

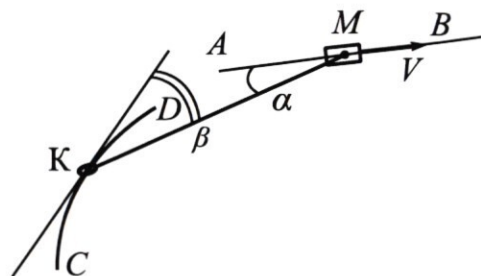
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

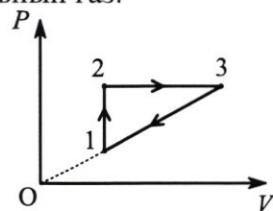
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) 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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



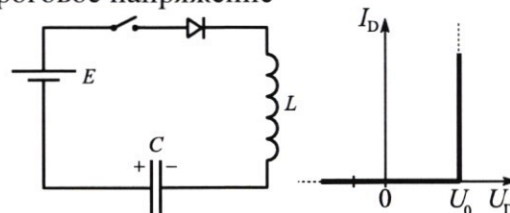
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

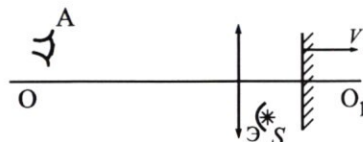
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ 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 плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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.

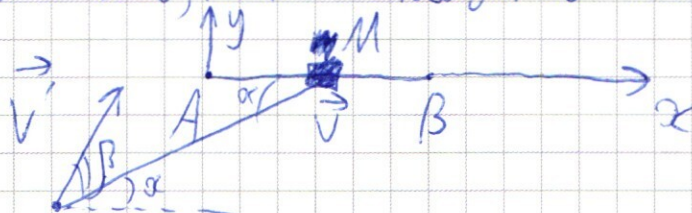
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1) Решение:

1) П.к. имеет мерцающую лампу, скорость муфты и колеса связаны соотношением: $V \cos \alpha = V' \cos \beta$, где V' - скорость колеса.

$$V' = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{3} = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{25}{17} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

2) • выберем ось Ox , как показано на рисунке.



• Тогда относительная скорость колеса:

• $V_{\text{отн}} = \sqrt{V_{\text{отн}x}^2 + V_{\text{отн}y}^2}$, где $V_{\text{отн}x}$ и $V_{\text{отн}y}$ - соответственно, относительные скорости по осям.

$$V_{\text{отн}x} = V - V' \cos(\beta + \alpha); \quad V_{\text{отн}y} = V' \sin(\beta + \alpha)$$

$$\cos(\beta + \alpha) = \cos \beta \cos \alpha - \sin \beta \sin \alpha, \quad \text{где } \sin \beta = \frac{4}{5}, \quad \sin \alpha = \frac{8}{17}$$

$$\cos(\beta + \alpha) = \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} = \frac{9}{17} - \frac{32}{85} = \frac{13}{85}$$

$$\sin(\beta+\alpha) = \sin\beta\cos\alpha + \cos\beta\sin\alpha = \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} + \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} = \frac{84}{85}$$

$$\bullet V_{\text{orm}x} = 34 \frac{\text{cm}}{\text{c}} - 50 \frac{\text{cm}}{\text{c}} \cdot \frac{13}{85} \approx 26,3 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

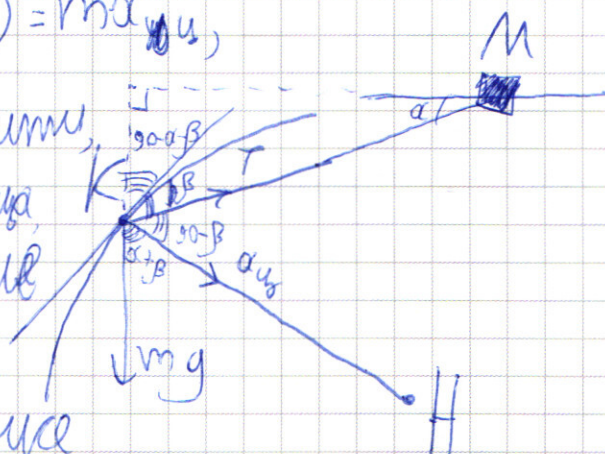
$$V_{\text{orm}y} = \frac{50 \text{ cm}}{\text{c}} \cdot \frac{84}{85} \approx 49 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

$$\bullet V_{\text{orm}} = \sqrt{2500 \frac{\text{cm}^2}{\text{c}^2} + 263^2 \frac{\text{cm}^2}{\text{c}^2}} \approx \sqrt{3192} \frac{\text{cm}}{\text{c}} \approx 56,5 \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

