

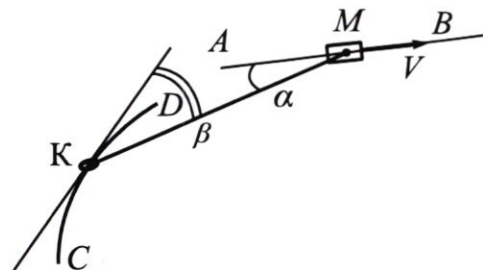
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



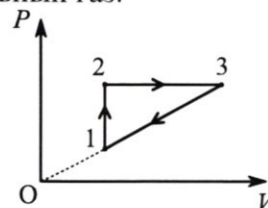
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица 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.

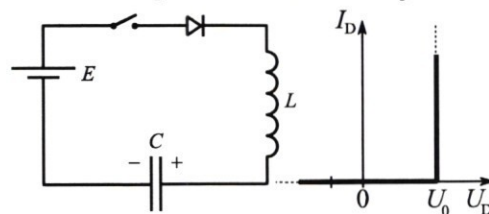
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

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.

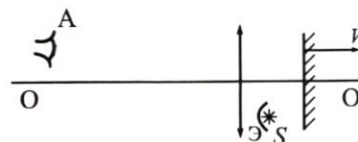


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F 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

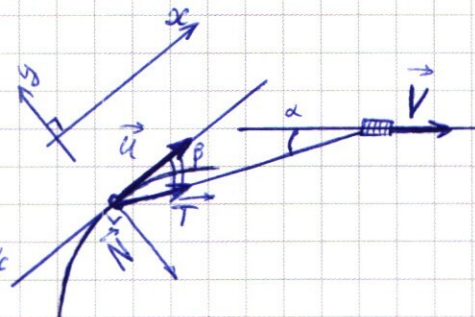
1. Дано: $V = 68 \text{ м/с}$; $m = 0,1 \text{ кг}$; $R = 1,9 \text{ м}$; $l = \frac{5}{3}R$, $\cos \alpha = \frac{15}{17}$, $\cos \beta = \frac{4}{5}$.

Опред.: u , $v_{отн}$, T .

1) Кинемат. связь (нерастяж. нити):

$$V \cos \alpha - u \cos \beta = 0$$

$$u = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 68 \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 4} = 75 \text{ м/с}$$



2) Закон сложения скоростей:

$$\vec{u} = \vec{V} + \vec{v}_{отн}$$

$$v_{отн}^2 = u^2 + V^2 - 2uV \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{36}{17 \cdot 5}$$

$$\begin{aligned} v_{отн}^2 &= V^2 \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cos(\alpha + \beta) \right) = V^2 \left(1 + \frac{75^2}{68^2} - 2 \frac{68 \cdot 75}{68^2} \frac{36}{17 \cdot 5} \right) = \\ &= V^2 \frac{68^2 + 75^2 - 2 \cdot 15 \cdot 36 \cdot 4}{68^2} = V^2 \frac{68^2 + 75^2 - 2 \cdot 60 \cdot 36}{68^2} = V^2 \frac{(75 - 68)^2 + 2(75 \cdot 68 - 60 \cdot 36)}{68^2} = \\ &= V^2 \frac{49 + 30 \cdot (5 \cdot 68 - 4 \cdot 36)}{68^2} = V^2 \frac{49 + (340 - 144) \cdot 30}{68^2} = V^2 \frac{196 \cdot 30 + 49}{68^2} = V^2 \frac{5880 + 49}{68^2} = \\ &= V^2 \frac{637}{68^2}, \quad v_{отн} = \frac{V}{68} \sqrt{637} = \sqrt{637} \text{ м/с} \approx 25,2 \text{ м/с} \end{aligned}$$

$$25^2 = 625, \quad 26^2 = 625 + 51 = 676, \quad \frac{12}{51} \approx 0,2$$

3) 2-ой зак. Ньютона:

$$Ox: T \cos \beta = ma_x$$

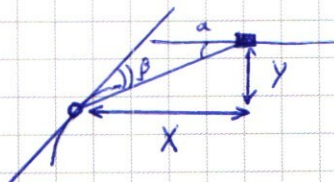
$$Oy: -N - T \sin \beta = -m \frac{u^2}{R}$$

