

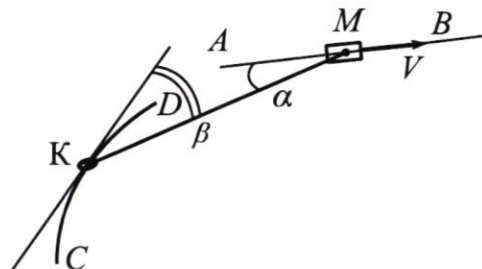
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-04

Класс 11

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

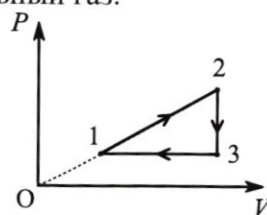
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной 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 $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

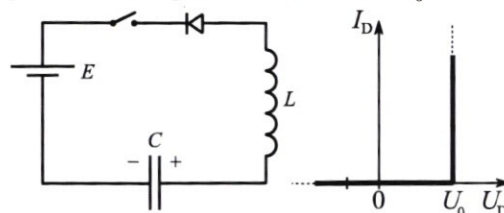
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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.

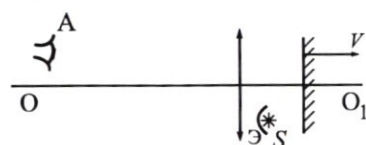
Ключ замыкают.

- + - 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.

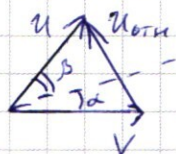
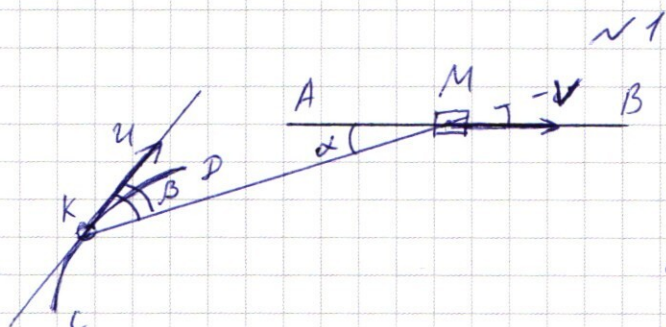


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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



1) Трос нерастяжимый $\Rightarrow$ в проекции на трос скорости муфты и кольца равны. Пусть скорость кольца u . Тогда в проекции на трос: $V \cos \alpha = u \cos \beta$

$$u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{V \cdot 4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{10} V = \frac{17}{5} \text{ м/с} = \boxed{3,4 \text{ м/с}}$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{5} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{3}{5}$$

$$\cos \beta = \frac{8}{17} \Rightarrow \sin \beta = \frac{15}{17}$$

2) Построим Δ скоростей. Тогда по теор. косинусов:

$$u_{\text{МФТИ}}^2 = u^2 + V^2 - 2uV \cos(\alpha + \beta)$$

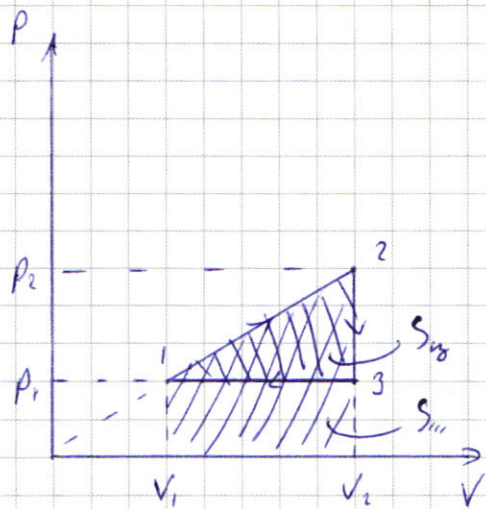
$$u_{\text{МФТИ}} = \sqrt{\frac{289}{100} V^2 + V^2 - 2 \cdot \frac{17}{10} V^2 (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} =$$

$$= \sqrt{\frac{389}{100} V^2 - 2 \cdot \frac{17}{10} V^2 \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} \right)} = \sqrt{\frac{389}{100} V^2 - \frac{17}{15} V^2 \left(\frac{-13}{17 \cdot 5} \right)} = \sqrt{\frac{389}{100} V^2 + \frac{13}{25} V^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{441}{100} V^2} = \frac{21}{10} V = \frac{21}{5} = \boxed{4,2 \text{ м/с}}$$

Ответ: 1) 3,4 м/с; 2) 4,2 м/с.

