

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

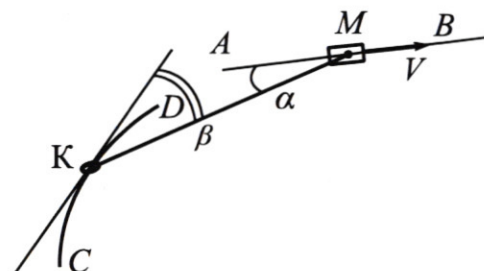
Вариант 11-04

Шифр 2.9

(заполняется секретарём)

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



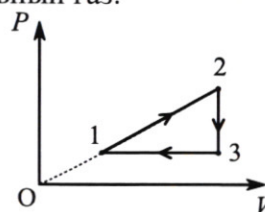
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

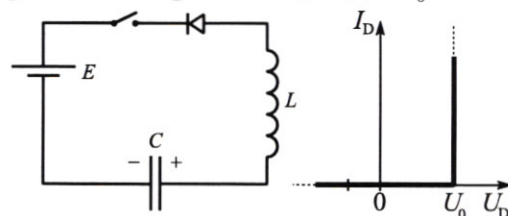
3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

Ключ замыкают.

- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

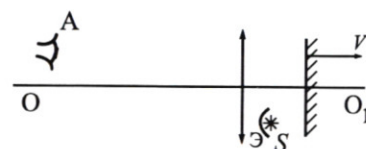


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ от линзы.

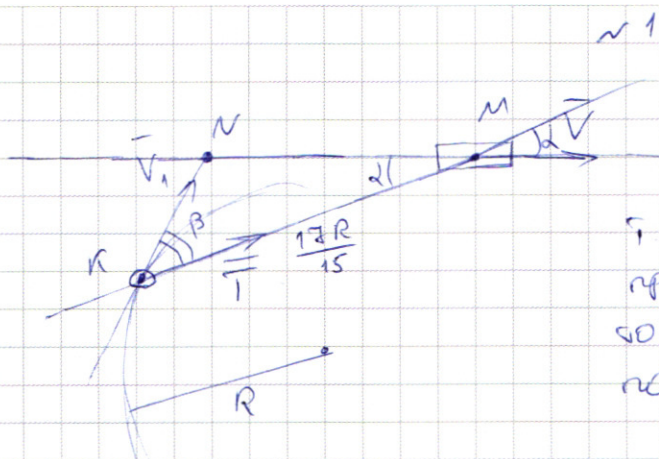
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



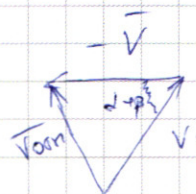
т.е., кольцо движется по
прямой в форме окружности,
со скоростью V_1 направлена
по касательной.

Вспользуемся тем, что проекции перемещений, когда
проекции V и V_1 на него равны:

$$V_1 \cos \beta = V \cos \alpha, \text{ откуда } V_1 = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} =$$

$$= 2 \cdot \frac{\frac{4}{5}}{\frac{8}{17}} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{5} \text{ м/с}$$

Переходим в СО кольца, тогда:



$$\vec{V}_1 = \vec{V} + \vec{V}_{0k} \Rightarrow \vec{V}_{0k} = \vec{V}_1 - \vec{V}$$

Заметим, что угол между $\vec{V}_1$ и $\vec{V}$ равен внешнему
углу в тр. ктм, равен $\alpha + \beta$. Тогда по с. косинусов:

$$V_{0k} = \sqrt{V_1^2 + V^2 - 2 \cdot V \cdot V_1 \cdot \cos(\alpha + \beta)} = \sqrt{4 + \frac{289}{25} + 2 \cdot 2 \cdot \frac{17}{5} \cdot \frac{13}{85}} \quad (\text{=})$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \sqrt{1 - \frac{16}{25}} \cdot \sqrt{1 - \frac{64}{289}} =$$

$$= \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} = -\frac{13}{85}$$

$$(\text{=}) \sqrt{\frac{100 + 289 + 52}{25}} = \frac{21}{5} \text{ м/с}$$

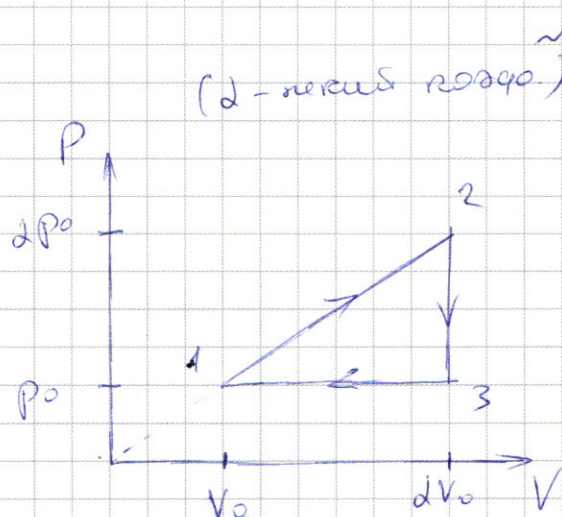
Время тем, поскольку трое перемещением, то

