

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

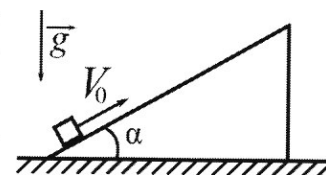
1. Фейерверк массой  $m = 1 \text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T = 3 \text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. 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.

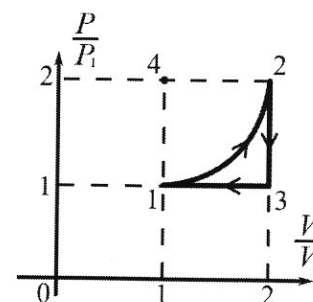
2) Найдите скорость  $V$  клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

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

1) В высшей точке траектории  $V = 0 \text{ м/с} \Rightarrow V = V_0 - gt = 0 \Rightarrow V_0 = gt = 30 \text{ м/с}$

Высота  $H = V_0 t - \frac{gt^2}{2} = 90 - 45 = 45 \text{ м}$

2) Сумма кинетических энергии всех осколков  $\frac{m_1 V^2}{2} + \frac{m_2 V^2}{2} + \dots = \frac{(m_1 + m_2 + \dots) V^2}{2} =$   
 $= \frac{m V^2}{2} = 1800 \Rightarrow V = \sqrt{3600 \text{ м}^2/\text{с}^2} = 60 \text{ м/с}$

Сначала упарет тот осколок, который после взрыва имел наименьшую скорость (по вертикальной оси), т.е. тот, который летел вертикально вниз. Его уравнение движения:

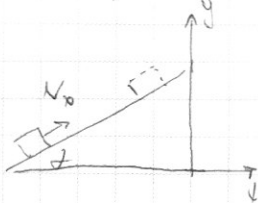
$h = H - vt - \frac{gt^2}{2}$ . Упарет на землю при  $h = 0$ :  
 $0 = H - vt - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow 5t^2 + 60t - 45 = 0$

$t = \frac{-6 \pm \sqrt{35}}{2} \text{ с}$  (второй корень  $< 0$  не подходит)

Ответ: 1) 45 м; 2)  $(\sqrt{35} - 6) \text{ с}$

№2

1) Центр масс по оси Ox не меняет свою координату =



$\Rightarrow$  центр падает в противоположную от  
 стороны (влево)  $\Rightarrow$  на протяжении падения  
 по Oy не движется

В точке максимальной высоты  $V_{\text{пайды}} = V_{0y} - gt = 0$  и  $H = V_0 t - \frac{gt^2}{2} = 0,2 \text{ м}$

т.е.  $\begin{cases} V_0 \cdot \sin \alpha - gt = 0 \\ V_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0,2 \end{cases} \quad \begin{cases} V_0 \cdot \sin \alpha = gt \\ gt^2 = 0,4 \end{cases} \quad \begin{cases} V_0 = 2,5 \text{ м/с} \\ t = 0,2 \end{cases}$

$(\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha})$

2) Центр масс не движется по OX, масса клина = массе шайбы =>  
 => клин движется по OX с той же скоростью, что шайба, только  
 в противоположном направлении, т.е.  $V_{\text{клин}} = V_0 \cdot \cos \alpha = 1,5 \cdot \frac{3}{5} = 1,5 \text{ м/с}$

Ответ: 1) 2,5 м/с; 2) 1,5 м/с

23



1) Запишем второй закон Ньютона для шара:  
 $ma_{\text{ш}} = N - mg$ , где  $N$  - сила, с которой сфера  
 действует на шар (она же по 1 закону Ньютона  
 равна силе, с которой шар действует на сферу,  
 которая, по закону, равна  $2mg$ )

$$ma_{\text{ш}} = mg \Rightarrow a_{\text{ш}} = g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$\left. \begin{aligned} ma_{\text{ц}} = F_{\text{тр}} = \mu \cdot N = 2\mu mg \Rightarrow a_{\text{ц}} = 2\mu g \\ a = \sqrt{a_{\text{ш}}^2 + a_{\text{ц}}^2} = \sqrt{g^2 + (2\mu g)^2} = \sqrt{100 + 1024} = \sqrt{1124} \end{aligned} \right\}$$