№2



$$1) pV = \nu RT$$

Из уравнения видно, что
Т постоянна на ур. 23 и 31

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}}$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{\nu \Delta T_{31}}$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} \text{ изохор. процесс } \Rightarrow A_{23} = 0$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = \frac{3 \nu R \Delta T_{23}}{2 \nu \Delta T_{23}} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = p_1(V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = \nu R \Delta T_{31} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$C_{31} = \frac{5 \nu R \Delta T_{31}}{2 \nu \Delta T_{31}} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \boxed{\frac{3}{5}}$$

$$2) \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$A_{12} = S_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (p_1 V_2 + p_2 V_2 - p_1 V_1 - p_2 V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{3 \nu R \Delta T_{12} \cdot 2}{2 \cdot \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}} = \boxed{3}$$

$$3) \eta = \frac{A_{12}}{Q_{12}}, \text{ где } A_{12} = S_{12} = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1)$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} + \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12} = 2 \nu R \Delta T_{12} = 2 (p_1 + p_2) (V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{(p_2 - p_1) (V_2 - V_1)}{2 \cdot 2 (p_2 + p_1) (V_2 - V_1)} = \frac{1}{4} \frac{p_2 - p_1}{p_2 + p_1}; \quad \eta_{\max} = \frac{1}{4} \cdot 1 = 0,25 = 25\%$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 3; 3) 25%

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Пусть раст. от S до зеркала x .

Torça $x = \frac{6F}{5} - \frac{3F}{5} = \frac{3F}{5}$

Изобр. в зеркале
 S^* явл. предметом

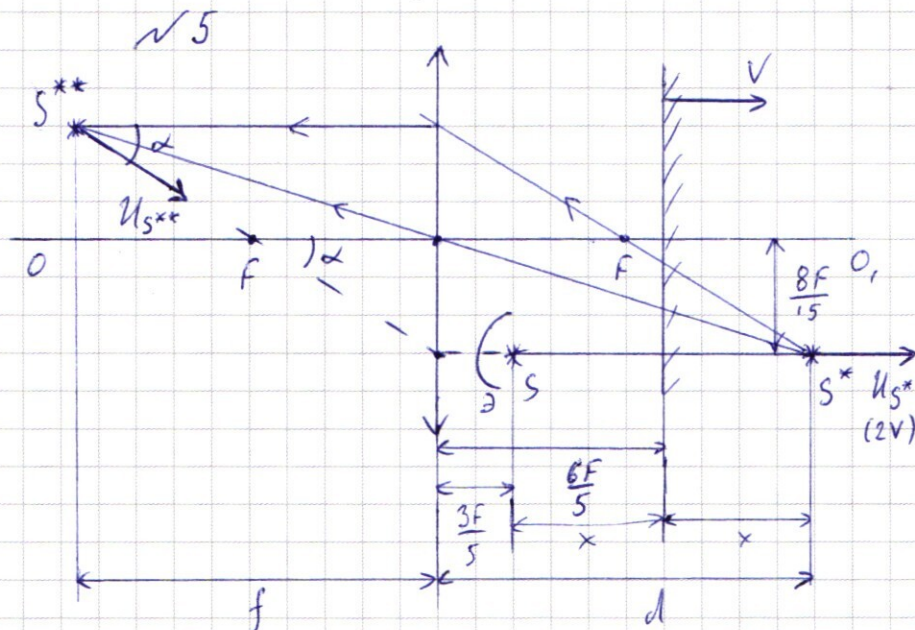
для мизы.

$$d = \frac{3F}{5} + 2x = \frac{9F}{5}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

$$d = \frac{1}{F} = \frac{5}{9F} + \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{9f}{4}$$



2) Перейдём в CO , связ. с зеркалом.

В проекции на OO_1 :

$v_s = -V \Rightarrow v_{s*} = V$, где v_s и v_{s*} - скорости ист. и изобр. в зерк. в СО зеркала.