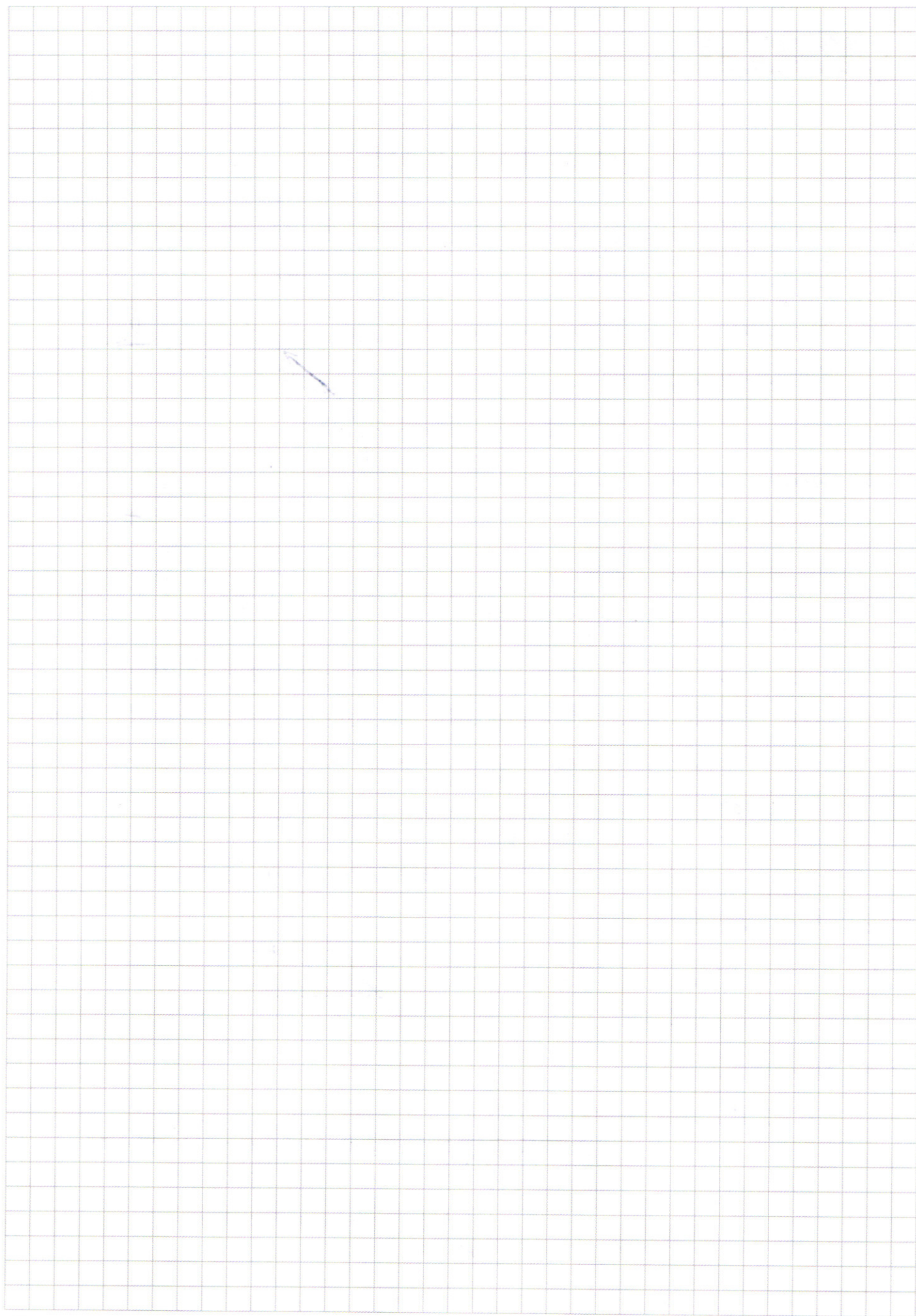
4) Нерастяж. нити:

$$(x^2 + y^2)' = \text{const} \Rightarrow x dx + y dy = 0$$

$$\begin{aligned} x dx &= u \cos \alpha + \beta dt + V dt - u \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} dt \\ y dy &= -u \sin \alpha + \beta dt \\ x dx + y dy &= u \cos \alpha + \beta dt + V dt - u \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} dt - u \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} dt = 0 \end{aligned}$$