13) • Заменим 2-ой закон Ньютона для кривой:

$$T \cos(90-\beta) + mg \cos(\alpha+\beta) = m a_{\text{н}},$$

где T - сила натяжения нити,
 mg - сила тяжести кольца,
 $a_{\text{н}}$ - центрострем. ускорение
 кольца, необходимые
 силы указаны на рисунке
 (H - центр окружности, $KH \perp v'$)



$$T \sin\beta + mg \cos(\alpha+\beta) = m a_{\text{н}} = \frac{mv'^2}{R}$$

$$\sin\beta \cdot T = \frac{mv'^2}{R} - mg \cos(\alpha+\beta) \Leftrightarrow T = \frac{m}{\sin\beta} \left(\frac{v'^2}{R} - g \cos(\alpha+\beta) \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2) Решение:

Введем P_1, V_1, V_2, P_2

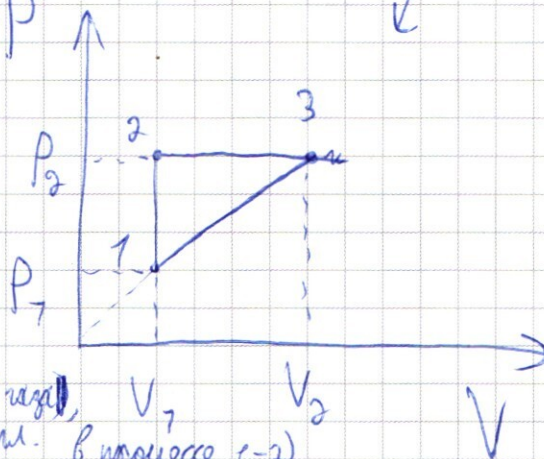
$$n_1) \cdot Q_{12} = \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) = C_{12} U_{\Delta} T$$

~~или~~ $\Downarrow$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} U R_{\Delta} T = C_{12} U_{\Delta} T$$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

(U - кол-во молей газа), V_1 V_2
 C_{12} - молярная теплоемкость в процессе 1-2



$$\cdot Q_{23} = \frac{5}{2} U R_{\Delta} T = C_{23} U_{\Delta} T$$

$$Q = U R_{\Delta} T + \frac{3}{2} U R_{\Delta} T = \frac{5}{2} U R_{\Delta} T$$

($\frac{5}{2}$ - т.к. процесс изобарный, $A = U R_{\Delta} T$, а $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} U R_{\Delta} T$)
↑ работа ↑ изм. внутр. энергии

$\Downarrow$

$$C_{23} = \frac{5}{2} R$$

Искомое отношение: $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5} = 0,6$

(А на участке 3-1, повышение T , конечно тоже происходит)

$$\text{II2)} \quad A_{23} = \nu R_0 T$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R_0 T \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = 1,5$$

II3) • Изотермич, $P_2 = k P_1$, где k - некий коэффициент.

$Q_n = V_1(P_2 - P_1) + \frac{5}{2} P_2(V_2 - V_1)$ - количество теплоты, полученное газом за цикл;

$A = \frac{(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{2}$ - работа (полезная) газа за цикл.