Вернется в СО земли:

$$U_{S^*} = U_{S^*} + V = 2V$$

Прямые, на которых лежат U_{S^*} и $U_{S^{**}}$ пересекаются на плоскости мезы. Из рисунка видно, что $\tan \alpha = \frac{8}{15} \frac{F}{F} =$

$$= \frac{8}{15} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{8}{17}, \cos \alpha = \frac{15}{17}$$

3) В проекции на OO_1 :

$$U_{S**} \cdot \cos \alpha = U_S \cdot r^2$$

$$r = \frac{f}{d} = \frac{2F \cdot 5}{4 \cdot 9F} = \frac{5}{4}$$

$$U_{S**} = \frac{U_S \cdot r^2}{\cos \alpha} = \frac{2V \cdot 25 \cdot 17}{16 \cdot 15} = \boxed{\frac{85}{24} \text{ V}}$$

Ответ: 1) $f = \frac{9F}{4}$; 2) $\tan \alpha = \frac{8}{15}$; 3) $U_{S**} = \frac{85}{24} \text{ V}$

✓ 4

1) Применим метод потенциалов для цепи сразу после замыкания:

Напр. на катушке $U_L = U_1 - \mathcal{E}$

$$U = L \dot{I}'$$

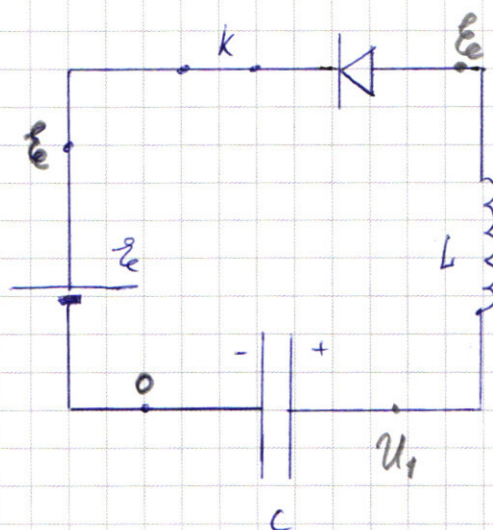
$$\dot{I}' = \frac{U}{L} = \frac{U_1 - \mathcal{E}}{L} = \frac{9-6}{0,4} = \frac{3}{4} \cdot 10 = \boxed{7,5 \text{ A/c}}$$

2) Для З.С.Э:

$$\frac{L \dot{I}_{\max}^2}{2} = \frac{C U_{\max}^2}{2}, \text{ где } U_{\max} = U_1$$

$$\dot{I}_{\max} = \sqrt{\frac{C U_{\max}^2}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 9^2}{0,4}} = \sqrt{\frac{9^2}{4 \cdot 10^2}} = \frac{9}{20} = \boxed{0,45 \text{ A}}$$

Ответ: 1) $7,5 \text{ A/c}$; 2) $0,45 \text{ A}$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

