

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

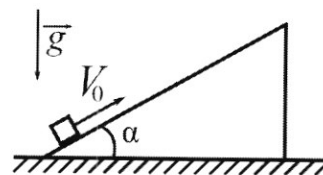
1. Фейерверк массой  $m=1\text{ кг}$  стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через  $T=3\text{ с}$  разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями.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

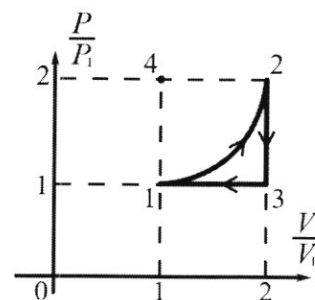
2) Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{\text{MIN}}$  равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha=45^\circ$ . Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu=0,8$ , радиус сферы  $R=1\text{ м}$ . Ускорение свободного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

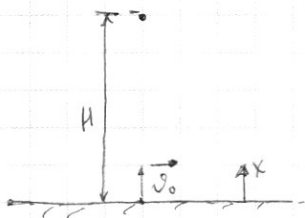
Во втором опыте заряд  $q$  однородно распределяют по стержню длины  $R$ , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии  $3R$  от центра.

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)  $m = 1 \text{ кг}$   
 $T = 3 \text{ с}$   
 $K = 1800 \text{ Дж}$   
 $H = ?$



$v \perp$

$v_0$  - скорость сейсморекордера после окончания  
зачепа увеличивается

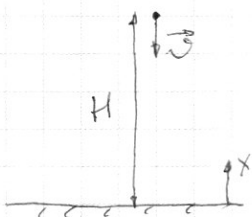
ОК:  $H = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$  (урав. равномер.   
 движения)

$0 = v_0 - gT$  - т.к. сейсморекордер возвращается  
в исходной точке  
траектории  
 $v_0 = gT$

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

Ответ: 45 м

2)  $t = ?$  (время после взрыва, до падения первого осколка)



$v$  - начальная скорость каждого осколка,  
первый осколок движется в сторону  
вниз, второй - вверх, т.к. для него направ.  
 $\vec{v}$  и  $\vec{g}$  совпадают, ~~т.к.~~

Кин.  $K = \frac{n \cdot m_{\text{оск}} v^2}{2}$ ,  $m_{\text{оск}}$  - масса одного  
осколка  
 $= \frac{m v^2}{2}$   $v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$

$t = \frac{v + \sqrt{v^2 + 2gH}}{-g}$

$t = \frac{v - \sqrt{v^2 + 2gH}}{-g}$

$t = \frac{\sqrt{\frac{2K}{m}} + \sqrt{\frac{2K}{m} + 2gH}}{-g}$

$t = \frac{\sqrt{\frac{2K}{m}} - \sqrt{\frac{2K}{m} + 2gH}}{-g}$

$t = \frac{60 + \sqrt{3600 + 900}}{-10} = \frac{60 + 30\sqrt{5}}{-10}$  (ошибка)

$t = \frac{60 - \sqrt{3600 + 900}}{-10} = \frac{60 - 30\sqrt{5}}{-10} \text{ (с)}$

ОК:  $0 = H - vt - \frac{gt^2}{2}$  (урав. равномер.   
 движ.)

~~$t = \frac{v \pm \sqrt{v^2 + 2gH}}{-g}$~~   
 ~~$t = \frac{60 \pm \sqrt{3600 + 900}}{-10}$~~

$t = \frac{60 - 30\sqrt{5}}{-10} = 3\sqrt{5} - 6 \approx$   
 $\approx 0,75 \text{ (с)}$