2)  $ma_{\text{ц}} - F_{\text{тр}} = \mu \cdot N$

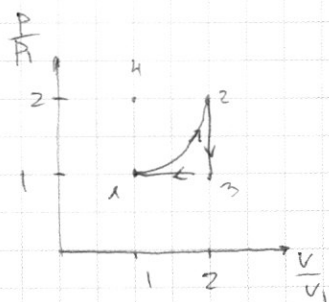
Максимальное условие для движения шара по окружности

$$N = mg \Rightarrow ma_{\text{ц}} = \mu mg \Rightarrow a_{\text{ц}} = \mu g$$

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \mu g \Rightarrow v = \sqrt{\mu g R} = 2\sqrt{2} \text{ м/с}$$

Ответ: 1) 10 м/с<sup>2</sup>; 2)  $2\sqrt{2}$  м/с

24



$$1) Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$$

$A_{12}$  - площадь под графиком

$$A_{12} = P_1 V_1 + P_1 V_1 \cdot \frac{4-\pi}{4} = \frac{8-\pi}{4} P_1 V_1$$

$$\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R \left( 4 \frac{P_1 V_1}{\nu R} - \frac{P_1 V_1}{\nu R} \right) = \frac{9}{2} P_1 V_1$$

из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$Q_{12} = \frac{9}{2} P_1 V_1 + \frac{8-\pi}{4} P_1 V_1 = \frac{26-\pi}{4} P_1 V_1$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2)  $A$  - площадь графика <sup>цикла</sup>  $p(V)$

$$A = \frac{4-\pi}{4} p_1 V_1$$

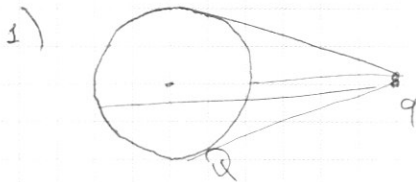
$$3) \eta = \frac{Q_4 - Q_1}{Q_4} \cdot 100\% = \frac{Q_{12} - Q_{23} - Q_{31}}{Q_{12}} \cdot 100\% = \frac{\frac{26-\pi}{4} p_1 V_1 - 3 p_1 V_1 - 2,5 p_1 V_1}{\frac{26-\pi}{4} p_1 V_1} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{4-\pi}{26-\pi} \cdot 100\% \approx 4,3\%$$

$$(Q_{23} = A + \Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R \cdot 2T_1 = 3 p_1 V_1)$$

$$Q_{31} = p_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu R (2T_1 - T_1) = 2,5 p_1 V_1)$$

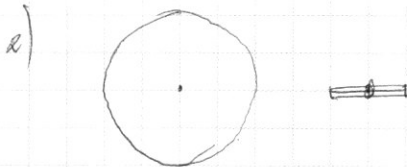
5)



$F_1 = \sum_i F_i$ , что будет эквивалентно

силе к центру сферы

$$F_k = k \frac{q \cdot Q}{r^2} = k \cdot \frac{q \cdot Q}{9R^2}$$



$F_2 = \sum_i F_i$ . Для каждой точки стержня  
аналогично 1), а сила этой сил

будет эквивалентна силе от середины стержня

$$F_k = k \frac{qQ}{r^2} = k \frac{qQ}{12,25R^2}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1



$$V = V_0 - gt = 0$$

$$V_0 = 30$$

$$h = V_0 t - \frac{gt^2}{2} = 30 - 5 \cdot 9 = 45 \text{ м}$$

$$\frac{m_1 V^2}{2} + \frac{m_2 V^2}{2} + \dots = \frac{(m_1 + m_2 + \dots) V^2}{2} = \frac{m V^2}{2} = 1800 \Rightarrow \overset{\text{мс}}{m V^2} = 3600$$