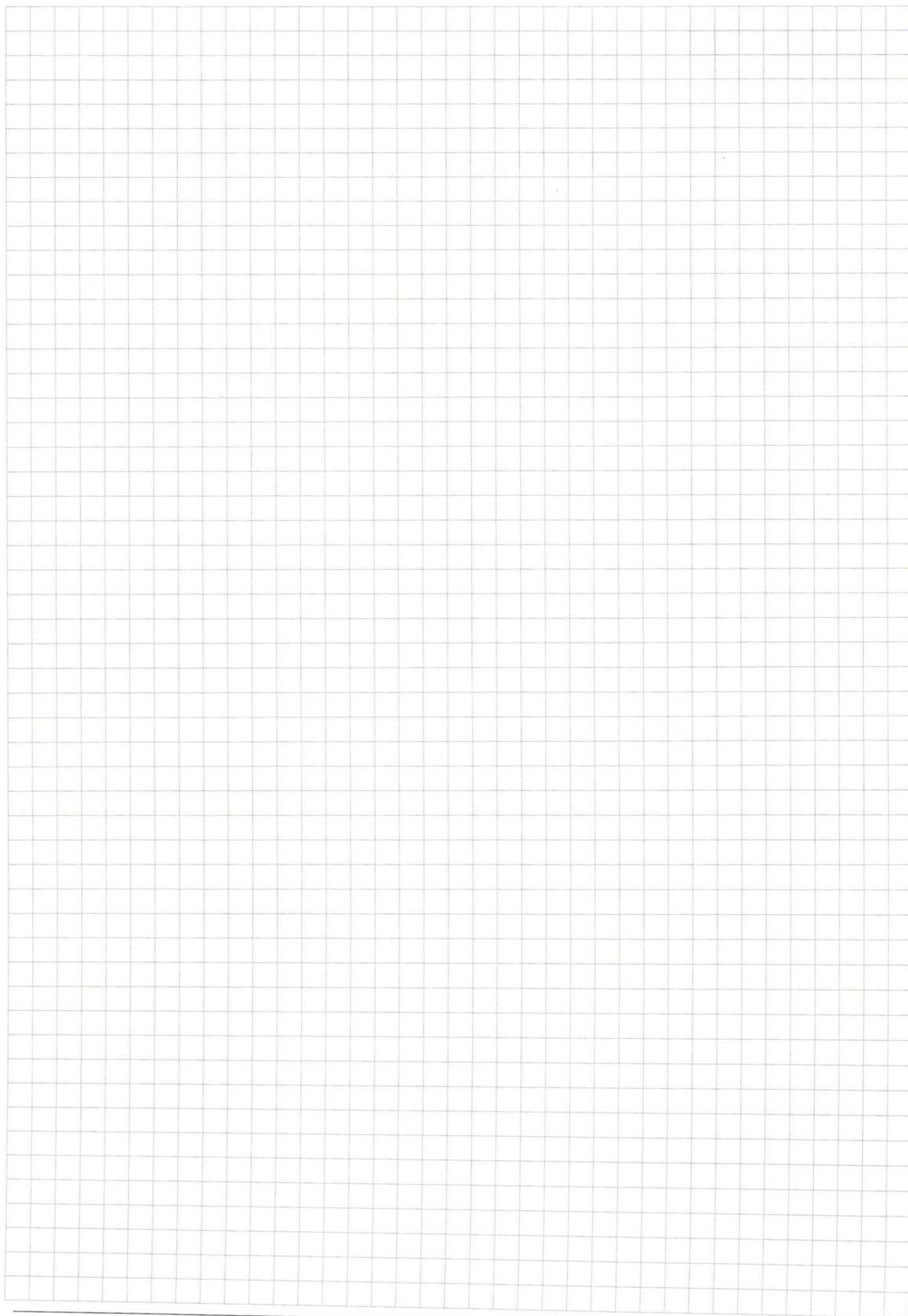


№ 3

З.С.Э.

$$E_k = W_A + W_B$$

$$E_k = \frac{mV_0^2}{2}, \quad W_A = q \cdot E_A \cdot d = q \cdot U$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № ____
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

④

Тока через K нет

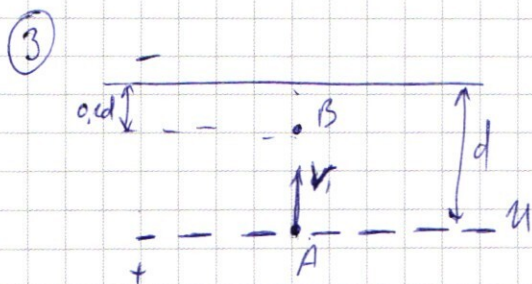
$$\frac{LI_{\max}}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2}, \quad U_{\max} = U_1$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CU_{\max}^2}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 9^2}{0,4}} = \sqrt{\frac{10^2 \cdot 10^{-4} \cdot 9^2}{0,4}} = \sqrt{\frac{9^2}{4 \cdot 10^2}} = \frac{9}{20} = 0,45 \text{ A}$$

1) $U = LI' = U_1 - \xi$

$$I' = \frac{U}{L} = \frac{U_1 - \xi}{L} = \frac{9 - 6}{0,4} = \frac{3}{0,4} = \frac{3 \cdot 10}{4} = 7,5 \text{ A/c}$$

2)