Ответ: 0,75 с

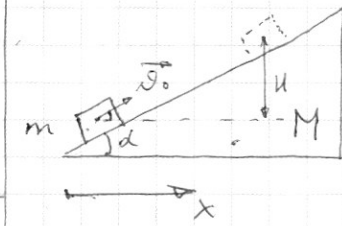
N2

1)  $\cos \alpha = 0,6$

$H = 0,2 \text{ м}$

$M = 2m$

$v_0 = ?$



Закон сохранения энергии:  
начало  $\rightarrow$  масса остановилась в верхе +  
т.е.  $v_{\text{к}} = 0$

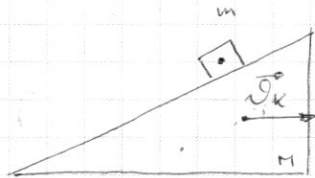
$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{(M+m) v_{\text{к}}^2}{2} + m g H,$$

т.к.  $v_{\text{к}}$  - скорость клина,  
спускающегося вместе с массой

$$m v_0^2 = 3m v_{\text{к}}^2 + 2m g H$$

Закон сохранения импульса  
для тех же моментов времени

$$m v_0 \cos \alpha = v_{\text{к}} 3m$$



$$v_0^2 = 3v_{\text{к}}^2 + 2gH$$

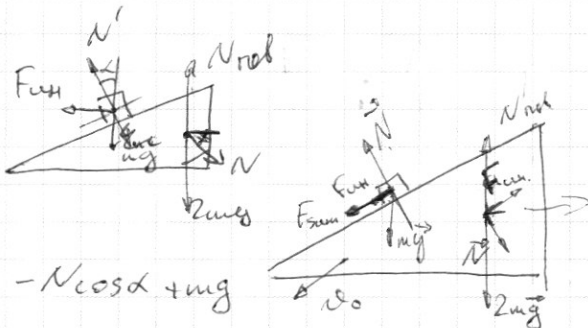
$$v_0 \cos \alpha = 3v_{\text{к}}$$

$$v_0^2 = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{3} + 2gH$$

$$v_0^2 \left(1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}\right) = 2gH$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2}{3 - 0,6^2}}$$

2,69



$-N \cos \alpha + mg$

$N \sin \alpha = F_{un}$

$N = mg \cos \alpha$

~~$mg \sin \alpha = F_{un}$~~

$mg \sin \alpha = F_{un}$

$\frac{F_{un} \cos \alpha + N \sin \alpha}{2m} = a_{\text{к}}$

$2mg + N \cos \alpha = F_{un} \sin \alpha$

6  
2,8  
2,8  
-----  
5,6  
x 7,84  
1164  
-----  
36

22  
22  
44  
44  
-----  
444  
2,64  
1776  
2664  
888  
-----  
11,7216

12  
2,64  
1,64  
-----  
8,8  
81  
5  
29  
x 0,6  
-----  
174

24

$$P_1 \left| \begin{array}{l} 1) \\ V_1 \end{array} \right. \text{расширение пружины на участке } 1 \rightarrow 2 :$$

$$Q_{12} = A + \mathcal{U} = \Delta P_{12} \Delta V_{12} + \frac{3}{2} \Delta P_{12} \Delta V_{12} = 2,5 P_1 V_1$$

$$2) A_{(A_{12} + A_{23} + A_{31})} = -A_{sum} = -\Delta P_{12} \Delta V_{12} + \Delta P_{23} V_2 + \Delta V_{31} P_3 =$$

$$= -P_1 V_1 + [P_1 V_1 + P_1 V_1] = 2 P_1 V_1$$

$$3) \eta = \frac{A_{sum}}{Q_{sum}}$$

$$Q_{sum} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = 2,5 P_1 V_1 + \frac{3}{2} \Delta P_{23} V_2 - \Delta P_{23} V_2 +$$

$$+ \frac{3}{2} \Delta V_{31} P_3 - \Delta V_{31} P_3 = 4 P_1 V_1$$

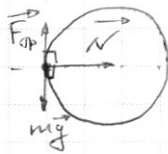
$$\eta = \frac{2 P_1 V_1}{4 P_1 V_1} = 0,25$$