$V_{\text{осн}} \perp \text{КМ}$, т.е., в СО муфта кольца также движется по окружности, однако скорость муфты постоянна $\rightarrow$ выг. 2 закон Ньютона:
(на ось КМ)

$$T = m_{\text{кольца}} a_{\text{ц}} = m \cdot \frac{V_{\text{осн}}^2}{r} = m \cdot \frac{V_{\text{осн}}^2}{\frac{17}{15} R} =$$

$$= \frac{2}{5} \cdot \frac{\frac{441}{25}}{\frac{17}{15} \cdot \frac{19}{10}} = \frac{2 \cdot 441 \cdot 150}{25 \cdot 5 \cdot 17 \cdot 19} = \frac{12 \cdot 441}{85 \cdot 19} = \frac{5292}{1615} \text{ Н}$$

Ответ: $\frac{17}{5} \text{ м/с}$; $\frac{21}{5} \text{ м/с}$; $\frac{5292}{1615} \text{ Н}$.



1-2: $P \uparrow \Rightarrow PV \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

2-3: $V = \text{const}$
 $P \downarrow \Rightarrow T \downarrow$ - процесс

$V = \text{const} \Rightarrow A = 0$

$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \gamma P \Delta T = \frac{3}{2} C_{\text{v}} \cdot \gamma \cdot \Delta T$

$C_{\text{v}} = \frac{3}{2} R$

3-1: $P = \text{const}$

$V \downarrow \Rightarrow T \downarrow$ - процесс

$A = P \Delta V = \gamma P \Delta T$

$Q = A + \Delta U = \frac{5}{2} \gamma P \Delta T = C_{\text{p}} \cdot \gamma \cdot \Delta T$

$C_{\text{p}} = \frac{5}{2} R$

Значит, отношение молярных теплоемкостей равно:

$$\frac{C_{\text{v}1}}{C_{\text{v}2}} = \frac{3}{5}$$

Для процесса 1-2:

$$A_2 = \frac{P_0 + 2P_0}{2} \cdot (2-1) \cdot V_0 = (2^2 - 1) \cdot P_0 V_0 \cdot \frac{1}{2}$$

(площадь под графиком)

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} 2^2 P_0 V_0 - \frac{3}{2} P_0 V_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0 (2^2 - 1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta U}{A_2} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 (2^2 - 1)}{\frac{1}{2} P_0 V_0 (2^2 - 1)} = 3$$

Кроме того, $A_1 + \Delta U = Q_{\text{нагр}} = 2 P_0 V_0 (2^2 - 1) \Rightarrow$

$$A_{\text{цикл}} = S_{\text{кр}} = (2-1) P_0 (2-1) V_0 \cdot \frac{1}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow \eta = \frac{\Delta \varphi}{\varphi_{\text{нар}}} = \frac{(2-1)^2 \cdot \rho_0 v_0}{2 \cdot 2 \rho_0 v_0 (2^2-1)} = \frac{2-1}{4(2+1)} = \frac{1}{4} - \frac{2-1}{4+2}$$

$$= \frac{2+1-2}{4(2+1)} = \frac{1}{4} - \frac{1}{2(2+1)}$$

Заметим, что $2(2+1) > 0 \Rightarrow \frac{1}{2(2+1)} > 0$, но $0 < \eta < 1$
($2 > 1$) ($\eta \leq \frac{1}{4}$)

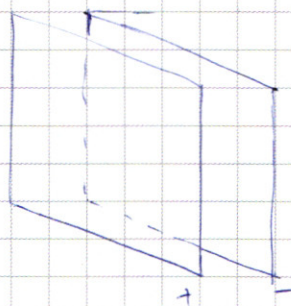
при очень больших альфах $\eta \rightarrow \frac{1}{4} \Rightarrow$

$\Rightarrow$ предельно возможное max $\eta = \frac{1}{4} = 25\%$

Ответ: $\frac{3}{5}$; 3; $\frac{1}{4}$ (25%).

~ 3

(за q будем
считать |q|)



т.к., частица вошла в
внутреннюю конденсатора, то, электр-
гическая сила² её тормозила,
значит, вошла она со стороны
положительно заряженной пластины,
т.е., пролетела $0,8d$ внутри конденс.