$$U = Ed$$

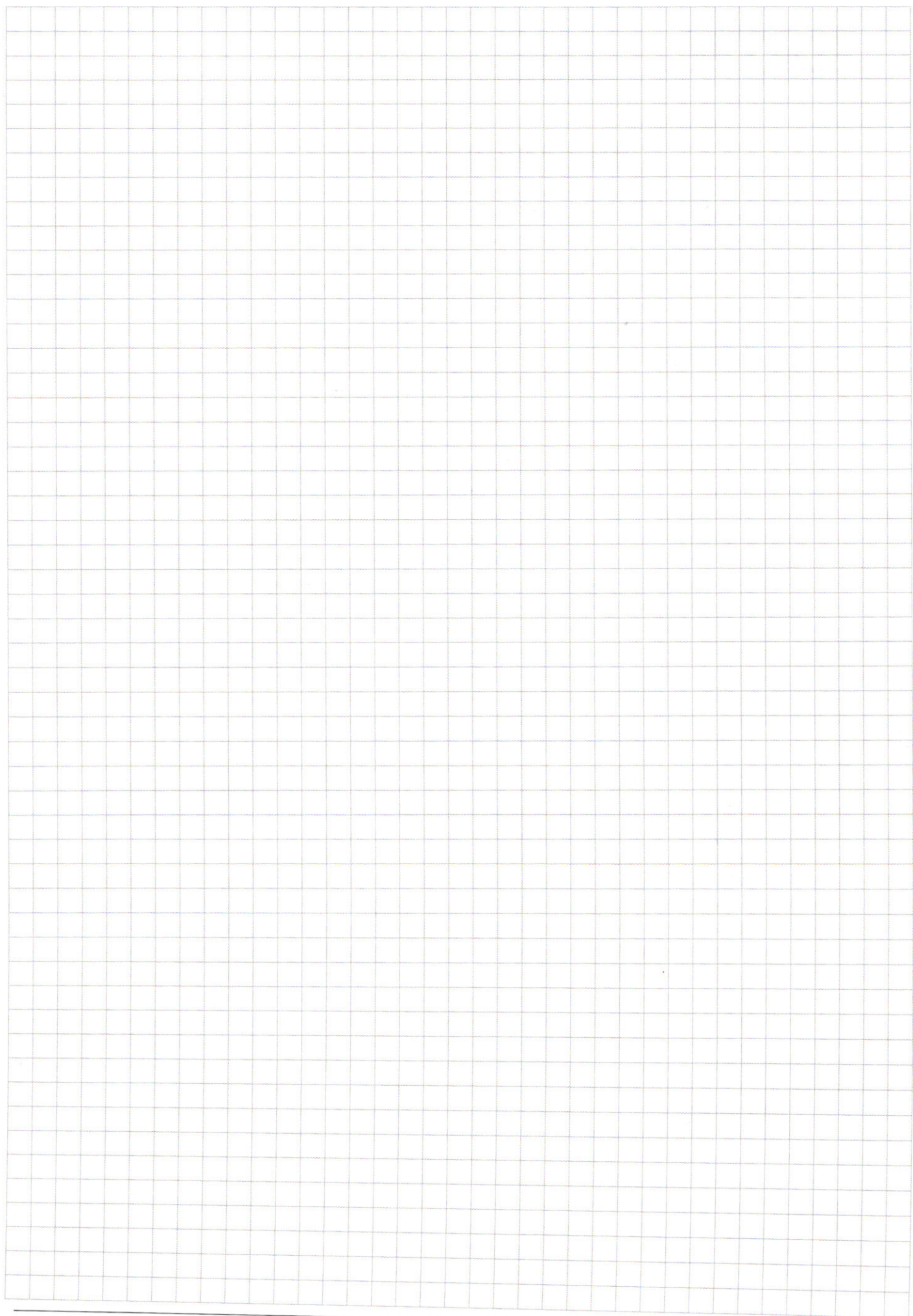
$$E = \frac{U}{d}$$

$$\text{З.С.Э. } E_k + W_A = W_B$$

$$E_k = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$W_A = kq \cdot E_A \cdot d$$

