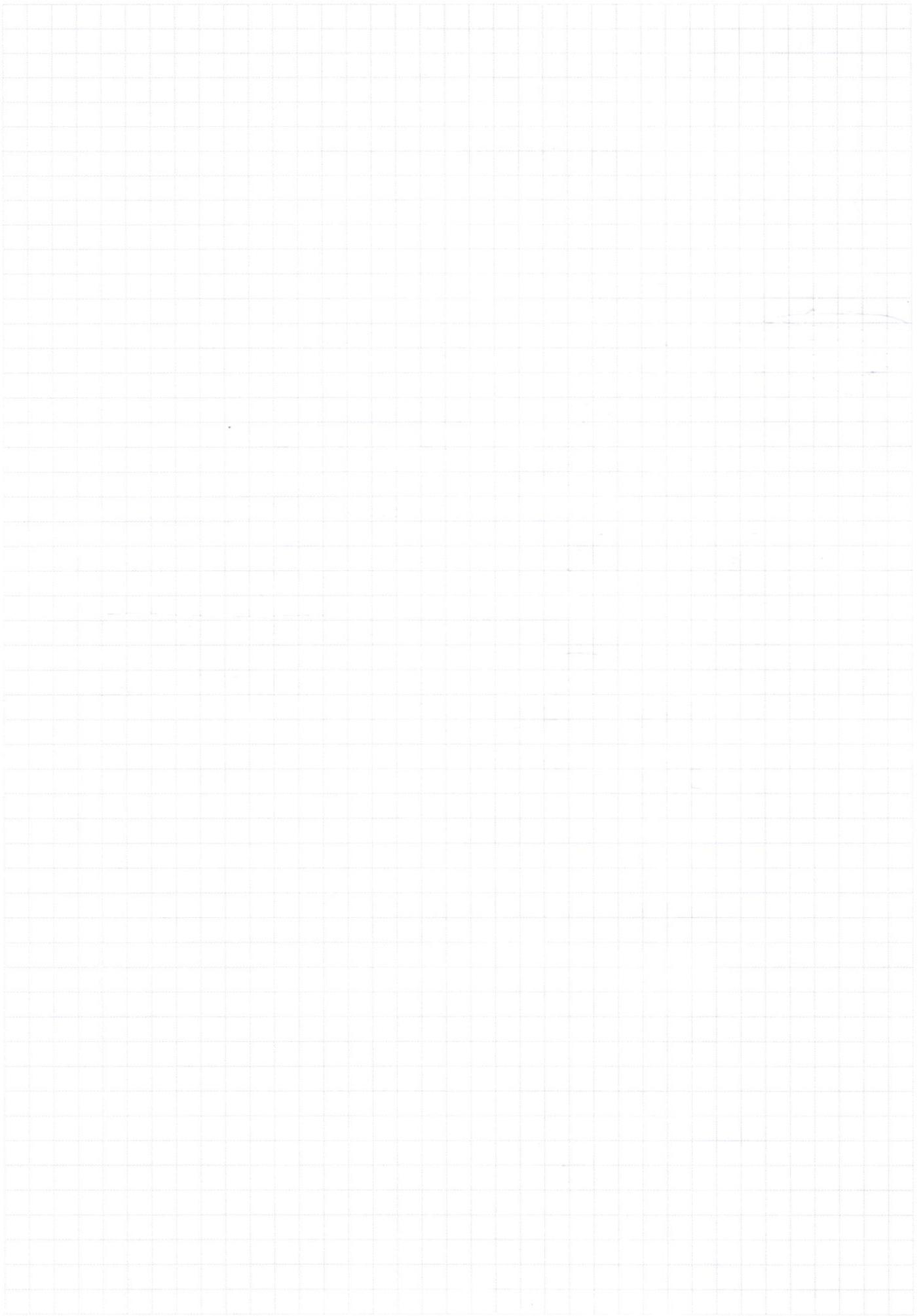
$$= 4\sqrt{6,28} = 10 \frac{m}{s}$$

$$\sqrt{6,28}$$

$$2 \leq \leq 3$$

$$\underline{2,5} \leq \leq 2,6$$

$$3,5^2 = 3,5 \cdot 3,5 = 10,5 + 1,85 = 12,25$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1)  $NЧ$

$$Q_{1,2} = \Delta U_{1,2} + A_{1,2} = \int S(\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1) + \rho_2 V_2 - \rho_1 V_1 - \frac{\pi}{4}(\rho_2 V_2 - \rho_2 V_1 - \rho_1 V_2 + \rho_1 V_1)$$

$$\Delta U = \frac{1}{2}(\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1) A_{1,2} = (V_2 - V_1) \cdot \rho_2 - \frac{\pi}{4}(V_2 - V_1)(\rho_2 - \rho_1)$$

$$= 6\rho_1 V_1 - \rho_1 V_1 + 4\rho_2 V_1 - 2\rho_1 V_1 - \frac{\pi}{4}\rho_1 V_1 + \frac{\pi}{2}\rho_1 V_1 + \frac{\pi}{2}\rho_1 V_1 = \frac{\pi}{4}\rho_1 V_1 =$$