Ответ:  $2,5 P_1 V_1$  ;  $2 P_1 V_1$  ;  $0,25$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

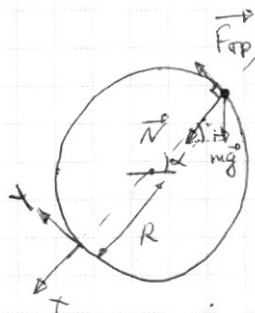
1)  $N = 2mg$   
 $a = ?$



$$a = \frac{N}{m} = \frac{2mg}{m} = 2g = 20 \text{ (м/с}^2\text{)} \quad \left( \begin{array}{l} \text{2ой закон} \\ \text{Ньютона} \end{array} \right)$$

Ответ:  $20 \text{ м/с}^2$

2)  $\alpha = 45^\circ$   
 $\mu = 0,8$   
 $R = 1 \text{ м}$



$v_{\text{мин}}$  - ?

Наибольшая скорость требуется  
машине, чтобы не сойти с траек-  
тории в верхней точке ее, это и  
будет  $v_{\text{мин}}$

$$OX: a_{y.c} = \frac{N + mg \cos(90 - \alpha)}{m} = \frac{N + mg \sin \alpha}{m}$$

$$OY: F_{\text{тр}} = N \mu = mg \cos \alpha$$

$$N = \frac{mg \cos \alpha}{\mu}$$

$$a_{y.c} = \frac{v_{\text{мин}}^2}{R} = \frac{\frac{mg \cos \alpha}{\mu} + mg \sin \alpha}{m}$$

$$v_{\text{мин}}^2 = \frac{g R}{\mu} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

$$v_{\text{мин}} = \sqrt{10 \cdot 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \left( \frac{1}{0,8} + 1 \right)} \approx 4 \text{ (м/с)}$$

Ответ:  $4 \text{ м/с}$

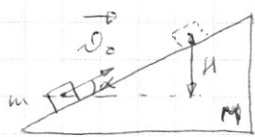
v2

1)  $\cos \alpha = 0,6$

$H = 0,2 \text{ м}$

$M = 2m$

$v_0 = ?$



Закон сохранения энергии

начало  $\rightarrow$  шайба остановилась  
в вер. точке отн. шайбы

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{(M+m)v_k^2}{2} + mgH,$$

$v_k$  - скорость шайбы с шайбой в  
этот момент

Закон сокр. импульсов для  
тех же теленков

~~$mv_0 \cos \alpha = 3mv_k + 2mgH$~~   
ОХ:  $mv_0 \cos \alpha = v_k 3m$

$$v_0^2 = 3v_k^2 + 2gH$$

$$v_0 \cos \alpha = 3v_k$$

$$v_0^2 = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{3} + 2gH$$

$$v_0^2 \left(1 - \frac{\cos^2 \alpha}{3}\right) = 2gH$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2}{3 - 0,6^2}} \approx$$

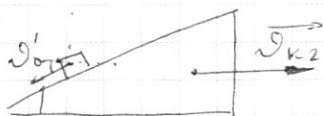
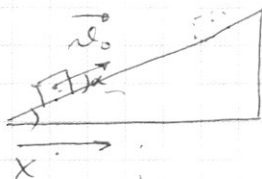
$\approx 2,2 \text{ (м/с)}$

2)  $\cos \alpha = 0,6$

$H = 0,2 \text{ м}$

$M = m$

$v_{k2} = ?$



Закон сокр.