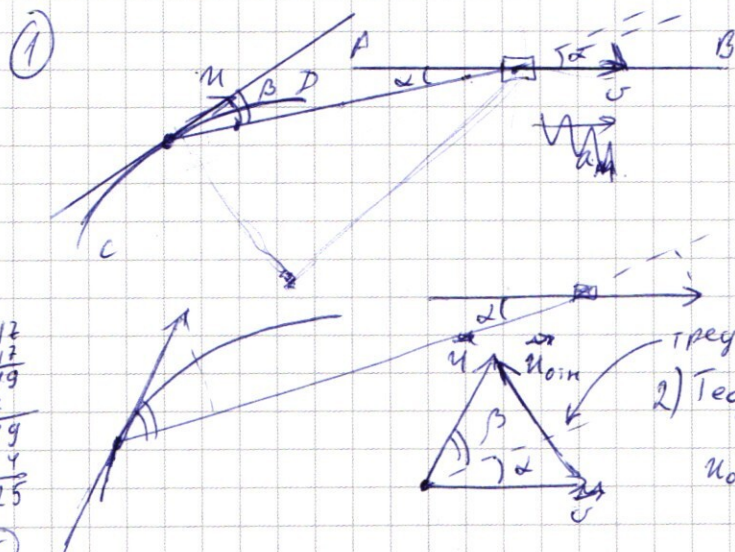
$$W_B =$$



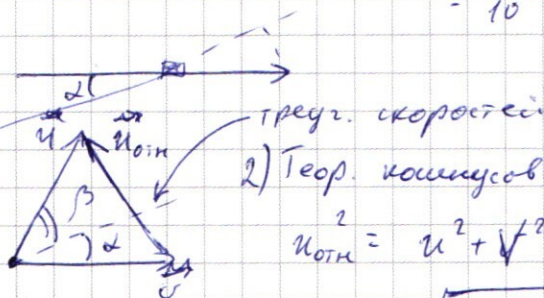
☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



исполн) $v \cos \alpha = u \cos \beta$
 $u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} =$
 $= \frac{17}{10} v = \frac{17}{5} \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$



2) Теор. косинусов:

$$u_{\text{отн}}^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos(\alpha + \beta)$$

$$u_{\text{отн}} = \sqrt{\frac{289}{100} v^2 + v^2 - 2 \cdot \frac{17}{10} v^2 (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} =$$

$$= \sqrt{\frac{389}{100} v^2 - 2 \cdot \frac{17}{10} v^2 \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} \right)} =$$

$$= \sqrt{\frac{389}{100} v^2 - \frac{17}{5} v^2 \cdot \frac{32 - 45}{17 \cdot 5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{389}{100} v^2 + \frac{13}{25} v^2} = \sqrt{\frac{389 + 52}{100} v^2} = \sqrt{\frac{441}{100} v^2}$$

$$= \frac{21}{10} v = \frac{21}{5} = 4,2 \text{ м/с}$$

sin alpha = 3/5 ; sin beta = 15/17

cos 90° = 0 =



$$= \sin 60 \cdot \cos 30 - \cos 60 \cdot \sin 30 =$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4} - \frac{1}{4} = \frac{\sqrt{3} - 1}{4}$$

$$= \sin 60 \cdot \cos 60$$

$$\sin 60 \cdot \sin 30 - \cos 60 \cdot \cos 30$$

$$- \sin 60 \cdot \sin 30 + \cos 60 \cdot \cos 30$$

$$+ \frac{3}{4} + \frac{1}{4} = 1$$

$$\sin \alpha \cos \alpha - \sin \beta \cos \beta$$

$$\frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}$$

$$\frac{389 + 52}{441}$$

$$\frac{21}{441}$$

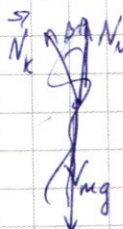
(21)

3) Рассм. колеблю

$$23 \text{ Н. } N + T + mg = m \vec{a}_{\text{норм.}}$$

Рассм. систему «шарик + траектория»

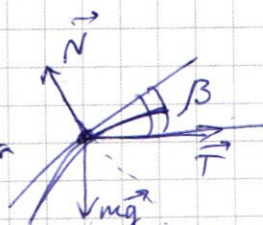
$$\text{Длины равны: } 23 \text{ Н. } \vec{N}_k + m \vec{g} + \vec{N}_k + m \vec{g} = 0$$

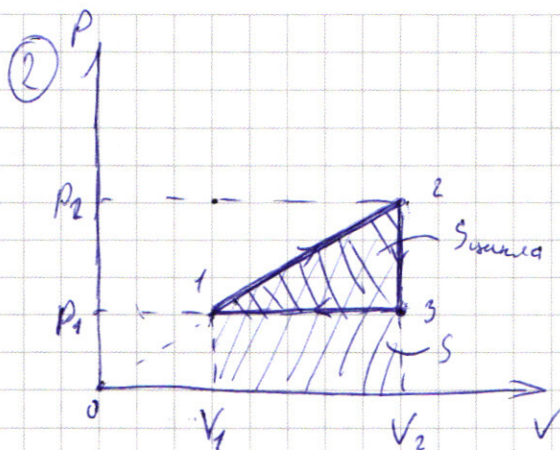


$$\text{Нормаль } N \cos \beta = mg \quad N = \frac{mg}{\cos \beta}$$

$$\text{Для колеблю } 23 \text{ Н. } N + T + m \vec{g} = m \vec{a}_{\text{норм.}}$$