при этом из закона сохр энергии:

$$\frac{m V_1^2}{2} = A_{\text{пол}} = 0,8d \cdot E q = 0,8d \cdot \frac{U}{d} q = 0,8 U q \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{V_1^2}{1,6U} = \frac{V_1^2}{U} \cdot \frac{5}{8} = \frac{5 V_1^2}{8 U}$$

Движение частицы внутри будет симметрично,

т.е., $t_{\text{доосновки}} = t_{\text{послеосновки}}$. Значит, поскольку

$$S = 0,8d = \frac{a t^2}{2} = \frac{V_1^2}{2a}, \text{ то } a = \frac{V_1^2}{1,6d}; S = 0,8d = \frac{V_1 \cdot t}{2} \Rightarrow$$

$$t_{\text{доосновки}} = \frac{1,6d}{V_1} \Rightarrow t_{\text{внутри}} = 2 t_{\text{доосновки}} = \frac{3,2d}{V_1}$$

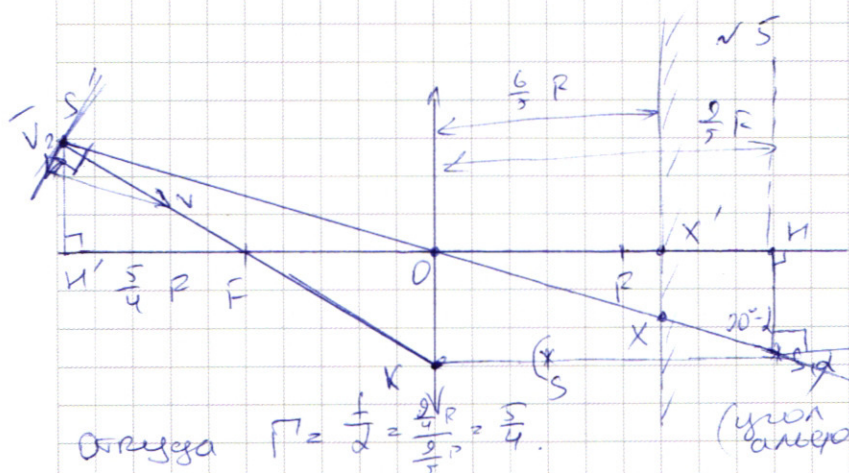
Положим путь частицы вне конденсатора на множество частей длины d . Процируем их попарно с близк. к конденсатору. Заметим, что работа близлежащей пластины на $n+1$ части равна по модулю работе дальней пластины на n части. Тогда на бесконечности их работы будут отличаться на A_1 - работу близлежащей пластины на первой части, причём поле на этом участке всё ещё однородно, т.е., с погрешностью $\gg d$; $E_1 = \frac{E}{2}$.

$$A_1 = \frac{E}{2} \cdot d \cdot q = \frac{U}{2d} \cdot d \cdot q = 0,5 U \cdot q = \frac{5}{8} \cdot 0,8 U q = \frac{5}{8} \cdot \frac{m v_1^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_k = A_1 + E_0 = A_1 + \frac{mv_1^2}{2} = \frac{13}{8} \cdot \frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{12}{8}} V_1$$

Answers: $\frac{5V_1^2}{8U}$; $\frac{3,2d}{V_1}$; $\sqrt{\frac{13}{8}} V_1$



Определим истинный
относительный запас на
генераторе S_1 :

$$d = \frac{3}{5} R + \left(\frac{6}{5} - \frac{3}{5} \right) R \cdot 2 = \frac{2}{5} R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2} = \frac{2-R}{2R}$$

$$\frac{V}{V_1} = f = \frac{d}{2-R} = \frac{2}{\frac{2}{F} + \frac{1}{2}} = \frac{2}{\frac{4}{F} + \frac{2}{2}} = \frac{2}{4} F.$$

Ortega $\Gamma = \frac{1}{2} = \frac{\frac{1}{2} R}{\frac{1}{2} R} = \frac{1}{4}$

Рассмотрим точку x на зеркале. Она движется со скоростью $v \cdot \frac{3}{2} = \frac{3}{2} v$ (из неподвижных SOx и SOx' и SOx, H)

Застосовуючи її властивості, перенесемо першу до O_1 .

$$V_1 = \frac{3}{2} V \cdot \sin \alpha = \frac{3}{2} V \cos(90^\circ - \alpha) = \frac{3}{2} V \cdot \cos \angle OS_1 H = \frac{3}{2} V \cdot \frac{S_1 H}{OS_1}$$

также угловое скорость вращения прямых S, S' равна:

$$\omega = \frac{V_1}{OS_1} = \frac{3}{2} V \cdot \frac{S_1 H}{OS_1^2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

В Р, скорость S_1 направлена перпендикулярно
плоскости линзы, во время S_1, R -
постоянна $\Rightarrow$ фиксирован переломленный луч
(сферическая)

проходящий, через F $\Rightarrow$ скорость изображения
направлена по тому же лучу (прямой). Действи-
тельно, достаточно мысленно сдвинуть S_1
чуть дальше и S' останется на том же луче прямой.
Тогда скорость изображения направлена
по лучу $S'Pn'$ к O, $\angle \varphi < S'Pn' =$

$$\angle \varphi < RPO = \frac{OR}{OP} = \frac{\frac{8}{15} R}{R} = \frac{8}{15}$$