Из сообр. симметрии, когда шайба  
вернется в точку старта, она будет  
двигаться со скоростью по модулю равной  
 $v_0$  и обратной по напр.:

Закон сокр. ~~энергии~~  
импульса

$$ОХ: mv_0 \cdot \cos \alpha = (v_{k2} - v_0 \cos \alpha)m +$$

$$+ 2v_{k2}m$$

~~закон сокр. энергии~~  
 ~~$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_{k2}^2}{2} + 2mgH$~~

$$v_{k2} = v_0 \cos \alpha = \cos \alpha \sqrt{\frac{4gH}{2 - \cos^2 \alpha}} \approx 1,7 \text{ (м/с)}$$

Ответ: 1,7 м/с

Из решения п1 (при  $M = m$ ):

$$v_0^2 = 2v_k^2 + 2gH$$

$$v_0 \cos \alpha = 2v_k$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{4gH}{2 - \cos^2 \alpha}} \approx$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) № 5

$Q$   
 $R$   
 $q$   
 $F_1 - ?$   
 $F_2 - ?$

$$F_1 = k \frac{Qq}{(3R)^2} = k \frac{Qq}{9R^2}$$

*т.к. поле <sup>справа</sup> сферы, идентично полю <sup>только не</sup> точечного заряда в её центре*

Ответ:  $k \frac{Qq}{9R^2}$

2)

Разобьём стержень на  $n$  точечных элементов, тогда:

$$\Delta q = \frac{q}{n} ; \Delta R = \frac{R}{n}$$

$$\Delta F = k \frac{Q \Delta q}{(R + n \Delta R)^2} ; F_2 = \sum_0^n \Delta F = k \frac{Qq}{R^2}$$

$$n \cdot a_1 + \Delta a \frac{(n-1)(n-3)}{2}$$

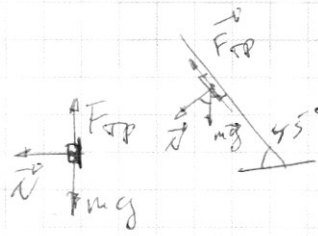
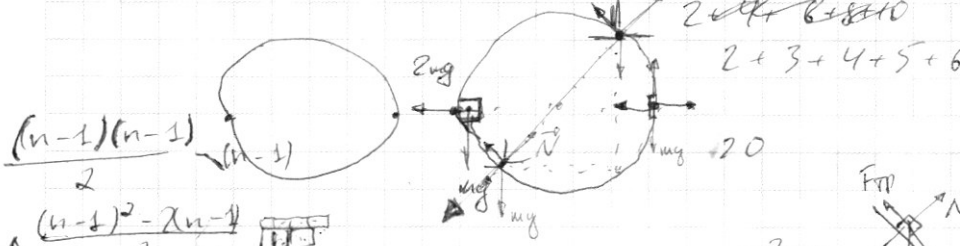
$$n \cdot a_1$$

$$\frac{(n-1)(n-1)}{2} (n-1)$$

$$\Delta \frac{(n-1)^2 - 2n - 1}{n \cdot a_1^2 + \dots}$$

$$15 \quad 2+3+4+5$$

$$9(6-2) \cdot 5$$



$$14 + 2 \cdot 0,15$$
  

$$7 = 2,15$$
  

$$15,75 \quad 5 \cdot 1,48 \cdot 2,25$$

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

$$2\mu = 1$$
  

$$\omega = \omega R$$

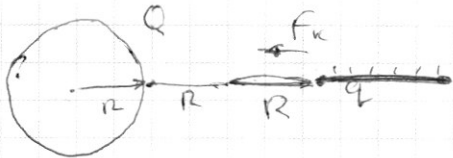
$$\frac{v^2}{R} = \frac{N_{45} + mg \cdot \cos 45^\circ}{m}$$
  

$$N_{45} \mu = mg \cos 45^\circ$$

$$\frac{v^2}{R} = g \cos 45^\circ \left(1 + \frac{1}{\mu}\right)$$
  

$$10 \cdot \frac{1,48 \cdot 100}{2 \cdot 1} \cdot (1 + 1)$$
  

$$14,8 \cdot 92,5$$



$$F_k = k \frac{Qq}{R^2}$$

$$\frac{q}{n} = \Delta q$$
  

$$\frac{R}{n} = \Delta R$$

$$a = \frac{2mg}{2}$$
  

$$a = 2g$$

$$mg = N_0 \mu$$
  

$$\frac{v^2}{R} = \frac{N_{00}}{m}$$

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

$$\frac{100}{8} = \frac{25}{2} = 12,5$$

$$F_k = \sum_{i=0}^n \Delta F_k = k \frac{Qq}{R^2} \left( \frac{1}{3Rn} - \frac{1}{4R} \right)^2$$