• Перепишем с учетом $P_2 = k P_1$:

$$Q_n = P_1 V_1 (k - 1) + \frac{5}{2} k P_1 V_1 / (k - 1) = P_1 V_1 (k - 1 + 2,5 k (k - 1))$$

$$A = \frac{P_1 (k - 1) \cdot V_1 (k - 1)}{2} = \frac{P_1 V_1 (k - 1)^2}{2}$$

! Здесь мы учли, что, раз $P_2 = k P_1$, то и $V_2 = k V_1$, ведь участок 3-1 - прямая пропорциональность в координатах $P(V)$

• КПД по определению: $\eta = \frac{A}{Q_n}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$n = \frac{(k-1)^2}{2(2,5k^2 - 1,5k - 1)} = \frac{k-1}{2+5k}$$

$(k-1)(1+2,5k)$

Исследуем функцию $n(k)$:

$$n' = \frac{2+5k - 5k+5}{(2+5k)^2} = \frac{7}{(2+5k)^2}, \text{ то есть функция}$$

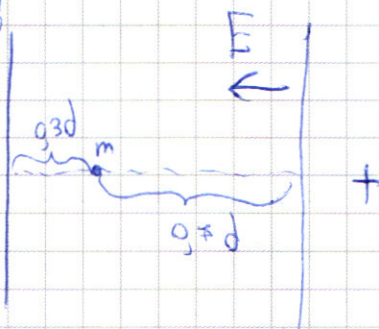
непрерывно возрастает. Значит, n стремится к бесконечности... Минимума.

Ответы:

- 1) 0,6
- 2) 1,5
- 3) бесконечность

Задача 3) Решение:

1) П.к. $q < 0$ по условию, частица будет притягиваться к обкладке "+".



• П.к. R (радиус обкладки)

$\gg d$, то напряженность электрического поля

можно считать постоянной на всем участке движения частицы.

• 2-ой закон Ньютона для частицы:

$$Eq = ma \Leftrightarrow a = \frac{Eq}{m}$$

По условию:

$at = V_1$, где t - время движения частицы.

Используя известную кинематическую формулу: $\frac{at^2}{2} = 0.7d$, и подставив в нее

$$at = V_1, \text{ получим: } \frac{V_1^2}{2a} = 0.7d \Leftrightarrow \frac{mV_1^2}{2Eq} = 0.7d$$

(собственно, это есть равенство работы электрического поля и кинет. энергии частицы).

$$\text{Отсюда следует: } E = \frac{mV_1^2}{1.4qd} = \frac{V_1^2}{1.4U}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- Время T найдём из соотношения:

$$\frac{aT^2}{2} = 0,5d - 0,3d = 0,2d \quad (\Rightarrow) \quad \frac{EqT^2}{2m} = 0,2d$$

↑
равное расстояние от обеих обкладок

Отсюда T :

$$T = \sqrt{\frac{0,4md}{Eq}} = \sqrt{\frac{0,4d^2 \cdot 1,4}{V_1^2}} = \frac{d}{V_1} \sqrt{0,56}$$

$\sqrt{0,56} \approx 7,5$, если это
необходимо
тут указывать

- и2) • Как известно:

$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$, где Q — ~~на~~ ^{его} заряд (модуль) каждой обкладки, S — площадь обкладки, которую в задаче не дано, но без которой найти можно только плотность заряда $\frac{Q}{S}$, а не сам заряд, так что мне придётся её ввести, $\Rightarrow Q = E \epsilon_0 S = \frac{SE_0 V_1^2}{1,4 \cdot 10^8}$

- и3) • Потенциальная энергия ~~зарядов~~ ^{идущих} на начальном состоянии: $W = Edq$

104) ~~на~~ • На бесконечно большом расстоянии от конденсаторов все W переходит в E_k - кинет. энергию частиц.

$$Eqd = \frac{mV_2^2}{2} \quad (\Rightarrow) \quad V_2 = \sqrt{\frac{2Eqd}{m}} = \sqrt{\frac{10}{7}} \cdot V_1$$

Ответы:

$$1) T = 7,5 \frac{d}{V_1}$$

$$2) Q = \frac{SE_0 V_1^2}{1,47d}$$

$$3) V_2 = V_1 \cdot 1,18$$

$$\left(\sqrt{\frac{10}{7}} \approx 1,18 \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4)

1) Сопротивление ~~контурного~~ контура: $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Ток сразу после замыкания ключа:

$$I_0 = \frac{E + U_1}{R} = (E + U_1) \sqrt{\frac{C}{L}} =$$

3) При установившемся напряжении конденсатора ток не течет, значит, его не пропускает диод, $\Rightarrow E + U_2 = U_0 \Leftrightarrow U_2 = 5\text{В}$

(просто не-
матке полярности)

2) Максимальный ток найдем из закона сохр. энергии:

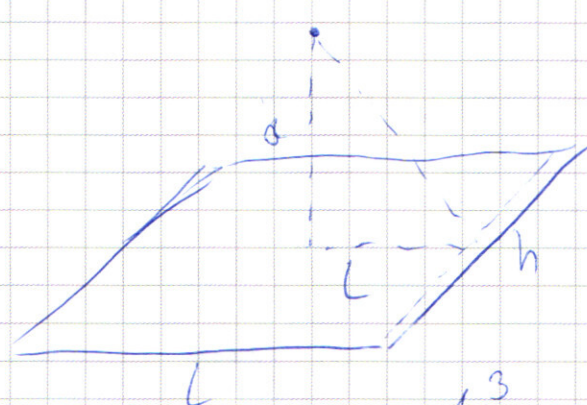
$$\frac{CU_1^2}{2} + QE = \frac{LI^2}{2}, \text{ где } \frac{CU_1^2}{2} - \text{начальная энергия конденсатора}$$

$$I = \sqrt{\frac{CU_1^2 + 2QE}{L}} = \sqrt{\frac{CU_1^2 + 2CU_1E}{L}}$$

$$I \approx 0,105\text{А} \approx 105\text{мА} \quad (Q = CU_1)$$

QE - работа источника тока по перемещению всего заряда конденсатора

LI'
CU



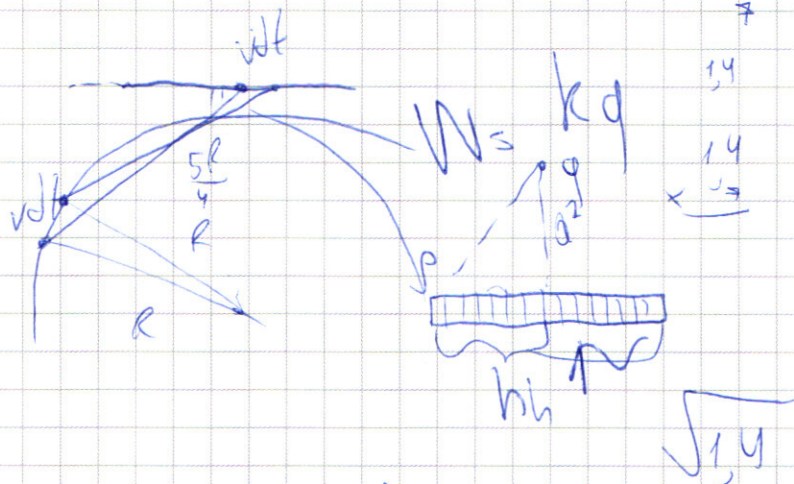
$$r = \sqrt{\frac{L^2}{4} + a^2}$$

$$r^2 = \frac{L^2}{4} + a^2$$

~~dg~~
 $dg = hp \, dl$

~~W~~
 $W = \frac{k \, dg \, dQ}{h}$

$$W = \frac{k \, g \, h \, p \, dl}{\frac{L^2}{4} + a^2}$$



$$\frac{k \, g \, p \, d h}{h^2 + a^2}$$

$$\frac{LI^2}{2} = IU$$

$$\frac{LI^2}{2}$$

$$\frac{LI}{2} = U$$

$$\frac{L}{2} \left(\frac{E+C}{R} \right)^2$$

$$\begin{array}{r} 1.6 \\ 1.18 \\ \times 1.18 \\ \hline 1.3944 \\ 2.944 \\ 1.18 \\ \hline 1.18 \\ \hline 14.024 \end{array}$$