Далее, в Р, $\Gamma = \frac{5}{4}$, то $S'O = \frac{5}{4} OS_1 \Rightarrow$

проекция скорости изобр. на ось OS_1 прямую,
перп. OS' , равна $\text{сд. } \frac{5}{4} OS_1 = \frac{15}{8} \cdot V \cdot \frac{S_1 n}{OS_1} = V_2$
далее

$$2 S_1 S'RO = S'n' \cdot OP = S'O \cdot S'R \cdot \sin \angle PS'O \Rightarrow$$

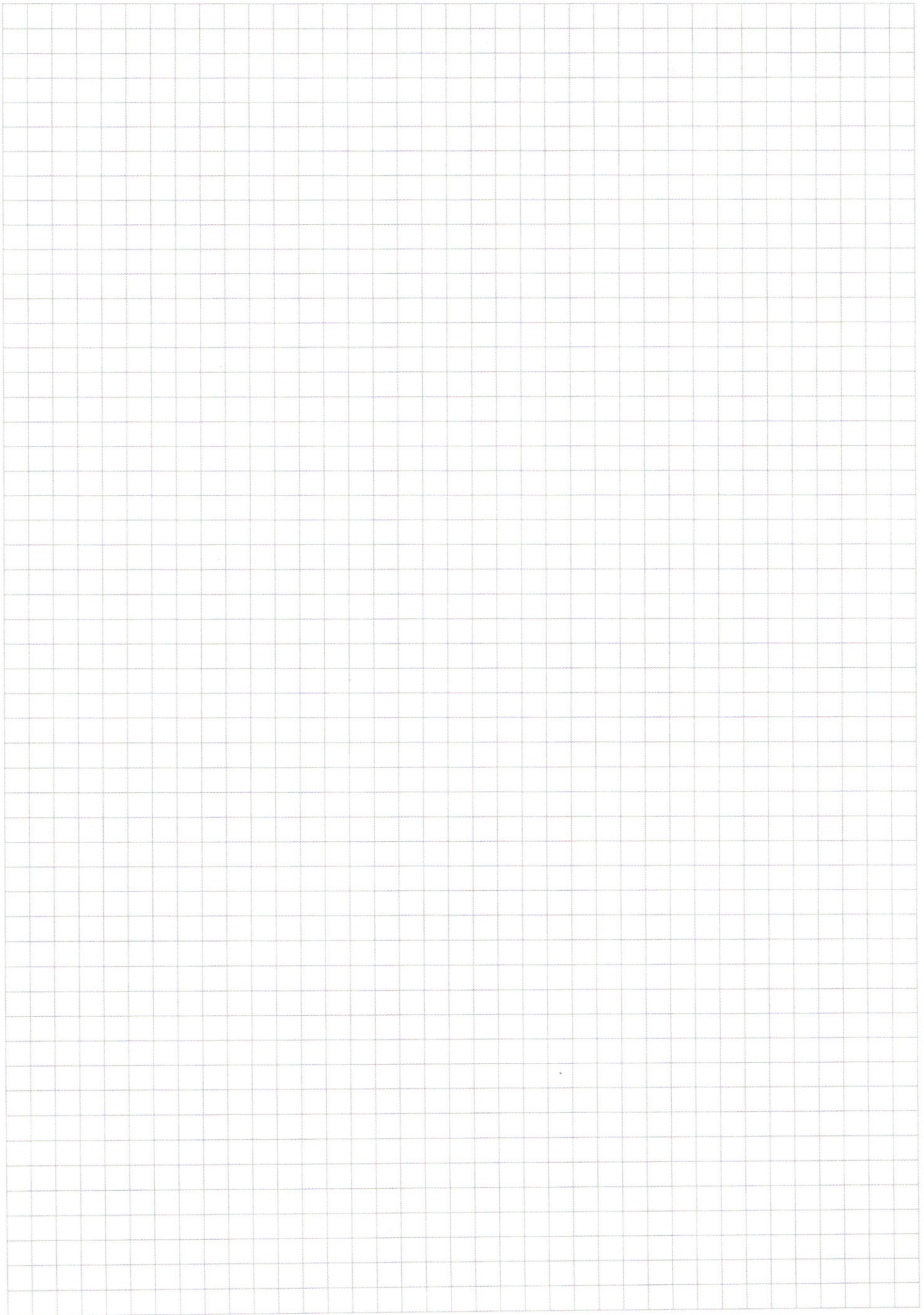
$$\Rightarrow \sin \angle PS'O = \frac{S'n' \cdot OP}{S'O \cdot S'R} = \cos(20^\circ - \alpha) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{\text{изобр}} = \frac{V_2}{\cos(20^\circ - \alpha)} = \frac{\frac{15}{8} V \cdot \frac{S_1 n}{OS_1}}{\frac{S'n' \cdot OP}{S'O \cdot S'R}} = \frac{\frac{15}{8} V \cdot S_1 n \cdot \frac{5}{4} S'R}{S'n' \cdot OP}$$

$$= \frac{\frac{15}{8} V \cdot \frac{5}{4} R \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{13}{15} R}{\frac{5}{4} \cdot \frac{8}{15} R} = \frac{85}{32} V$$

$$(S'R = \sqrt{S'n'^2 + n'^2} = \frac{5}{4} \cdot \frac{17}{15} R)$$

Ответ: $\frac{8}{4} R$; $\sin \varphi = \frac{8}{15}$; $\frac{85}{32} V$.