$$V = 60 \text{ м/с}$$



вниз:  $0 = h - V t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$

$$5 t_1^2 + 60 t_1 - 45 = 0$$

$$t_1^2 + 12 t_1 - 9 = 0$$

$$D/4 = 36 + 9 = 45$$

$$t_1 = -6 \pm 3\sqrt{5}$$

вверх:  $0 = h + V t_2 - \frac{gt_2^2}{2}$

$$5 t_2^2 - 60 t_2 - 45 = 0$$

$$t_2^2 - 12 t_2 - 9 = 0$$

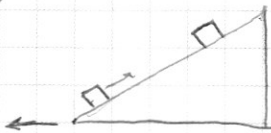
$$t_2 = 6 + 3\sqrt{5}$$

$$V_0 \cdot \frac{4}{5} = 2$$

$$V_0 = 2,5$$

$$\frac{25}{10} = \frac{5}{2}$$

2



1)  $V_0 \cos \alpha - gt = 0$

$$H = V_0 \cos \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

$$\begin{cases} 0,6 V_0 - 10 t = 0 \\ 0,2 = 0,6 V_0 \cdot t - 5 t^2 \end{cases}$$

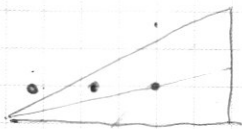
$$10 t^2 - 5 t^2 = 0,2$$

$$t^2 = \frac{1}{25} \Rightarrow t = 0,2 \text{ с}$$

$$V_0 = \frac{10 t}{0,6} = \frac{2}{0,6} = \frac{10}{3} \text{ м/с}$$

~~возможно ошибка~~

2)



Видимых сил нет  $\Rightarrow$  энергия шарика не меняется. В начале энергии нет, в конце

$$\frac{m V_{\text{ш}}^2}{2} + m V$$

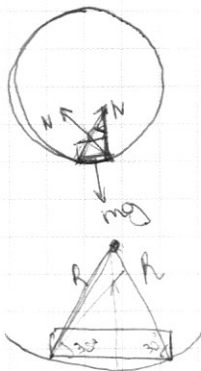
Центр масс не движется

Из-за маятника движется на  $V_0 \sin \alpha \Rightarrow$  шар идет со скоростью

$V_0 \sin \alpha$  с той же скоростью, что и маятник по клину

$$m V_0^2 = m V_{\text{ш}}^2 + m V^2$$

$$\text{т.е. } V_0 \sin \alpha = \frac{10}{3} \cdot \frac{4}{5} = \frac{8}{3} \text{ м/с}$$



$$N = mg$$

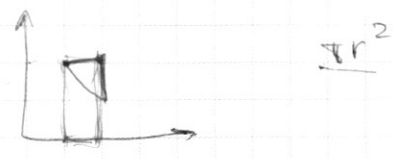
$\alpha$  - угол между и сфера

$$2 \cdot N \cdot \sin \alpha = mg$$

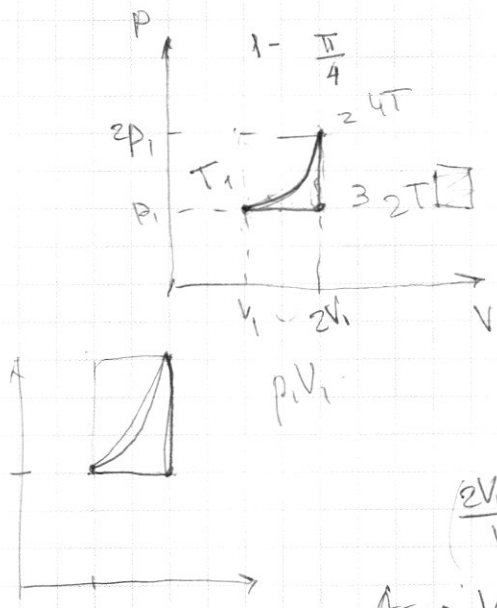
$$\sin \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \alpha = 30^\circ$$

$$a_n = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$$

$$m a_n = -F - mg = -3mg \Rightarrow a_n = -3g$$



4



$$Q = P_1 V_1 + P_2 V_2 - \frac{1}{2} V$$

$$T_1 = \frac{P_1 V_1}{R}$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$T_2 = 4 T_1$$

$$2 P_1 2 V_1 = \nu R T_2$$

$$V_2 = \frac{3}{2} \nu R T_1$$

?