$(V_2 - V_1) = (\rho_2 - \rho_1)$

$$= 7\rho_1 V_1 = \frac{\pi}{4}\rho_1 V_1$$

2)

$$A_{\text{изм}} = (V_2 - V_1)(\rho_2 - \rho_1) - \frac{\pi}{4}\rho_1 V_1 = \rho_1 V_1 - \frac{\pi}{4}\rho_1 V_1 = \rho_1 V_1 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

$$\eta = \frac{A_{\text{изм}}}{Q_{1,2}} = \frac{\rho_1 V_1 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}{7\rho_1 V_1 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)} = \frac{1 - \frac{3}{4}}{7 - \frac{3}{4}} = \frac{0,25}{6,25} \approx \frac{1}{25} \approx 4\%$$

$\pi \approx 3,14 \approx 3$

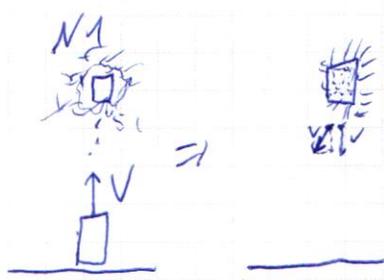
NS

$$F_1 = \sum_{i=1}^N F_{km_i} \stackrel{N \gg 0, N}{=} \sum_{i=1}^N k \frac{q \frac{Q}{N}}{r_{i,2}^2} = k \frac{qQ}{9R^2}$$

$$F_2 = \sum_{i=1}^N F_{km_i} = \sum_{i=0}^N k \frac{q \frac{Q}{N}}{r_i^2} = k \frac{qQ}{3,5R^2}$$

$N_2$   
1)  $m_{\text{ш}} = \frac{1}{2} m_{\text{к}}$

$N_1$   
 $t_{\text{ш}} = t_{\text{к}}$



$t = T$  у з г к

$K = \sum_{i=0}^N \frac{m_i V^2}{2} = \frac{V^2}{2} \sum_{i=0}^N \frac{m_i}{g} = \frac{V^2}{2} m$

$\rho_{\text{ш}} = m \cdot m = \frac{m \cdot m_{\text{к}}}{c^2}$

$V^2 = \frac{2K}{m} = \frac{1800 \cdot 2}{1} = 3600$

$V = 60 \frac{m}{c}$

1)  $H = V_0 t + \frac{gt^2}{2}$

$H = 30 \cdot 3 + \frac{10 \cdot 3^2}{2} = 90 + 45 = 135 \text{ м}$

$V = V_0 + gt$

$V_0 = gt = 30 \frac{m}{c}$

$Q = V_0 = gt$

$H = VF + \frac{gF^2}{2}$

$T_{\text{згк}} \neq T_{\text{у з г к}}$

$F = \frac{-V \pm \sqrt{V^2 + 4 \cdot \frac{g}{2} \cdot H}}{2 \cdot \frac{g}{2}} = \frac{-60 \pm \sqrt{60^2 + 2 \cdot 10 \cdot 135}}{10} =$

$2 \approx \sqrt{5} \approx 2.2$

$\sqrt{7}$

$2,2$

$2,2 \cdot 2,2 = 4,4 + 0,44 = 4,84$

$2,2 \cdot 2,2 = 4,4 + 0,44 = 4,84$

$2,3 \cdot 2,3 = 5,29$

$= \frac{-60 \pm \sqrt{3600 + 2700}}{10} = \frac{-60 \pm 10\sqrt{45}}{10} =$

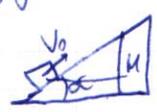
$= -6 + 3\sqrt{5} = 3(\sqrt{5} - 2) \approx$

$\approx 3 \cdot 1,23 = 3,69 \approx 0,6 \text{ с}$

$N_2$

$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_k^2}{2}$

$V_k = 2mrc \downarrow \vec{g}$



$V_k = V \quad K = gt^2$

$V = gt^2$

$V_x = V_0 \cdot \cos \alpha$

$V_y = V_0 \cdot \sin \alpha$

$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$

$t^2 = \frac{2H}{g} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ с}$

$H = V_0^2 \cdot \frac{0,64}{10} - \frac{V_0^2 \cdot 0,64}{20}$

$H = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt}{2}$

$Q = V_0 \sin \alpha - gt$

$t = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$

$V_k = V_0 \cos \alpha \cdot \frac{m}{2}$

$V_0^2 = K \cdot \frac{20}{0,64} = 0,2 \cdot \frac{20}{\frac{64}{100}} = \frac{400}{64} = \frac{100}{16} = \frac{50}{8} = \frac{25}{4} = 6,25 \quad V_0 = 2,5 \frac{m}{c}$