

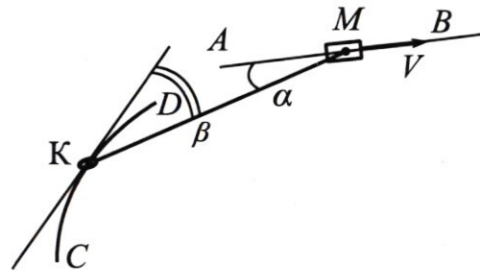
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



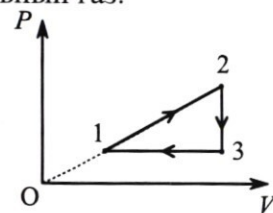
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



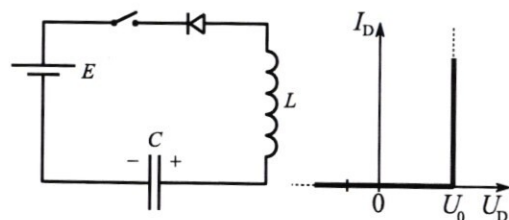
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ 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.

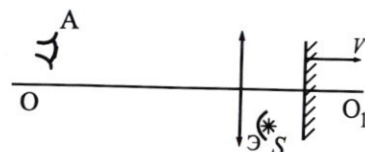


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от 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.

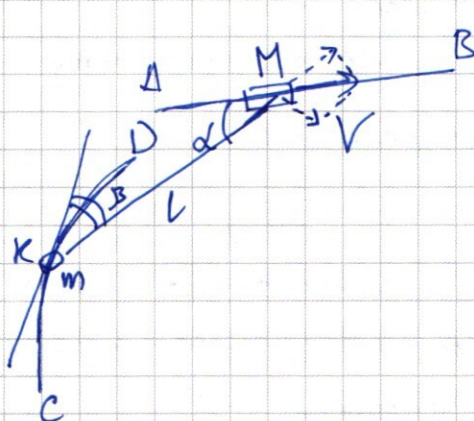
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



Задача 1

Дано: $V = 40 \text{ см/с} = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$m = 1 \text{ кг}$

$R = 1,7 \text{ м}$

$L = \frac{17R}{15}$

$\cos \alpha = 0,6$

$\cos \beta = \frac{8}{17}$

F - сила, с которой тянут ~~массу~~ ~~массу~~ ~~массу~~

$F = T \cos \alpha$

$T \sin \beta = m a_y$

$T \sin \beta = \frac{m v_k^2}{R}$

$T \cos \beta = m a_x$

a_y - центростремительное ускорение

a_x - ~~а~~ ~~а~~ ~~а~~ линейное ускорение ~~кабеля~~

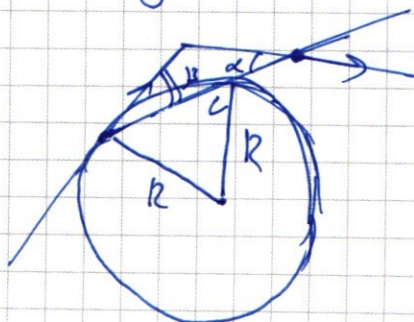
Найти: 1) v_k - скорость ~~кабеля~~ ~~кабеля~~ ~~кабеля~~ в ~~этом~~ ~~этом~~ ~~этом~~ ~~момент~~ ~~момент~~ ~~момент~~

2) v_{ko} - скорость ~~кабеля~~ ~~кабеля~~ ~~кабеля~~ относительно ~~шарика~~ ~~шарика~~ ~~шарика~~

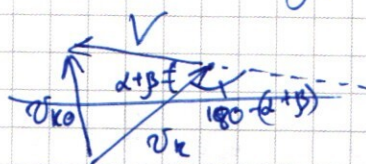
3) T - сила натяжения троса

~~скорость троса будет равна $V \cos \alpha$ по направлению самого троса~~

~~тогда скорость кабеля $v_k = (V \cos \alpha) \cdot \cos \beta = \frac{8 \cdot 3}{17 \cdot 5} \cdot 40 = \frac{64 \cdot 3 \text{ см}}{17 \text{ с}}$~~