$$Q = A + U = P_1 V_1 + \frac{g}{2} P_1 V_1 = \frac{3}{2} P_1 V_1$$

A - площадь графика

$$Q_H - Q_0 =$$

$$\left( \frac{2V_1 - V_1}{V_1} \right)^2 + \left( \frac{P_2 - P_1}{P_1} \right)^2 = f$$

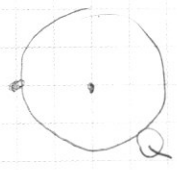
$$A = -P_1 V_1 \cdot \left( 1 - \frac{\pi}{4} \right)$$

$$Q = -P_1 V_1 \frac{8 - \pi}{4} + \frac{g}{2} P_1 V_1$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_0}{Q_H} = \frac{+P_1 V_1 \frac{10 + \pi}{4} - P_1 V_1 - \frac{g}{2} P_1 V_1}{+P_1 V_1 \frac{10 + \pi}{4} - P_1 V_1 - \frac{g}{2} P_1 V_1}$$

$$F = F \cdot g$$

5

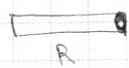


$$\frac{Q}{3R}$$

$$k \frac{q^2}{r^2}$$

$$F = k \frac{Q \cdot q}{9R^2}$$

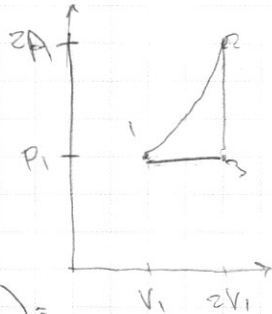
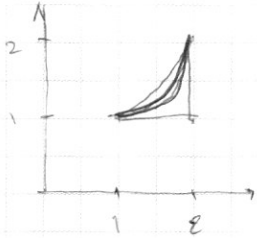
$$F = k \frac{Qq}{16R^2}$$



$$k \frac{Qq}{16R^2}$$

$$F = k \frac{Qq}{25R^2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu VA (T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{3}{2} \nu VA \cdot 2T_1 = 3p_1 V_1$$

$$Q_{31} = -p_1 V_1 + \frac{3}{2} \nu VA (T_1 - 2T_1) =$$

$$= -p_1 V_1 - \frac{3}{2} p_1 V_1 = -2,5 p_1 V_1$$

$$Q = p_1 V_1 \left( 2 - \frac{\pi}{4} \right) + \frac{3}{2} p_1 V_1 = \frac{26 - \pi}{4} p_1 V_1$$

$$A = p_1 V_1 \frac{4 - \pi}{4}$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} = \frac{\frac{26 - \pi}{4} p_1 V_1 - 3 p_1 V_1 - 2,5 p_1 V_1}{\frac{26 - \pi}{4} p_1 V_1}$$

$$= \frac{26 - \pi - 12 - 10}{4} = \frac{4 - \pi}{26 - \pi} \approx \frac{1}{23} \approx 4,3\%$$

$$\begin{array}{r} 100,00 \\ \underline{92} \\ 8,0 \\ \underline{69} \\ 110 \end{array} \quad \begin{array}{r} / 23 \\ \underline{434} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \sqrt{32} \\ \underline{32} \\ 64 \\ \underline{96} \\ 1024 \end{array}$$

2) Высота в 2 раза меньше  $V_{клина}$

$$V_k = \frac{1}{2} V_0 \cdot \sin^2 \alpha \quad V_{клина} = 0,5 V_0 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$\begin{cases} V_0 \cdot \cos^2 \alpha - g t = 0 \\ V_0 \cdot \cos^2 \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2} = 0,2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_0 \cdot \cos^2 \alpha - g t = 0 \\ V_0 \cdot \cos^2 \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2} = 0,2 \end{cases}$$

3) 2 закон Ньютона  $ma = -F - mg = -3mg \Rightarrow \vec{a} = -3g \vec{j}$



$$a_n = g$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{1m} = g$$

$$v = \sqrt{gR} = \sqrt{10}$$

$$ma_c = F_{TP} = \mu N = \mu mg$$

$$a_t = \mu g$$

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \mu g$$

$$v = \sqrt{\mu g R} = \sqrt{8} = 2\sqrt{2} \text{ м/с}$$





черновик       чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)»