Ed

$$\frac{2}{14} = \frac{1}{7}$$

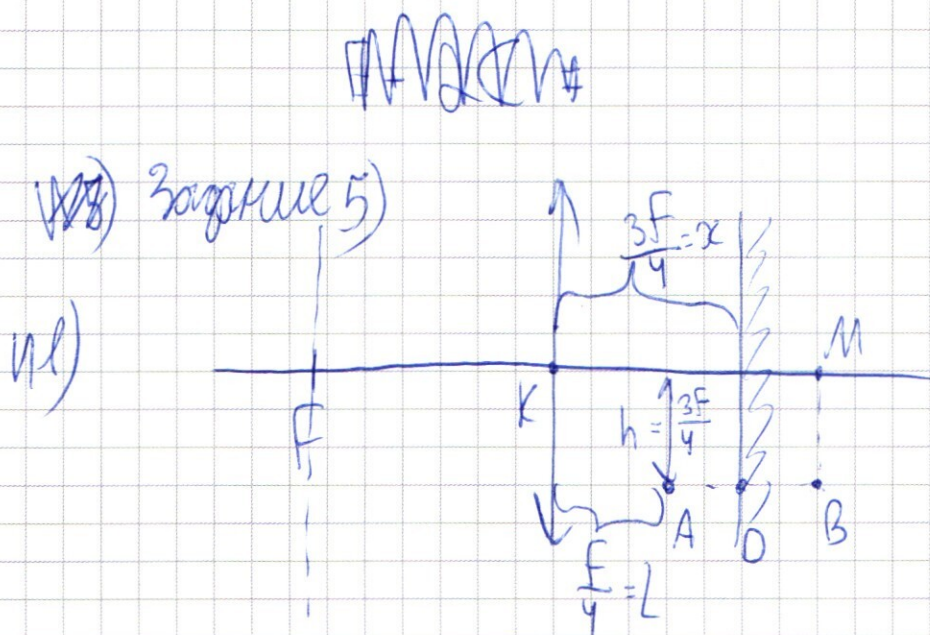
$$\frac{20}{14} = \frac{1}{7} \cdot 10$$

$$\frac{V_1^2}{1.4}$$

$$\frac{E+CQ}{R} = I$$

$$2 \, Ed \cdot \frac{V_1^2}{1.4}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- В - изображение источника в зеркале,

$$AO = OB = \frac{3F}{4}$$

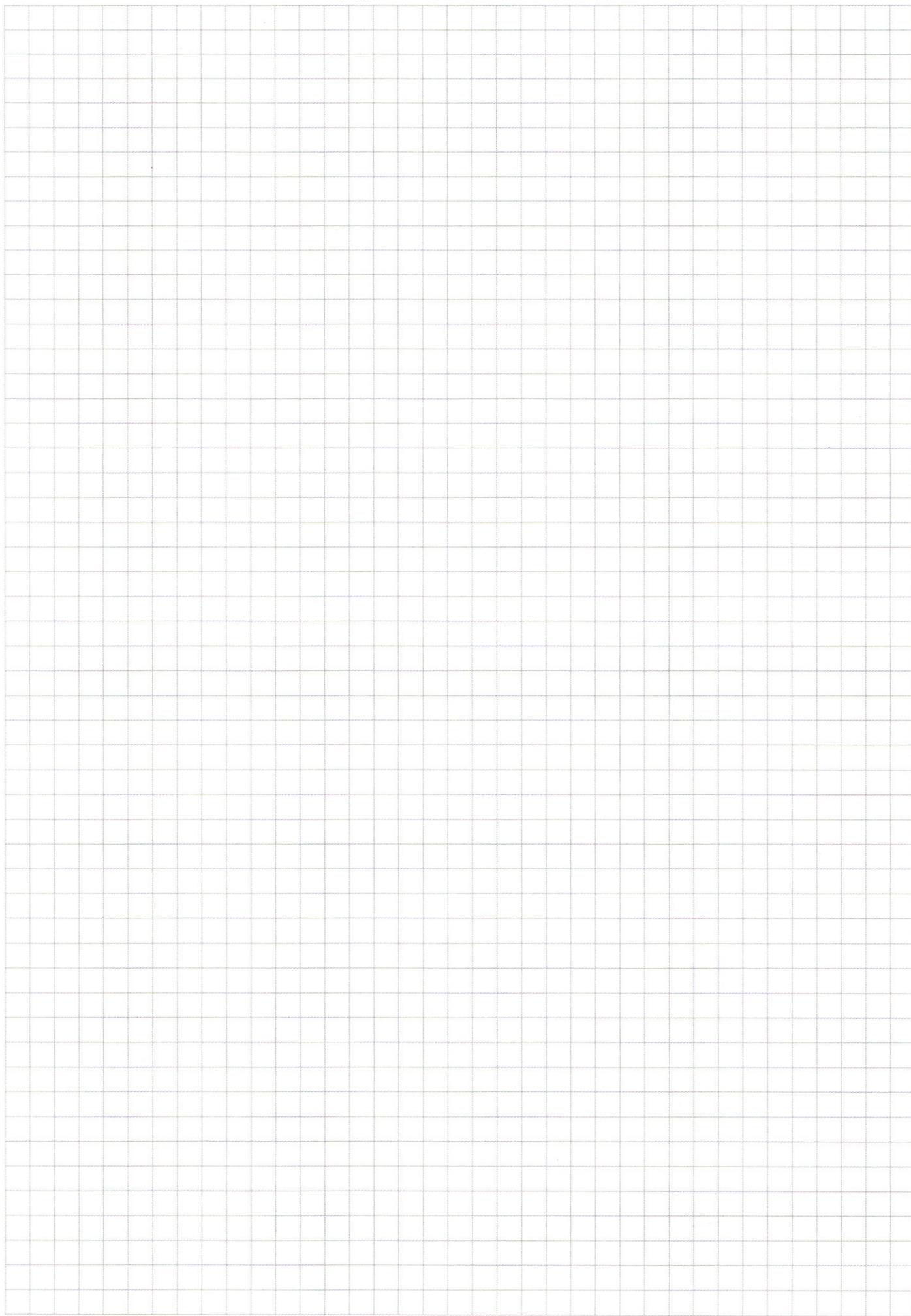
- Применим формулу тонкой линзы:

$\frac{1}{KM} + \frac{1}{r} = \frac{1}{F}$, где r - раст. от изображения, $KM = \frac{3F}{4} + \frac{2F}{4} = \frac{5F}{4}$

$$\frac{5}{5F} - \frac{4}{5F} = \frac{1}{r} \Leftrightarrow r = 5F$$

Ответ: $5F$

~~из подобия: $\frac{r}{KM} = \frac{h}{AB}$, где h -~~



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{m}{\sin \beta} = \frac{5m}{4} = \frac{5 \cdot 0,3}{4}$$

$$\frac{V}{R} = \frac{1}{4.953} = \frac{1}{212}$$

$$10 \cdot \frac{13}{85} = \frac{130}{85} = 1 \frac{9}{17} = 1,5$$

$$P_2 V_1 - P_1 V_1 + \frac{5}{2} P_2 V_1 - \frac{5}{2} P_1 V_1$$

$$E + U =$$

$$Q_n = V_1(P_2 - P_1) + \frac{5}{2}P_2(V_2 - V_1)$$

② $\frac{1}{2} \rho V \int_0^L \sin^2 \frac{\pi x}{L} dx$

$$\boxed{P_2 = k P_1}$$

$$V_2 = k V_1$$

$$P_1 V_1 = n R T_1$$

$$A = \frac{P_2 - P_1}{2} \frac{V_2 - V_1}{\frac{3}{2}}$$

$$Q_n = V_1 P_1 (k-1) + \frac{5}{2} k P_1$$

$$P_2 V_2 = nRT_2$$

$$P_2 V_2 = nRT_3$$

$$\begin{array}{r} 108 \\ 108 \end{array} \quad | \quad k - 1 + 0,5k^2 - 0,5k$$

$$(k-1) \left(1 + \frac{5}{2}k \right)^{\frac{2}{52}}$$

$$k + \gamma s k^2 - 1 - \gamma s k$$

$$6. \sqrt{40 \cdot 10} = 5$$

$$a = \frac{F_g}{m}$$

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p_0} + \frac{1}{p_1} = \frac{1}{\sqrt{c}}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$\frac{40 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-6} + 1600 \cdot 10^{-6}}$$

~~04m10~~
~~19~~

$$\begin{array}{r} 1400 \\ \times 2 \\ \hline 2800 \end{array}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{1}{x^2}$$

$$U = \frac{Q}{6 \cdot 10}$$

$$E_d =$$

$$\begin{array}{r} 10, \\ \times 10 \\ \hline 105 \end{array}$$

240

0,40

14 Nov

$$r = \frac{\theta}{\pi}$$

$$U \subset \mathbb{Q}$$

$$F + CQ$$

$$\sqrt{12} - \sqrt{3}$$