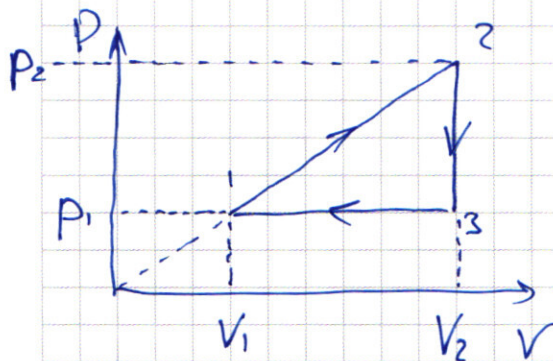


~~в СО Шарика~~



~~$v_{ko}^2 = V^2 + v_k^2 - 2Vv_k \cos(\alpha + \beta)$~~

Задача 2



P_1, V_1, P_2, V_2 указаны на рисунке

$P_1 V_1 = \nu R T_1$ ← температуры
 $P_2 V_2 = \nu R T_2$ ← в точках 1, 2 и 3
 $P_1 V_2 = \nu R T_3$ ← соответственно

$Q_{12} = C_{12} \cdot (T_2 - T_1)$ C_{12} - мольная
 $Q_{12} = A_{12} + U_{12} =$ теплоемкость
 процесса 1-2

$$= \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$Q_{23} = U_{23} + A_{23} = C_{23} (T_3 - T_2)$ U_{12} - изменение внутренней
 $A_{23} = 0$ т.к. $V_2 = V_3$ энергии в процессе 1-2

U_{23} - изменение внутренней
 энергии в процессе 2-3

U_{31}, A_{31} - ~~из~~ изменение внут-
 ренней энергии и работа
 в процессе 3-1 соответственно

$Q_{31} = U_{31} + A_{31} = C_{31} (T_1 - T_3)$
 $Q_{31} = P_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) \Leftrightarrow$
 $\Leftrightarrow \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3)$

$$\rightarrow C_{31} = \frac{5}{2} R$$

$$Q_{23} = U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = C_{23} (T_3 - T_2) \Rightarrow C_{23} = \frac{3}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{2} : \frac{5}{2} = \frac{6}{10} = 0,6$$

~~$$A_{12} = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) (V_2 - V_1) = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1)$$~~

Найти: 1) $\frac{C_{23}}{C_{31}}$, где

C_{23} - моль. теплоемкость
процесса 2-3

C_{31} - моль. теплоемкость
процесса 3-1

2) $\frac{Q_{12}}{A_{12}}$, где

Q_{12} - количество тепло-
ты, подведенной к газу
в процессе 1-2

A_{12} - работа газа в
процессе 1-2

3) $\eta_{\max}$ - максималь-
но возможное
КПД

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$p_2 = \frac{2RT_2}{V_2}$$

$$2R = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$p_2 = p_1 \frac{V_1 \cdot T_2}{V_2 \cdot T_1}$$

$$\frac{p_1 \left(\frac{V_2 T_1 + V_1 T_2}{V_2 T_1} \right) \cdot V_1 \left(\frac{p_2 T_1 + p_1 T_2}{p_2 T_1} \right)}{2}$$

$$\frac{1}{4} + \frac{p_2 - p_1}{2p_1} = \frac{1}{4} + \frac{p_2}{2p_1} - \frac{1}{2} = \frac{p_2}{2p_1} - \frac{1}{4}$$

$$\cos \alpha = \frac{40}{85} \quad \cos \beta = \frac{51}{85} \quad p_2 V_2 = 2RT_2$$