$$\frac{v^2}{R} = \frac{-N_0 + mg \cos 45^\circ}{m}$$
  

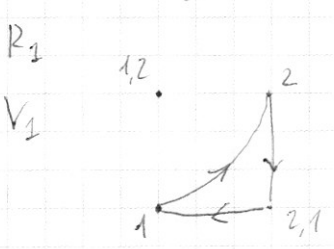
$$mg \cos 45^\circ = N_0 \mu$$

$$\frac{v^2}{R} = g \cos 45^\circ \left( \frac{1}{\mu} - 1 \right)$$
  

$$10 \cdot \frac{1,48 \cdot 100}{2 \cdot 1} \cdot (-1)$$
  

$$14,8 \cdot 82,5$$

$$\frac{(n-1)(n-1)}{2}$$



$$Q = A + U$$

$$U - A = Q$$

$$P_0 = P_1 \quad P_2 = 2P_2 \quad P_3 = P_2$$
  

$$V_0 = V_1 \quad V_2 = 2V_1 \quad V_3 = 2V_1$$

$$1 \rightarrow 2 \quad Q_{12} = \Delta p \Delta V + \frac{3}{2} \Delta p \Delta V$$
  

$$2 \rightarrow 3 \quad Q_{23} = \frac{3}{2} R (T) - \Delta p \Delta V$$
  

$$Q_{31} = \frac{3}{2} R \Delta T - \Delta p \Delta V$$

$$\frac{P_2}{T_2} = P_2 + \Delta P$$
  

$$(P_2 + \Delta P)(V_1 + \Delta V) = R(T_1 + \Delta T)$$
  

$$2P_2 \cdot 2V_1 = R(T_1 + \Delta T)$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} R T_1 - \frac{3}{2} R T_2$$

$$A_{sum} = \Delta p \Delta V - \Delta p V_2 - P_1 \Delta V$$

$$\eta = \frac{A_{sum}}{Q_{12} - Q_{23} - Q_{31}}$$

$$5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,25$$

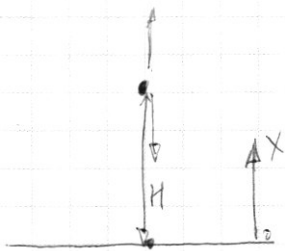
11,25 · √2

11,25
14,1
11,25
4500
1125

158,625



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

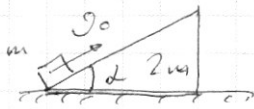


$$\sqrt{4} = 2$$

$$f(x_0) + f'(x_0) \cdot \Delta x$$

$$\sqrt{4} + \frac{1}{2\sqrt{4}} \cdot 1 \approx 2,25$$

$$\begin{array}{r} 1\ 2 \\ 225 \\ \underline{225} \\ 1125 \\ 450 \\ \underline{450} \\ 50625 \end{array}$$



6,75

$$\begin{cases} \frac{m v_0^2}{2} = 3 m v_k^2 + mgh \\ v_0 \cos \alpha m = v_k 3m \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_0^2 = 6 v_k^2 + 2gh \\ v_0 \cos \alpha = 3 v_k \end{cases}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{3 m v_{кон}^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