Ответ: $u = 75 \text{ м/с}$, $v_{отн} \approx 25 \text{ м/с}$





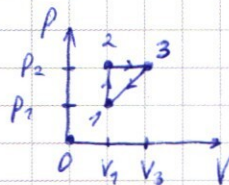
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2. ~~Опред.~~ Опред.: $k_1, k_2, \eta_{\max}$.

1) $pV = \nu RT \rightarrow$ темп. повышается
на 1-2, 2-3.



2) участок 1-2 — изохора,

2-3 — изобара.

$$C_v = \frac{3}{2}R, C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R \Rightarrow k_1 = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} \quad (\text{м.г. одноатомный})$$

$$3) k_2 = \frac{\Delta Q_{23}}{A_{23}}$$

$\rightarrow$ перешло в работу и внутреннюю энергию

$$A_{23} = p_2(V_3 - V_1), \Delta Q_{23} = A_{23} + \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{5}{2}p_2(V_3 - V_1)$$

$$k_2 = \frac{5}{2}$$

$$4) \text{ Работа газа за цикл } A = p_2(V_3 - V_1) - (V_3 - V_1) \frac{p_2 + p_1}{2} = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{2}$$

$$\text{Получено тепла } Q = A + \frac{3}{2}\nu R((T_3 - T_2) + (T_2 - T_1)) = A + \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) =$$

$$= A + \frac{3}{2}(p_2V_3 - p_1V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_3 + p_1V_1 - p_1V_3 - p_2V_1 + 3p_2V_3 - 3p_1V_1) =$$

$$= A \left(1 + \frac{3(p_2V_3 - p_1V_1)}{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)} \right)$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{3(p_2V_3 - p_1V_1)}{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}}$$

$$p_2V_3 - p_1V_1 = (p_2 - p_1)(V_3 - V_1) + (p_2 - p_1)V_1 + (V_3 - V_1)p_1$$

$$\frac{p_2V_3 - p_1V_1}{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)} = \frac{V_1}{V_3 - V_1} + \frac{p_1}{p_2 - p_1} + 1 \Rightarrow \text{если минимизировать } V_1 \text{ и } p_1,$$

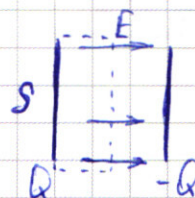
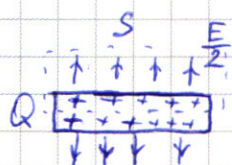
$$\frac{p_2V_3 - p_1V_1}{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)} > 1 \Rightarrow \eta < \frac{1}{4} \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{1}{4}$$

Ответ: $k_1 = \frac{5}{3}, k_2 = \frac{5}{2}, \eta_{\max} = 0,25$.

3. Дано: $S, d, T, r = \frac{q}{m}$. Опред.: V_1, Q, V_2 .

1) Теорема Гаусса:

$$\frac{E}{2} \cdot S = \frac{Q \cdot \frac{1}{2}}{\epsilon_0}$$



Попробуем

По принципу суперпозиции:

$\frac{E}{2}$ и $\frac{E}{2}$ от положительно и отрицательно заряженных пластин

складываются $\Rightarrow E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$