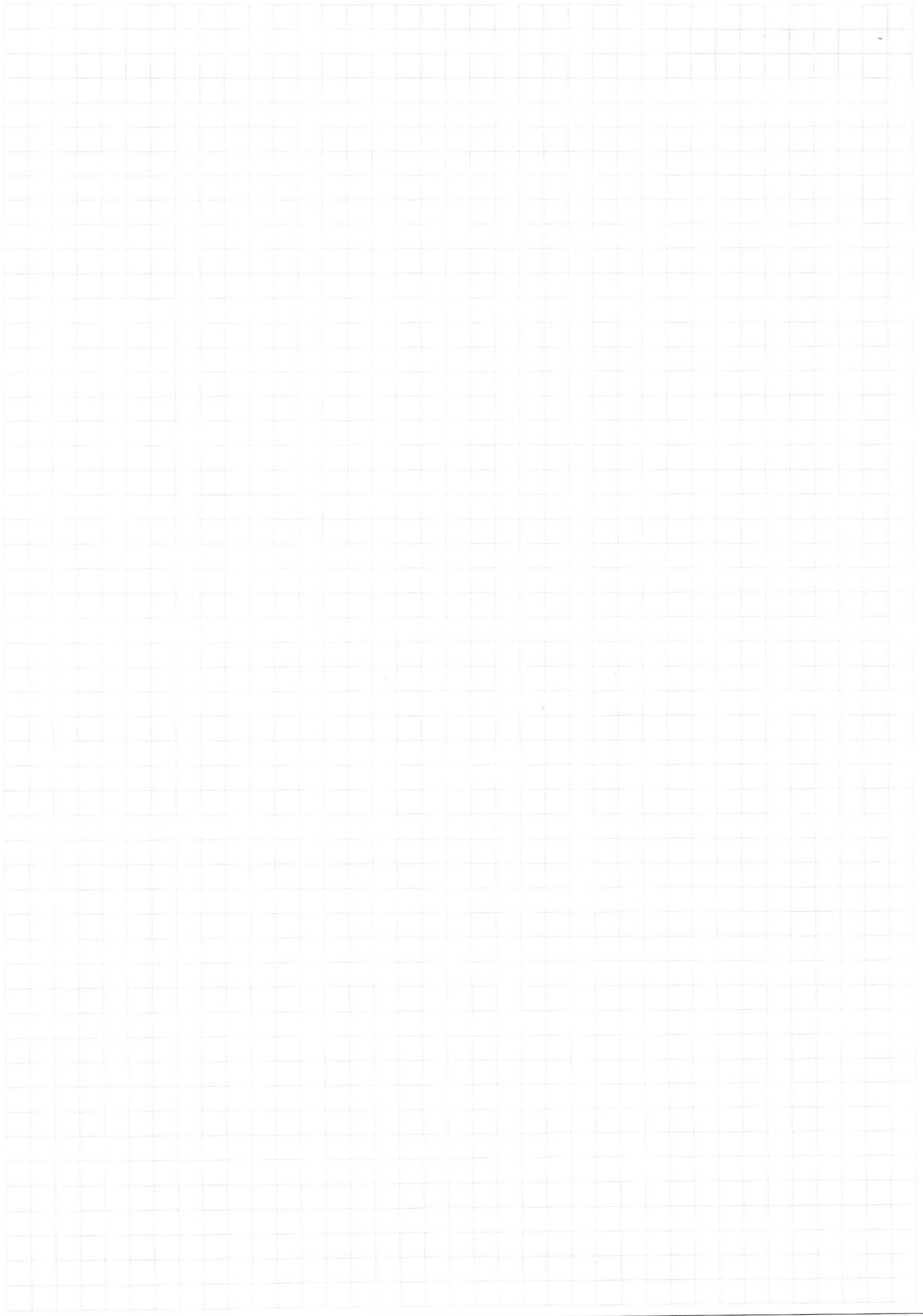
ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)