$$Q_n = \Lambda_2 + \Lambda_1 = 2\rho_0 v_0 (d^2 - 1)$$

$$\eta = \frac{\Lambda}{Q_n}$$

$$Q_x = \Lambda_{3-2} + \Lambda_{2-3} = \rho_0 (d-1) v$$

$$0 \quad v_3 d + 5 v$$

$$\Lambda = \frac{(d^2 - 1) \rho_0 v_0}{2}$$

$$\frac{(d-1)^2}{d^2 - 2d + 1} \quad v_4 d^2 - 4$$

$$\frac{5d-1}{2} < 1$$

$$\max_{x \neq 1} \left(\frac{\Lambda}{Q_n} \right) = \max_{x \neq 1} \left(\frac{(d-1)^2}{4(d^2 - 1)} \right)$$

$$0 \quad v_3 d^2 + 2d - 3 \quad v_0$$

$$f(x) = \frac{(x-1)^2}{4(x^2 - 1)} = \frac{x-1}{4(x+1)}$$

$$4x+4 \quad \frac{1}{4} + \frac{x+1-2}{4} =$$

$$= \frac{1}{4} - \frac{1}{2x+2} = \frac{1}{4} - \frac{1}{2(x+1)}$$

$$x > 1 \quad f'(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(x+1)^2}$$

$$f(x) = \frac{x-1}{4(x+1)}$$

$$f'(x) = \frac{4(x+1) - 4(x-1)}{16(x+1)^2} = \frac{1}{2(x+1)^2}$$

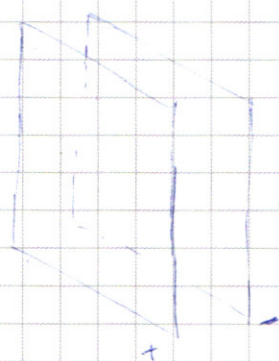
$$\frac{x-1}{x+1} = \frac{x+1-2}{x+1} =$$

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

$$g''(x) = \frac{2}{(x+1)^3}$$

$$d, u \quad F = \frac{u}{d} \quad \sim 3$$

$$F = q \cdot E = \frac{|q|u}{d} = ma = \frac{m v^2}{2e}$$



$$e \cdot d \cdot d = \frac{a d^2}{2} = \frac{v^2}{2a} = \frac{v d}{2}$$

$$a = \frac{v^2}{2e} = \frac{v^2}{16d} \quad \frac{|q|}{m} = \frac{d v^2}{2e u} = \frac{5}{8} \frac{v^2}{u}$$

$$T = \frac{2e}{v} = \frac{16d}{v_1}$$

$$\Delta E = E q \cdot d \cdot d = \frac{m v_1^2}{2}$$

$$u \cdot q \cdot d \cdot d \quad \frac{q}{m} = \frac{v_1^2}{2 \cdot d \cdot d}$$