$$p_1 V_2 = 2RT_2 \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

$$p_1 = \alpha V_1$$

$$p_2 = \alpha V_2$$

$$\alpha = \frac{p_1}{V_1}$$

$$\alpha = \frac{p_2}{V_2}$$

$$\tan^2 = \frac{\sin^2}{\cos^2}$$

$$\cos^2 \cdot (\tan^2) = 1 - \cos^2$$

$$\cos^2 (\tan^2 + 1) = 1$$

$$\cos = \sqrt{\frac{1}{\tan^2 + 1}}$$

$$64 + 225 = 289$$

$$\begin{array}{r} 17 \\ 17 \\ \hline 119 \\ 17 \end{array}$$

$$R = 1,7 \quad L = \frac{17R}{15} = \frac{17^2}{150} = \frac{289}{150} R$$

$$Q_{12} = C_{12} (T_2 - T_1) \ominus$$

$$C_{12} = 2R \text{ (по условию)}$$

$$\ominus 2$$

$$\frac{m V_1^2}{2} + \frac{Uq}{2} = Uq$$

$$P = UI$$

$$Q = Pt = UI t = U \cdot n \lambda = U \cdot q$$

$$\frac{m V_1^2}{2} + \frac{Uq}{2} = Uq$$

$$m V_1^2 = Uq$$

$$F \cdot S = Q = U \cdot q$$

$$Eq \cdot L = U \cdot q$$

$$E = \frac{U}{L}$$

$$\frac{m V_1^2}{2} + Uq = \frac{m V_2^2}{2}$$

Процесс 1-2 проходит через начало координат, а значит (и является линейным)
 задается уравнением $p = \alpha V$, где $\alpha = \text{const}$
 другими словами $p \cdot V^{-1} = \alpha$

Политропический процесс

$$-1 = \frac{C_p - C_{12}}{C_v - C_{12}}$$

$$C_{12} - C_v = C_p - C_{12}$$

$$2C_{12} = \left(\frac{5}{2} + \frac{3}{2}\right)R$$

$$C_{12} = 2R$$

$$Q_{12} = C_{12} \cdot (T_2 - T_1) = A_{12} + U_{12}$$

$$U_{12} = \frac{3}{2} 2R(T_2 - T_1)$$

$$\downarrow$$

$$A_{12} = \frac{2R}{2}(T_2 - T_1)$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2R(T_2 - T_1)}{\frac{2R}{2}(T_2 - T_1)} = 4$$

$$\eta_{\max} = \frac{A_{12} + A_{31}}{Q_{12}} \quad \text{по определению КПД}$$

~~$$A_{31} = \frac{3}{2} 2R(T_1 - T_2)$$~~

~~$$A_{31} = p_1(V_1 - V_2) = 2RT_1 - \frac{p_2}{p_1} 2RT_2 = 2R \frac{p_1 - p_2}{p_1} (T_1 - T_2)$$~~

~~$$\eta_{\max} = \frac{\left(\frac{2R}{2} - 2R \frac{p_1 - p_2}{p_1}\right)(T_2 - T_1)}{2R(T_2 - T_1)} = \frac{\frac{1}{2} - \frac{p_1 - p_2}{p_1}}{2} = \frac{\frac{p_1 - 2p_1 + 2p_2}{2p_1}}{2} = \frac{2p_2 - p_1}{4p_1}$$~~

~~$$\frac{2p_2 - p_1}{4p_1} = \frac{p_2}{2p_1} - \frac{1}{4}$$~~

$$A_{31} = p_1(V_1 - V_2) = 2RT_1 - \frac{p_1}{p_2} 2RT_2 = 2R(T_1 - T_2) \frac{p_2 - p_1}{p_2}$$

$$\eta_{\max} = \frac{2R(T_2 - T_1) \left(\frac{1}{2} - \frac{p_2 - p_1}{p_2}\right)}{2R(T_2 - T_1) \cdot 2} = \frac{\frac{2p_1 - p_2}{2p_2}}{2} = \frac{p_1}{2p_2} - \frac{1}{4}$$

$$p_1 < p_2$$

$$\text{в пределе } \frac{p_1}{2p_2} = \frac{1}{2}$$

$$\text{тогда } \eta_{\max} = \frac{1}{2} - \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \quad \text{Ответ: 1) } \frac{3}{5}; 2) 4; 3) \frac{1}{4}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3