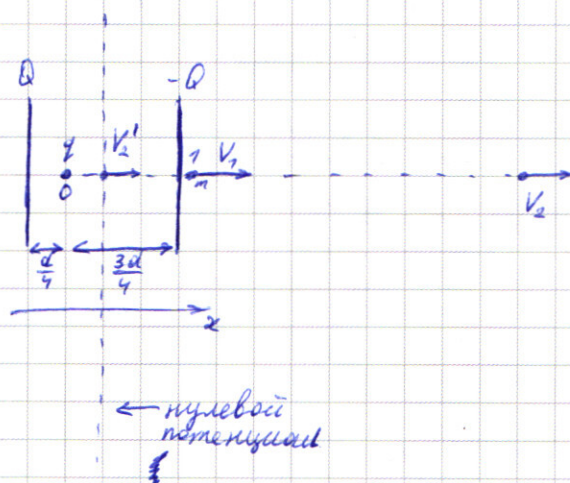
$$2) \varphi_0 - \varphi_1 = E \cdot \frac{3}{4}d$$

Закон сохр. энергии:

$$\varphi_0 q = \varphi_1 q + \frac{m V_1^2}{2}$$

$$2 \cdot \frac{Qr}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{3}{4}d = V_1^2$$

$$Q = \frac{2 \epsilon_0 S V_1^2}{3 r d}$$



3) 2-ой зак. Фарадея:

$$Ox: E q = m \frac{dv}{dt} \Rightarrow m \int_0^{V_1} dv = E q \int_0^T dt$$

$$V_1 = \frac{E q T}{m} = r T \frac{Q}{\epsilon_0 S} \Rightarrow \frac{3}{2} r d \frac{V_1}{r T} = V_1^2$$

$$V_1 = \frac{3d}{2T}$$

$$Q = \frac{\epsilon_0 S}{r T} \cdot \frac{3d}{2T} = \frac{3 \epsilon_0 S d}{2 r T^2}$$

4) ~~Выводим~~ Отдельно у полож. и отриц. пластин сумма потенциалов на равном расстоянии равна нулю в силу $\varphi_i \sim Q_i$. ~~интегрируем~~ $\Rightarrow$ потенциал на плоскости, параллельной обкладкам равно между ними равен нулю

$$\text{Закон сохр. энергии: } \varphi_0 q = \frac{m V_2^2}{2} = \frac{m V_1^2}{2} \Rightarrow V_2 = V_1$$

$$\varphi_0 - 0 = E \frac{d}{4} = \frac{V_1}{r T} \frac{d}{4} = \frac{3d^2}{8 r T^2} \Rightarrow V_1^2 = \frac{2q}{m} \varphi_0 = 2 r \frac{3d^2}{8 r T^2} = \frac{3d^2}{4 T^2}$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{3}d}{2T}$$

$$\text{Ответ: } V_1 = \frac{3d}{2T}, Q = \frac{3 \epsilon_0 S d}{2 r T^2}, V_2 = \frac{\sqrt{3}d}{2T}.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4. Дано: $\mathcal{E} = 9 \text{ В}$, $C = 40 \text{ мкФ}$, $U_1 = 5 \text{ В}$, $L = 0,1 \text{ Гн}$, $U_0 = 1 \text{ В}$. Опред.: $j, j_{\max}, U_2$.

1) Обозначим $\varphi_1 - \varphi_2 = U_1$, $\varphi_2 - \varphi_3 = U_2$, $\varphi_3 - \varphi_4 = U_0$

$$U_1 + U_2 = \mathcal{E} - U_0 = 4 \text{ В} > 1 \text{ В} = U_0$$

↓
диод пропустит ток

2) 2-ой закон Кирхгофа:

$$\mathcal{E} = U_0 + U_L + U_1 \Rightarrow U_L = \mathcal{E} - U_0 - U_1 = L \cdot j$$

$$j = \frac{\mathcal{E} - U_0 - U_1}{L} = 30 \text{ А/с}$$

3) $j = j_{\max} \Rightarrow U_L = 0$ ~~и диод закрыт~~ $j = 0$, $U_L = 0$

$$\mathcal{E} - U_0 = L \frac{dj}{dt} + \frac{q}{C}; \quad j + \frac{q}{C} = 0$$

↑
пока диод открыт

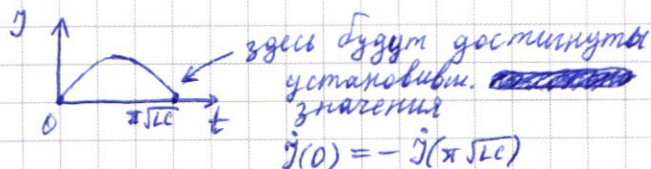
$$j = j_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$j(0) = 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0, \quad j = j_{\max} \sin \omega t$$