$$\frac{E}{2} = \frac{u}{2d} \quad E = a = \frac{v^2}{2d}$$

$$v_0 = \frac{3}{2} v_1$$

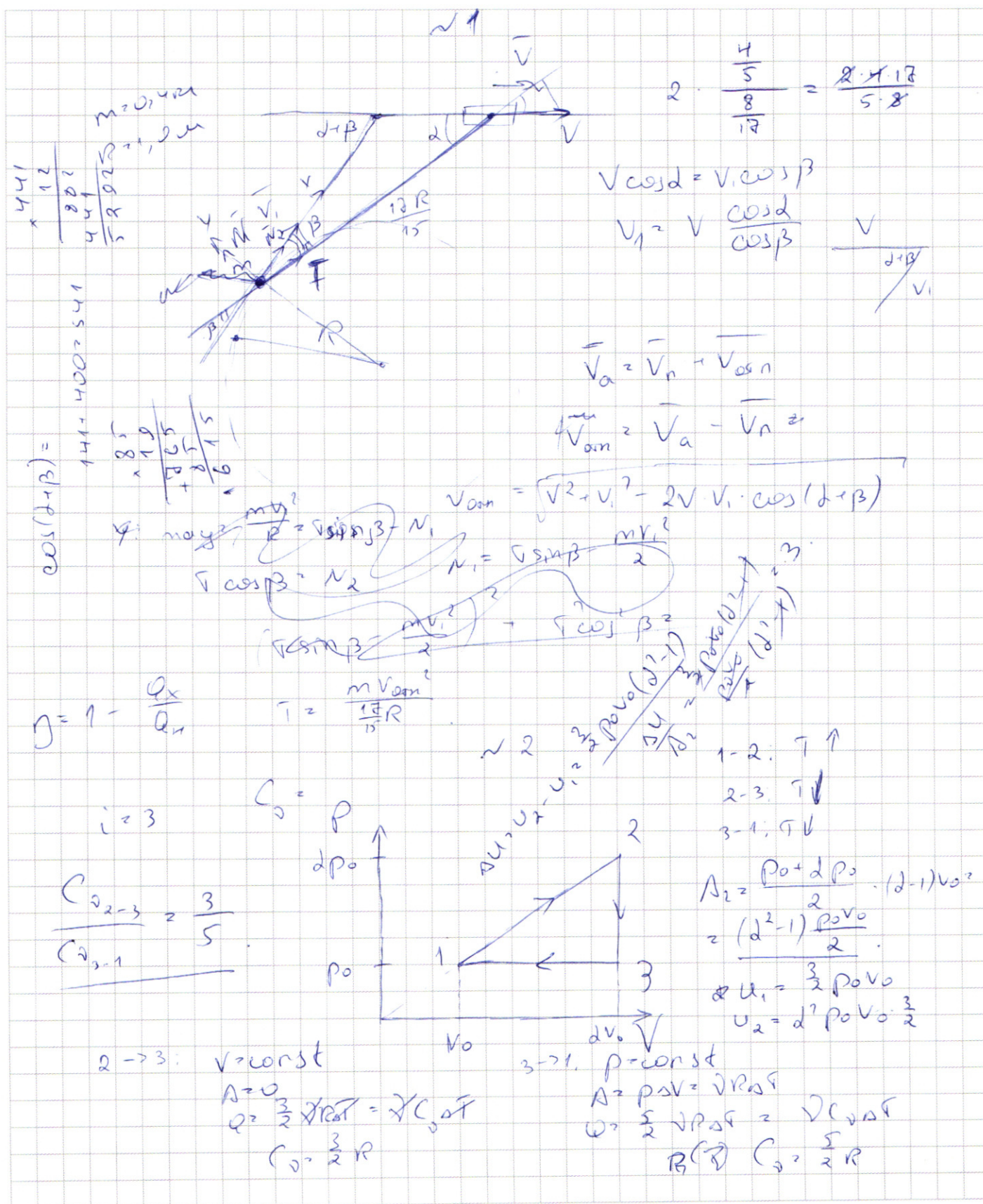
$$v_2 = -v_1 + \frac{3}{2} v_1 = \frac{v_1}{2}$$

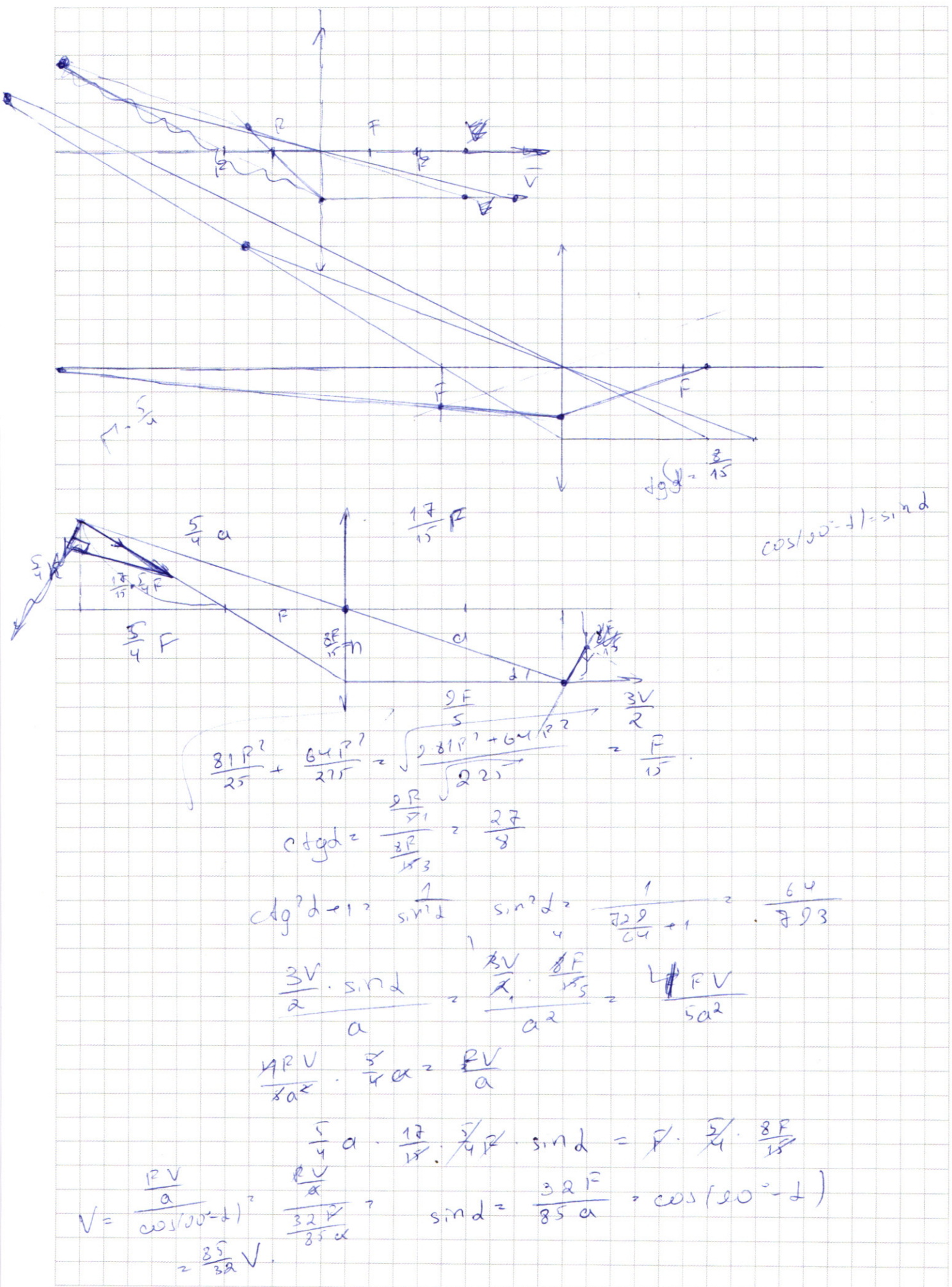
$$Q_1 = v_1^2 = \frac{5}{4} v_1^2 \quad d = S = v_1 \cdot t + \frac{a d^2}{2}$$