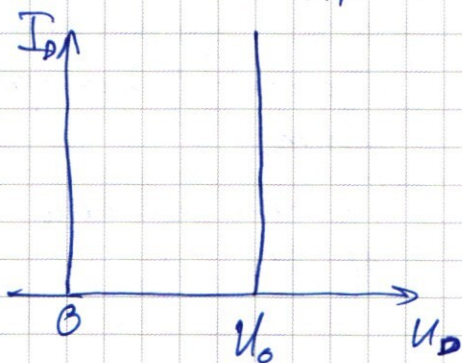
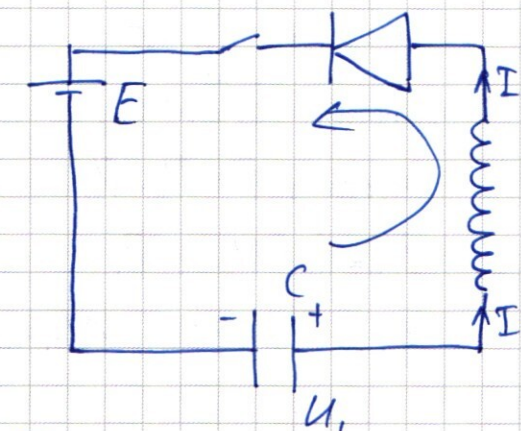
Дано: $E = 3 \text{ В}$

$C = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$

$U_1 = 6 \text{ В}$

$L = 0,2 \text{ Гн}$

$U_0 = 1 \text{ В}$



Найти: 1) $\dot{I}_1$ - изменение тока сразу после замыкания ключа

2) I_2 - максимальный ток после замыкания ключа

3) U_2 - установившееся напряжение на конденсаторе

По Кирхгофу

$$E = -U_0 + U_1 - L \dot{I}_1$$

$$L \dot{I}_1 = U_1 - U_0 - E$$

$$\dot{I}_1 = \frac{U_1 - U_0 - E}{L} = \frac{6 - 1 - 3}{0,2} = \frac{2}{0,2} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

ЗСЭ

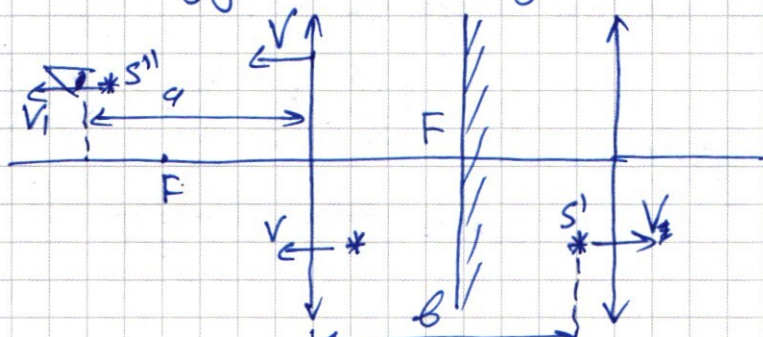
$$\frac{CU^2}{2} = \frac{CU_x^2}{2} + \frac{LI_2^2}{2} + E q_x + U_0 q_x$$

так же против батареи, поэтому ее работа отрицательна

q_x - заряд, утекший с конденсатора
 U_x - напряжение на конденсаторе при

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Перейду в СО ^{зеркала} линзы и найду его задеркаше



S' — реальный источник,
теперь все этакитиваго
от него

по формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \quad \text{где } b = 2F - \frac{F}{3} = \frac{6-1}{3}F = \frac{5}{3}F$$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{F} - \frac{1}{b}$$

$$a = \frac{Fb}{b-F} = \frac{\frac{5}{3}F}{\frac{5}{3}F - F} = \frac{\frac{5}{3}F}{\frac{2}{3}F} = 2,5F$$

Продольное увеличение скорости равно квадрату увеличе-
ния, поэтому

$$V_1 = V \cdot \Gamma^2$$

$\Gamma = \frac{b_1}{a_1}$, где b_1 — расстояние от изображения до линзы,
 a_1 — расстояние от источника до линзы

$$\begin{aligned} b_1 &= a \\ a_1 &= b \end{aligned} \quad \Gamma = \frac{a}{b} = \frac{\frac{5}{3}F}{\frac{2}{3}F} = 2,5$$

$$V_1 = V \cdot \Gamma^2 = 2,25V$$

(в неподвижной линзе)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_1 = E \gamma T$$

$$E = \frac{m V_1^2}{1,6 q d} = \frac{V_1^2}{1,6 \gamma d}$$

$$V_1 = \frac{V_1 \gamma T}{1,6 d}$$

$$T = \frac{1,6 d}{V_1}$$

$$U = E L \text{ по определению, где } L = d$$

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

расстояние
между
электронами

Напряжение по определению равно работе по перемещению единичного заряда из бесконечности. Значит ЭСЭ будет выглядеть так:

$$\frac{m V_1^2}{2} + U q = \frac{m V_0^2}{2}$$

~~$$\frac{m V_1^2}{2} + \frac{m V_1^2}{1,6} = \frac{m V_0^2}{2}$$~~

$$4 V_1^2 + 5 V_1^2 = 4 V_0^2$$

$$V_0^2 = \frac{9}{4} V_1^2$$

$$V_0 = \frac{3}{2} V_1$$

Ответ: 1) $T = \frac{1,6 d}{V_1}$ 2) $U = \frac{V_1^2}{1,6 \gamma}$ 3) $V_0 = 1,5 V_1$

$$v_{ko}^2 = V^2 + V^2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta - 2V^2 \cos \alpha \cos \beta (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{\frac{25 - 9}{25}} = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{\frac{289 - 64}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$v_{ko}^2 = V^2 \left(1 + \frac{8^2 \cdot 3^2}{17^2 \cdot 5^2} - 2 \frac{8 \cdot 3}{17 \cdot 5} \left(\frac{8 \cdot 3}{17 \cdot 5} - \frac{4 \cdot 15}{5 \cdot 17} \right) \right) \quad 8 \cdot 3 - 4 \cdot 15 = -36$$

$$v_{ko}^2 = V^2 \left(\frac{289 \cdot 25 + 64 \cdot 9 + 2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 36}{289 \cdot 25} \right) = V^2 \left(\frac{17^2 \cdot 5^2 + 8^2 \cdot 3^2 + 6 \cdot 8 \cdot 6^2}{17^2 \cdot 5^2} \right)$$

$$\begin{array}{r} 289 \\ 28 \\ \hline 48 \quad 64 \quad 289 \\ 36 \quad 9 \quad 25 \\ \hline 288 \quad 36 \quad 1445 \\ 144 \quad 54 \quad 578 \\ \hline 1728 \quad 576 \quad 7225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1728 \\ 576 \\ \hline 2304 \end{array} \quad \begin{array}{r} 2304 \\ 4275 \\ \hline 6579 \end{array} \Rightarrow 7^2$$

$$\begin{array}{r} 97 \\ 97 \\ \hline 679 \\ 873 \\ \hline 9309 \end{array}$$

$t = \text{const} \Rightarrow$ смещение шурты и каната по оси троса одинаково

$$v_k \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$v_k = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{51V}{40} = 51 \text{ см/с}$$

$$v_{ko}^2 = V^2 + v_k^2 - 2Vv_k \cos(\alpha + \beta)$$

$$v_{ko}^2 = V^2 \left(1 + \frac{51^2}{40^2} - \frac{102}{40} \cdot (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) \right)$$

$$v_{ko}^2 = V^2 \left(\frac{40^2 + 51^2}{40^2} - \frac{102}{40} \left(\frac{8 \cdot 3}{17 \cdot 5} - \frac{4 \cdot 15}{17 \cdot 5} \right) \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v_{ko}^2 = V^2 \left(\frac{40^2 + 51^2}{40^2} + \frac{102 \cdot 36}{40 \cdot 17.5} \right)$$