$$j_{\max} = \frac{j_{\text{max}}}{\sqrt{LC}} = \frac{\mathcal{E} - U_0 - U_1}{L}$$

$$j_{\max} = \sqrt{\frac{C}{L}} (\mathcal{E} - U_0 - U_1) = 3 \sqrt{4 \cdot 10^{-9}} \text{ А} = 3 \cdot 0,02 \text{ А} = 0,06 \text{ А}$$

~~В этот момент диод закроется и конденсаторе $\mathcal{E} - U_0$~~

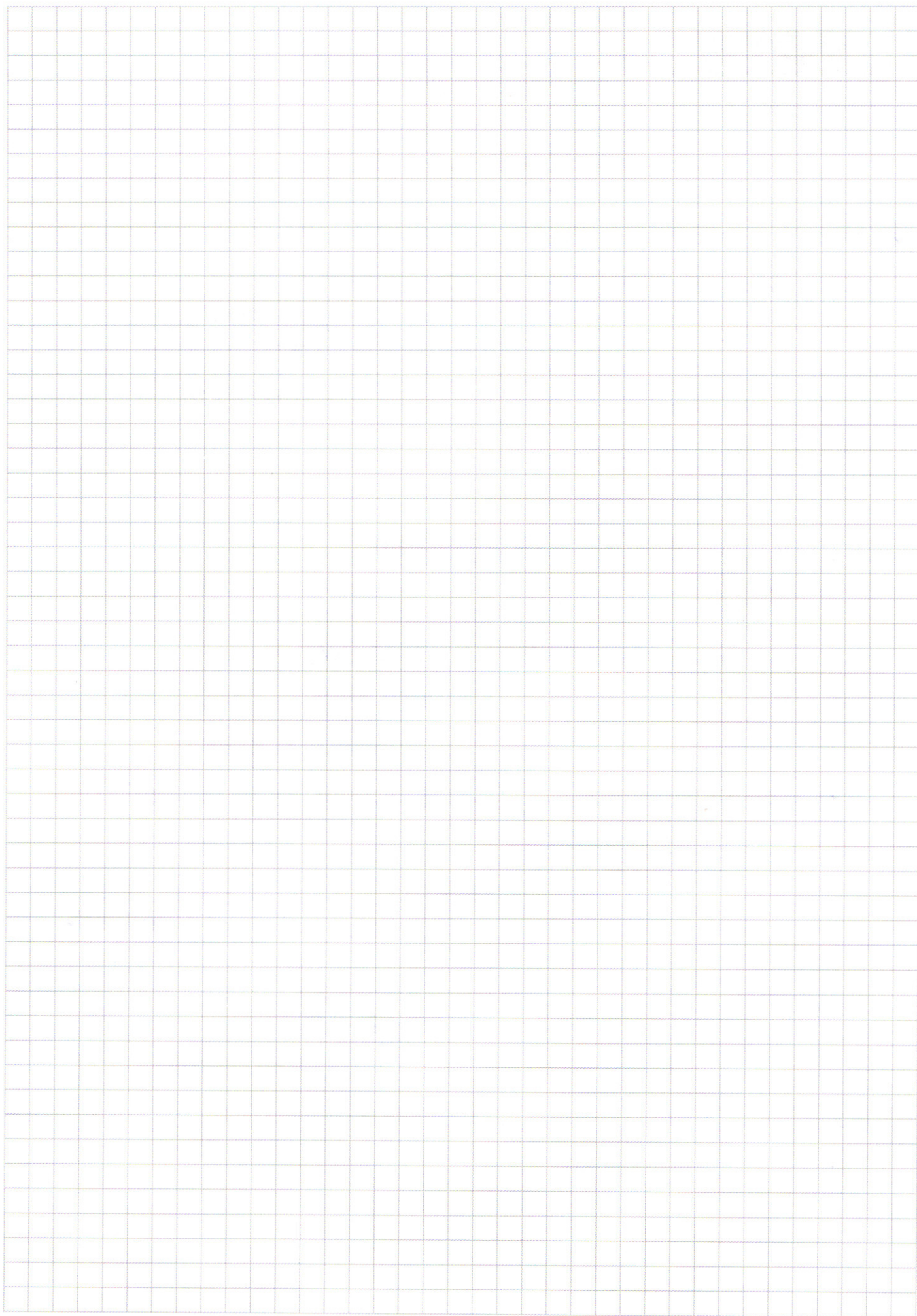


$$j(0) = -j(\pi \sqrt{LC})$$

$$\mathcal{E} = U_0 + U_2 - (\mathcal{E} - U_0 - U_1)$$

$$U_2 = 2(\mathcal{E} - U_0) - U_1 = 11 \text{ В}$$