$$v^2 + 2v_1 v = \frac{5}{4} v_1^2 \Rightarrow 0 \quad \frac{v_1 \cdot v}{a} = \frac{v^2}{2a}$$

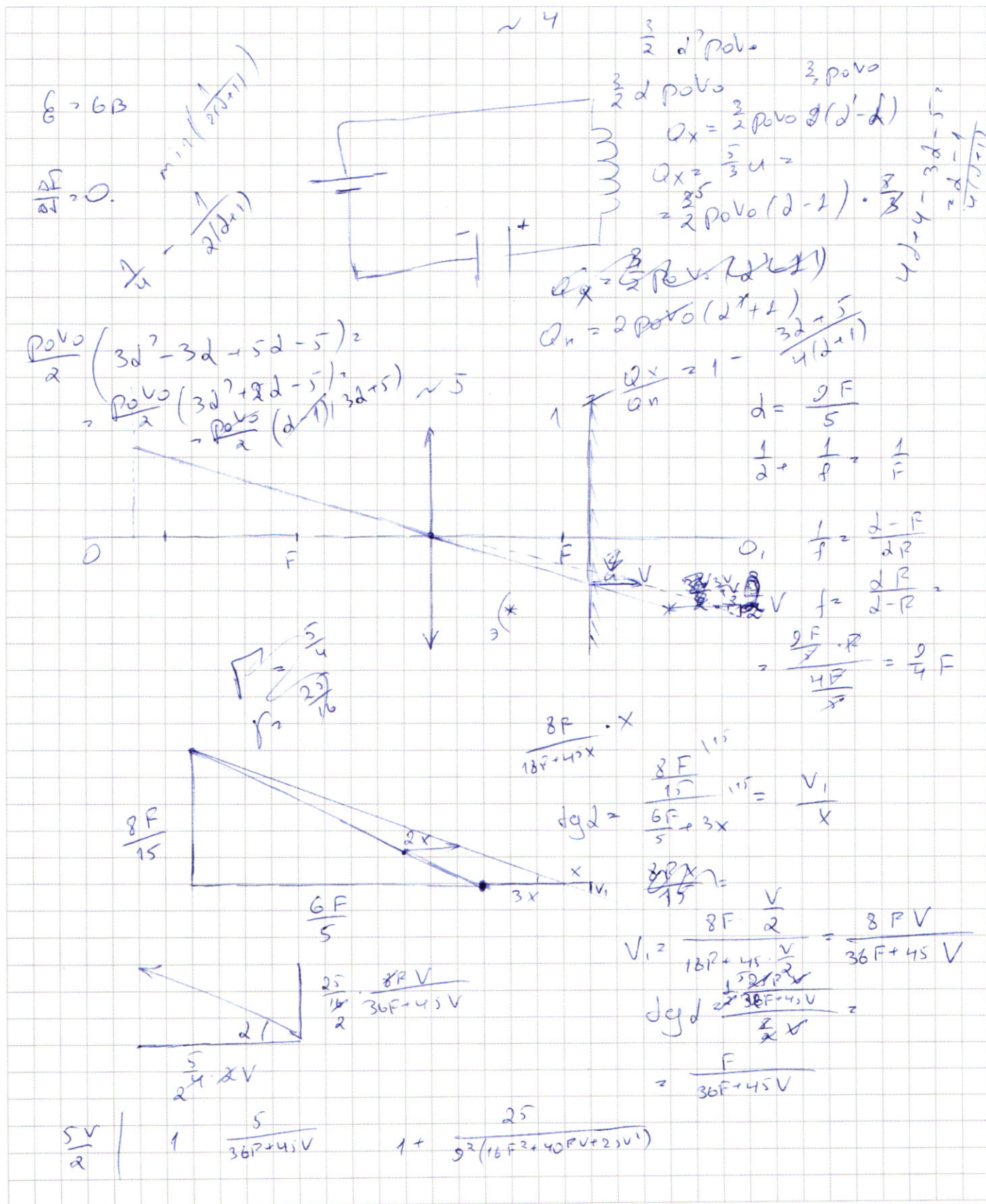
$$v^2 + v_1 v + 2 = 2 \cdot \frac{v_1^2}{16d} \quad d = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