$$H = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

$$0 = v_0 - gT$$

$$H = gT^2 - \frac{gT^2}{2} = \frac{gT^2}{2}$$

$$0 = -v_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

$$0 = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$$

остановится

$$T - t = \tau$$

через скатно-первый



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

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

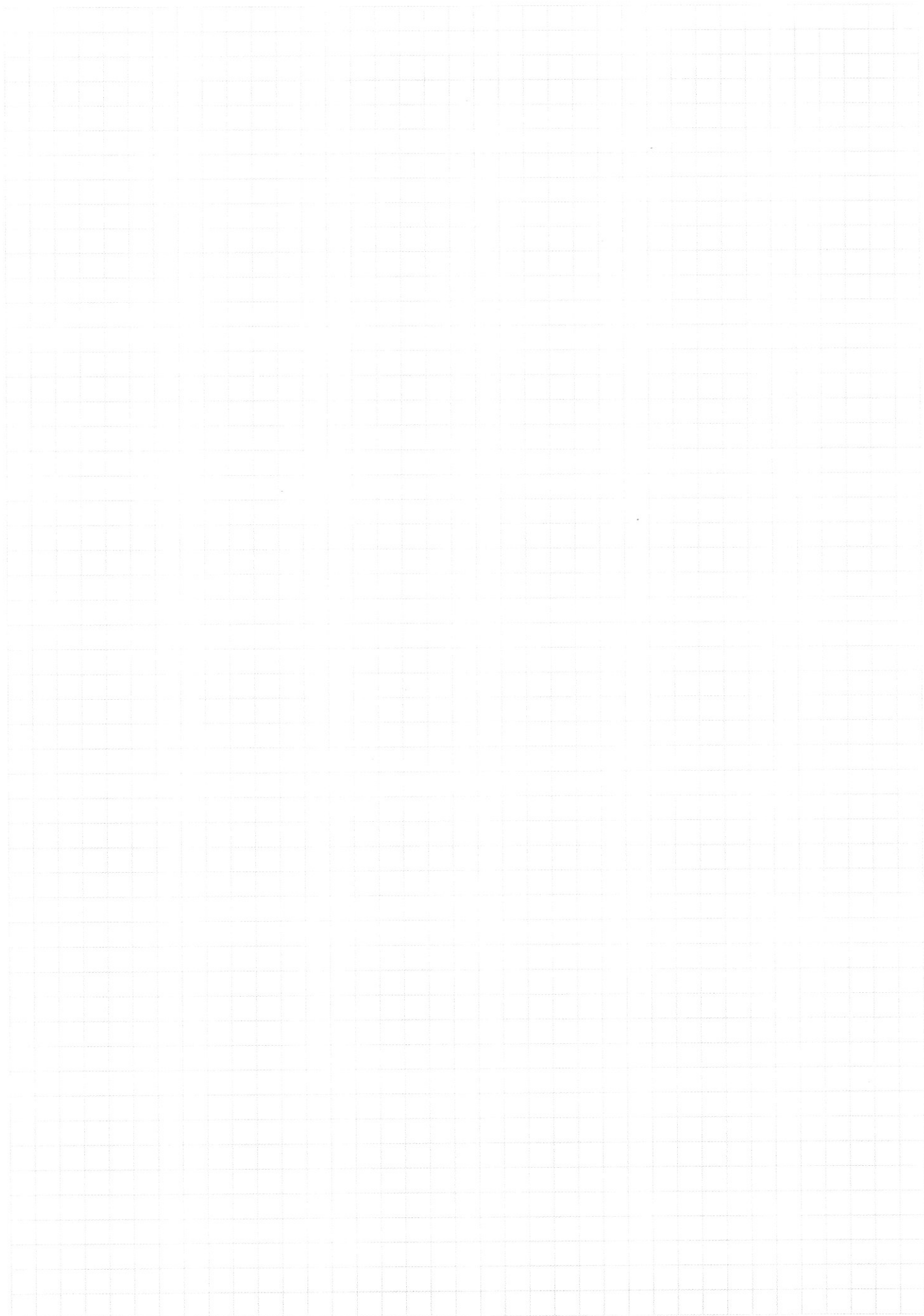
ШИФР

(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)