Ответ: $j = 30 \text{ А/с}$, $j_{\max} = 60 \text{ мА}$, $U_2 = 11 \text{ В}$.

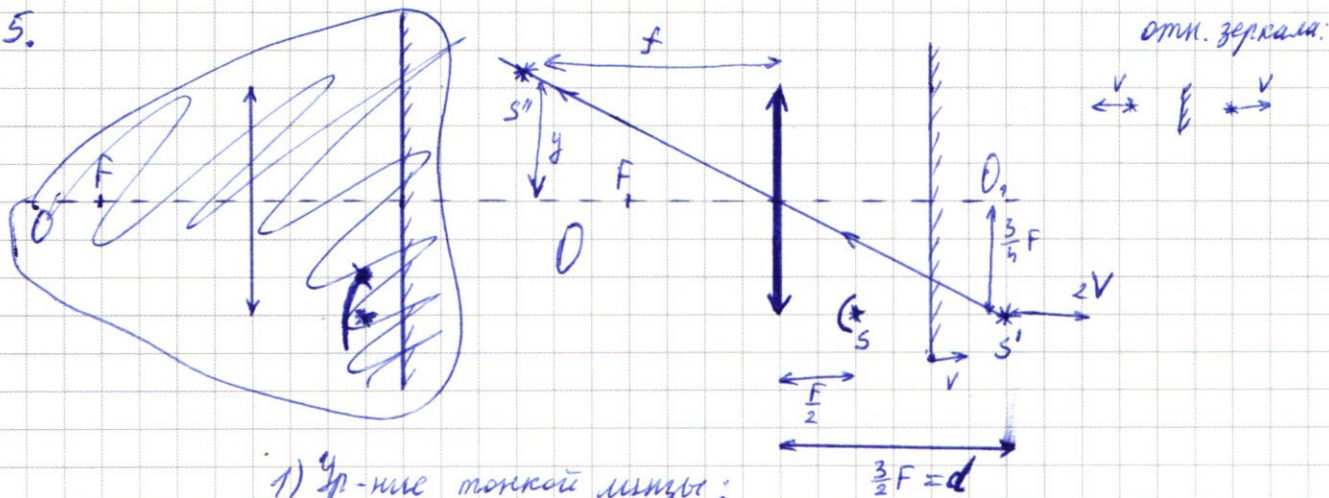


☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5.



1) Чр-ние тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad d = \frac{3}{2}F \Rightarrow f = 3F \leftarrow \text{на таком расстоянии}$$

лучи становятся расходящимися

2) $d = \frac{3}{2}F + 2Vt$

~~отсюда~~

$$0 = \frac{2V}{d^2} + \frac{f}{f^2} \Rightarrow \dot{f} = -2V \cdot \frac{9F^2}{\frac{9}{4}F^2} = -8V$$