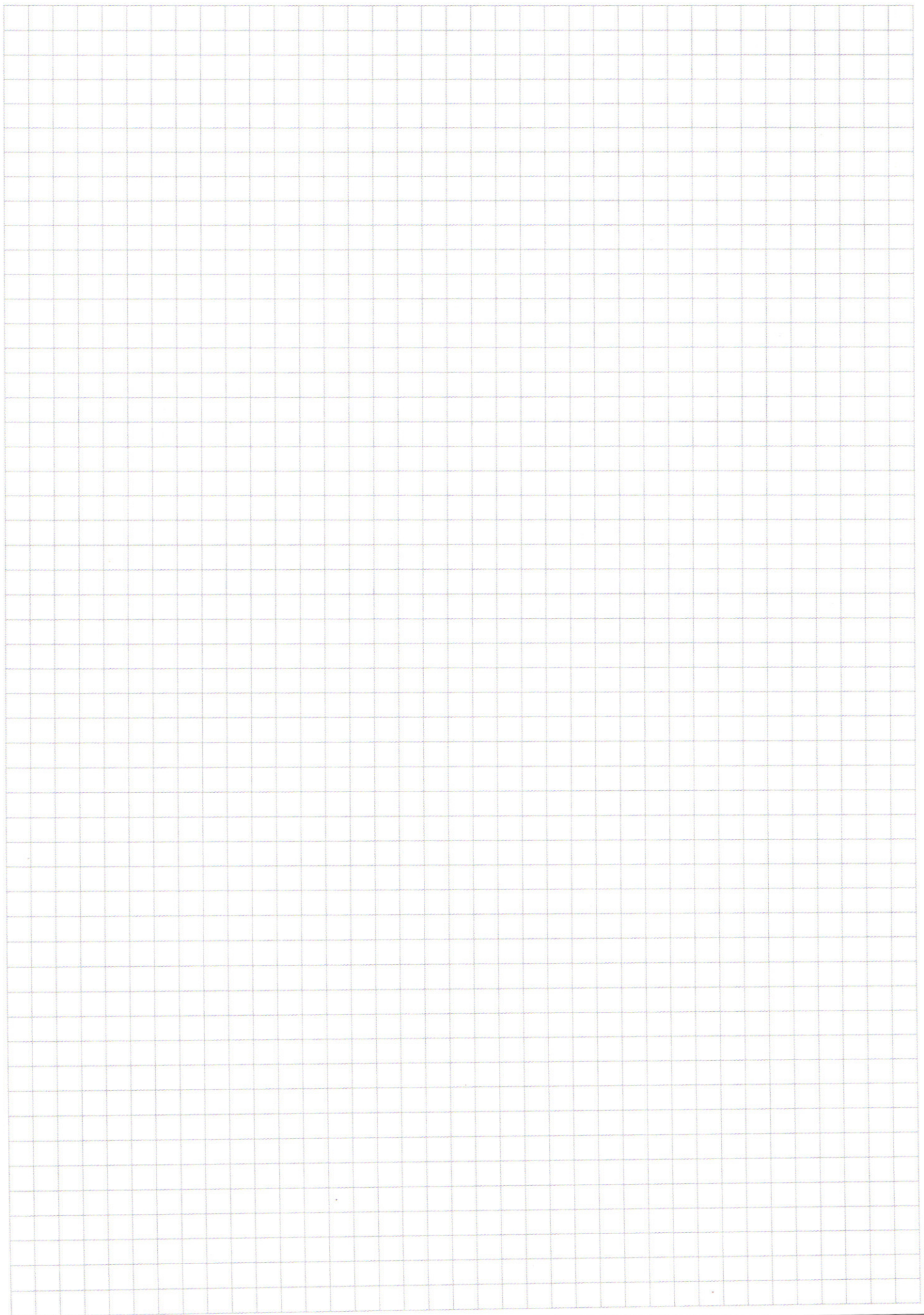
$$v_{ko} = V \sqrt{\frac{(40^2 + 51^2) \cdot 17 + 102 \cdot 36 \cdot 8}{40^2 \cdot 17}}$$

$$T = \frac{m v_k^2}{R \sin \beta} = \frac{m \cdot \frac{51^2}{40^2} V^2 \cdot 17}{R \cdot 15} = \frac{51^2}{40^2} V^2 \cdot \frac{m \cdot 17}{15 \cdot R} = \frac{51^2}{40^2} \cdot \frac{2}{3} m V^2$$

$$\Rightarrow 51 \cdot 17 \cdot 2 \cdot \frac{4^2}{10^2 \cdot 40^2} = \frac{51 \cdot 34}{10^4} \text{ М}$$

Отв: ~~$v_k = \frac{51}{40} V$~~ , ~~$v_{ko} =$~~ $v_k = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $v_{ko} = \sqrt{\frac{(40^2 + 51^2) \cdot 17 + 102 \cdot 36 \cdot 8}{40^2 \cdot 17}} \frac{\text{см}}{\text{с}}$

$$T = \frac{51 \cdot 34}{10^4} \text{ М.}$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)