$$\text{По нормали: } T \sin \beta + mg \cos \beta - \frac{mg}{\cos \beta} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$





$$pV = \nu RT \downarrow$$

1) Т. процесс. на ур. 23 и 31

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}}; C_{31} = \frac{Q_{31}}{\nu \Delta T_{31}}$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} \text{ изохор процесс} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{23} = 0; Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} = \frac{3 \nu R \Delta T_{23}}{2 \cdot \nu \Delta T_{23}} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31} = p_1(V_1 - V_2) + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$p_1 V_2 = \nu R T_3; p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$A_{31} = p_1 \nu R (T_1 - T_3) = \nu R \Delta T_{31}$$

$$Q_{31} = \nu R \Delta T_{31} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31}$$

$$C_{31} = \frac{5 \nu R \Delta T_{31}}{2 \nu \Delta T_{31}} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \boxed{\frac{3}{5}}$$

$$2) \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_{12}$$

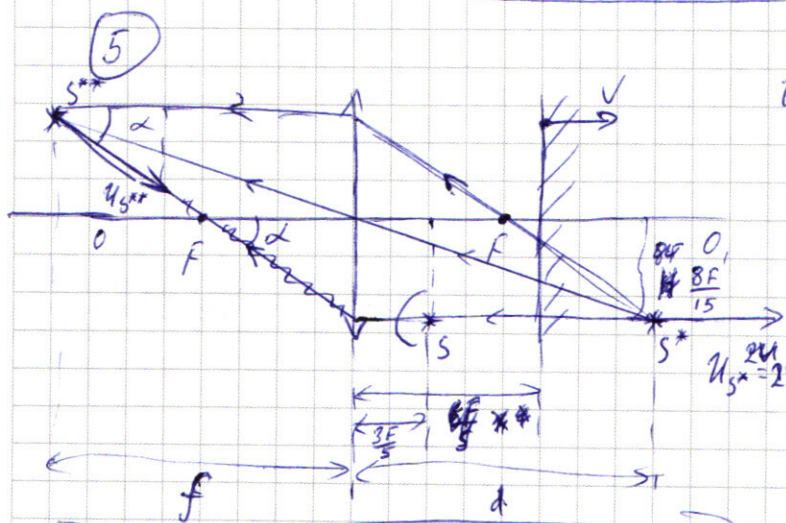
$$A_{12} = S_{112} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \dots$$

$$= \frac{1}{2} \nu R T_{12}$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{3 \nu R T_{12} \cdot 2}{2 \cdot \nu R T_{12}} = \boxed{3}$$

$$3) A_{112} = S_{112} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = A_{12} - A_{31} \frac{p_2 - p_1}{p_1}$$

$$= \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_1 - p_2 V_2) = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_2) - \nu R \Delta T_{31} = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_2 - T_1 + T_3) = \frac{1}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$



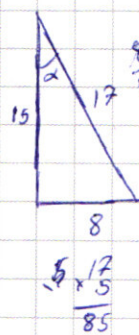
$$1) \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$$

$$d = \frac{6F}{5} + \frac{6F}{5} - \frac{3F}{5} = \frac{9F}{5}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{5}{9F} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{4}{9F} = \frac{1}{f}$$

$$\boxed{f = \frac{9F}{4}}$$



2) Перейдем в ин. от CO, связ. с верк.

$$x: v_S = -V \Rightarrow v_{S*} = V$$

Вертикаль в CO земли

$$u_{S*} = v_{S*} + V = 2V$$

$$\tan \alpha = \frac{H}{F} = \frac{8F}{15F} = \boxed{\frac{8}{15}}; \sin \alpha = \frac{8}{17}, \cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$$3) u_{S*} \cdot \cos \alpha = u_{S*} \cdot \Gamma^2$$

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{9F \cdot 5}{4 \cdot 9F} = \frac{5}{4}$$

$$u_{S*} = \frac{u_{S*} \Gamma^2}{\cos \alpha} = \frac{2V \cdot 25 \cdot 17}{16 \cdot 15} = \dots$$

$$= \boxed{\frac{85}{24} V}$$