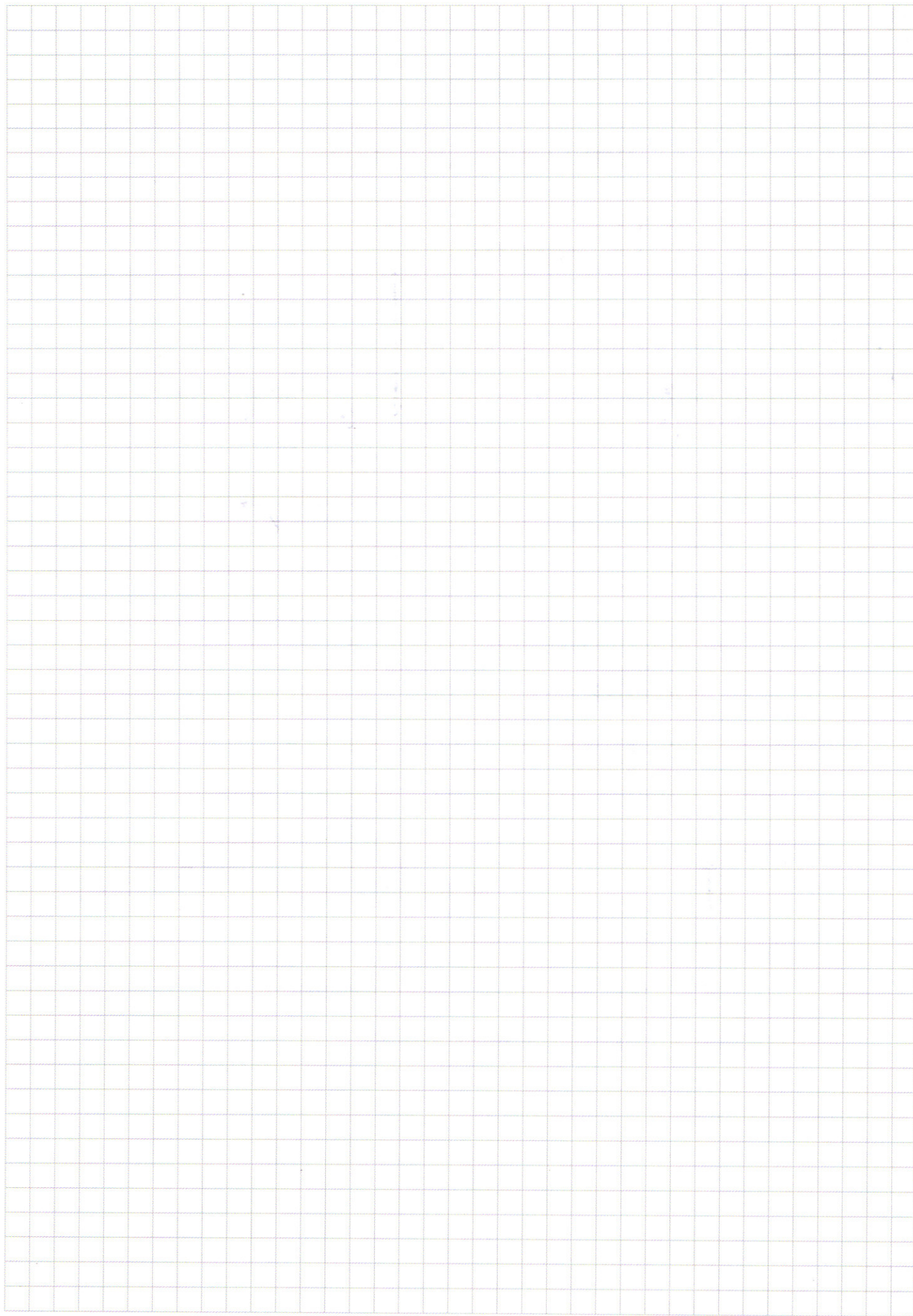
Найдём пересечение с лучем через центр:



$$\tan \alpha = \frac{y}{f} = \frac{3}{4}$$

$$u = \sqrt{\dot{f}^2 + \dot{y}^2} = 10V \leftarrow \text{полная скорость}$$

Ответ: $f = 3F$, $\tan \alpha = \frac{3}{4}$, $u = 10V$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № _____
(Нумеровать только чистовики)