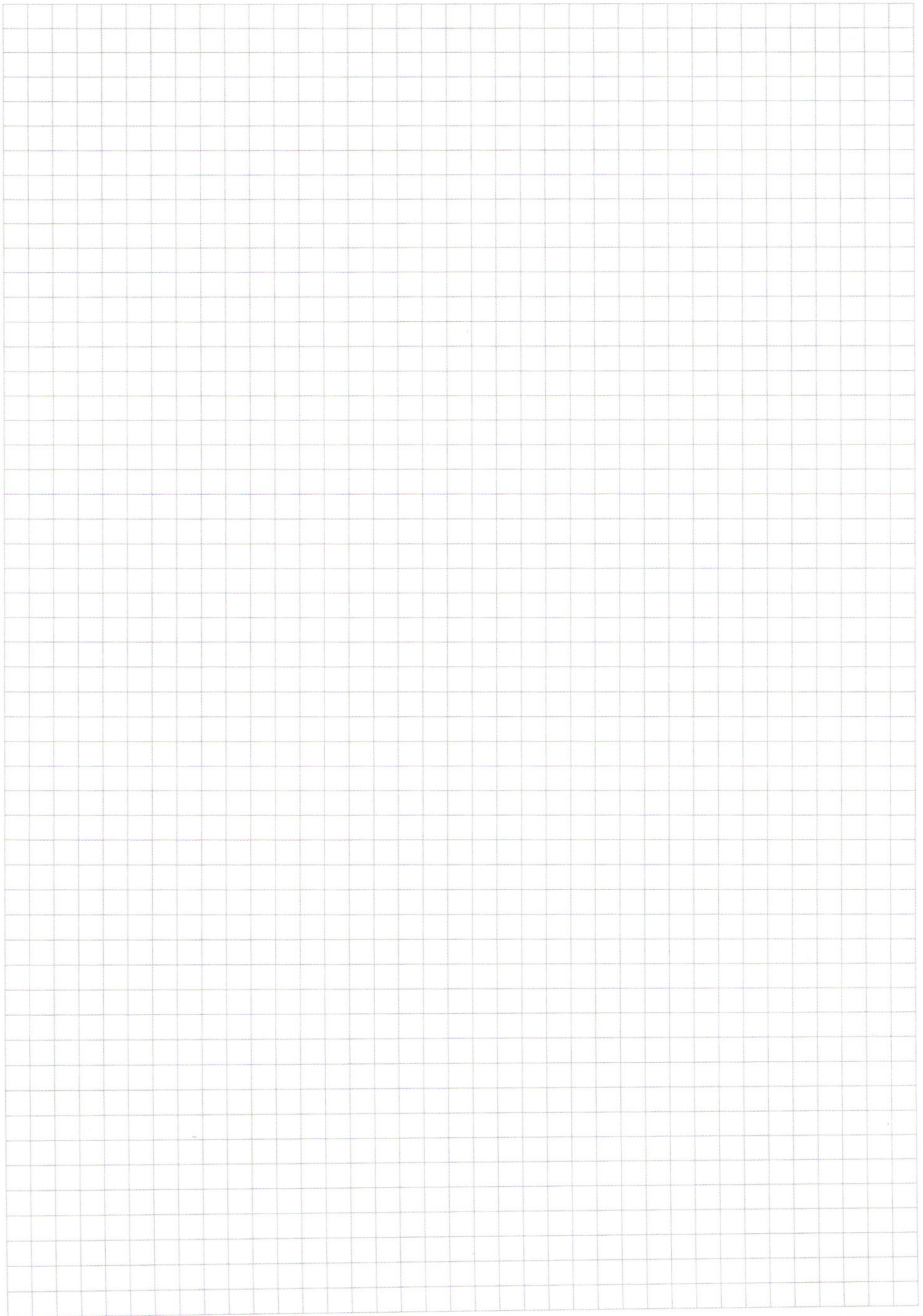
ШИФР

(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)