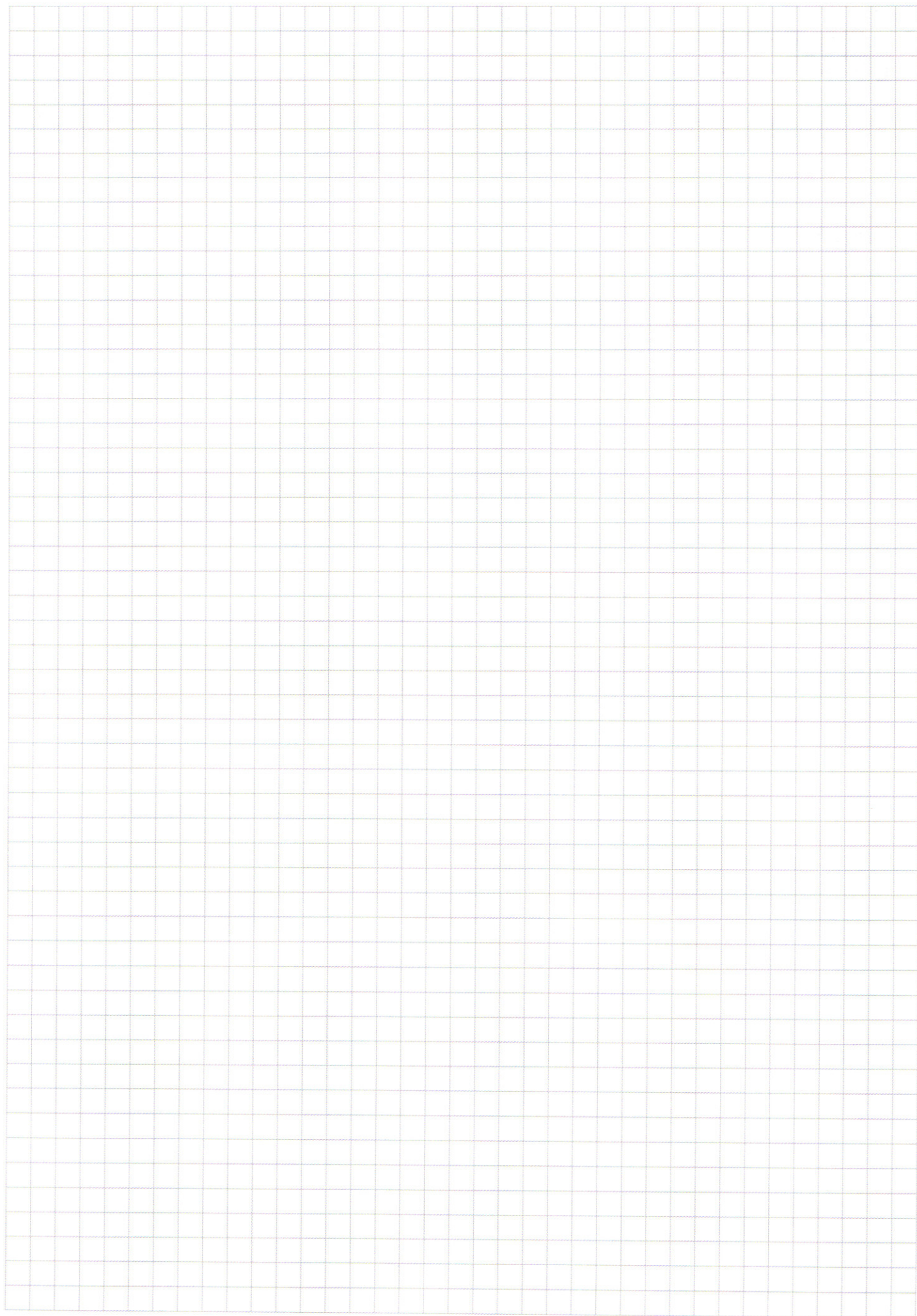


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T \cos \beta = m a_x$$

$$N + T \sin \beta = m \frac{u^2}{R}$$

$$N \cos \beta = m \frac{u^2}{R}$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)