

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

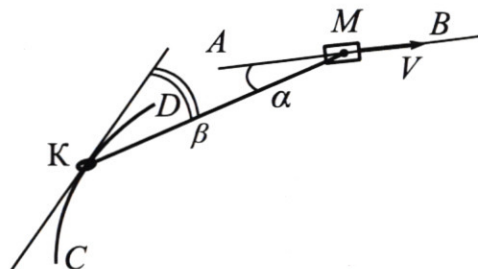
Вариант 11-04

Шифр L.49

(заполняется секретарём)

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

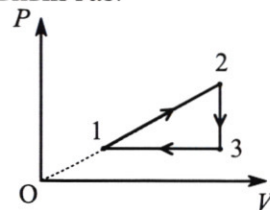
1. Муфту  $M$  двигают со скоростью  $V = 2$  м/с по горизонтальной направляющей  $AB$  (см. рис.). Кольцо  $K$  массой  $m = 0,4$  кг может двигаться без трения по проволоке  $CD$  в виде дуги окружности радиусом  $R = 1,9$  м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной  $l = 17R/15$ . Система находится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

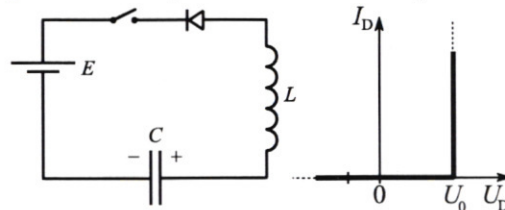
- 1) Найдите удельный заряд частицы  $\gamma = \frac{|q|}{m}$ .
- 2) Через какое время  $T$  после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость  $V_0$  частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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.

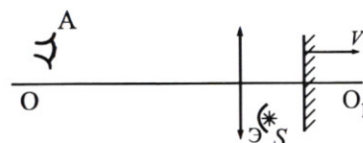
Ключ замыкают.

- 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  $\alpha$  к оси  $OO_1$  движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1.

$$v = 2 \text{ м/с}$$

$$m = 0,4 \text{ кг}$$

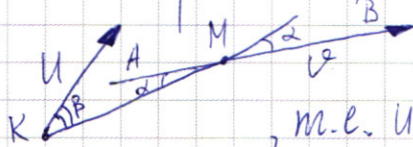
$$R = 1,9 \text{ м}$$

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

$$\cos \alpha = \frac{4}{5}$$

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

1) муфта и кольцо связаны тросом  $\Rightarrow$  чтобы трос не разорвался, проекции скоростей  $v$  и  $u$  на трос должны быть равны:



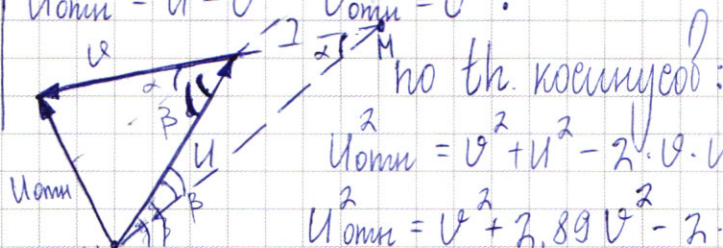
$$, \text{ т.е. } u \cos \beta = v \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \Rightarrow u = 2 \text{ м/с} \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{5} \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$$

2) муфта движется с постоянной скоростью  $\Rightarrow$

$\Rightarrow a_{\text{муфта}} = 0 \Rightarrow$  перейдем в ИСО муфты, и тогда

$$\vec{u}_{\text{отн}} = \vec{u} - \vec{v} \quad \vec{v}_{\text{отн}} = \vec{0} :$$



по т.к. косинусов:

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

$$u_{\text{отн}}^2 = v^2 + 2,89 v^2 - 2 \cdot 1,7 v^2 \cdot \cos(\alpha + \beta) =$$

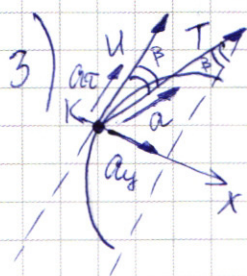
$$= 3,89 v^2 - 2 \cdot 1,7 v^2 (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta), \text{ где } \sin \alpha = \frac{3}{5}, \cos \sin \beta = \frac{15}{17}$$

$$(\text{из осн. трин. тожд.}) \Rightarrow u_{\text{отн}} = v \sqrt{3,89 - 2 \cdot 1,7 \cdot (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u_{\text{отн}} = 2 \text{ м/с} \cdot \sqrt{3,89 - 2 \cdot 1,7 \cdot \left( \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} \right)} =$$

$$= 2 \text{ м/с} \cdot \sqrt{3,89 - \frac{2 \cdot 1,7 \cdot (32 - 45)}{5 \cdot 17}} = 2 \text{ м/с} \cdot \sqrt{3,89 + \frac{0,7 \cdot 13}{5}} =$$

$$= 2 \text{ м/с} \cdot \sqrt{3,89 + 0,92} = 2 \text{ м/с} \cdot \sqrt{4,81} = 2 \text{ м/с} \cdot 2,1 = 4,2 \text{ м/с}$$



ЗН на  $Ox$ :  $T_x = \max$

$$T \sin \beta = \max \Rightarrow T = \frac{mg}{\sin \beta} \Rightarrow T = \frac{0,4 \text{ кг} \cdot 3,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{1,9 \text{ м} \cdot \frac{15}{17}} \approx 2,758 \text{ Н}$$

Ответ:

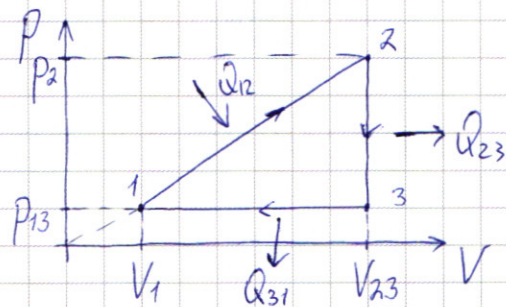
- 1)  $3,4 \text{ м/с}$
- 2)  $4,2 \text{ м/с}$
- 3)  $2,758 \text{ Н}$

№ 2.

1-2:  $\frac{p}{V} = \text{const},$   
 $p \uparrow \uparrow, V \uparrow \uparrow, T \uparrow \uparrow$

2-3:  $p \downarrow \downarrow, T \downarrow \downarrow,$   
 $V = \text{const}$

3-1:  $p = \text{const},$   
 $V \downarrow \downarrow, T \downarrow \downarrow$



1) Запомним, что  $C_{23} = C_V = \frac{3}{2} R$

$$C_{31} = C_P = \frac{5}{2} R \Rightarrow \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5} = 0,6 \quad \text{ответ на пункт 1}$$

2)  $\Delta U_{12} = Q_{12} - A_{12}$ , где  $A_{12} = \frac{1}{2}(p_{13} + p_2)(V_{23} - V_1) = \frac{1}{2}(p_{13}V_{23} - p_{13}V_1 + p_2V_{23} - p_2V_1)$

$$\frac{p_{13}}{V_1} = \frac{p_2}{V_{23}} \Rightarrow p_{13}V_{23} = p_2V_1 \Rightarrow A_{12} = \frac{1}{2}(p_2V_{23} - p_{13}V_1)$$

Уравнение Менделеева - Клапейрона для 1 и 2

и составим:  $p_{13}V_1 = \nu RT_1$

$$p_2V_{23} = \nu RT_2$$

$$\Rightarrow p_2V_{23} - p_1V_1 = \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow A_{12} = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

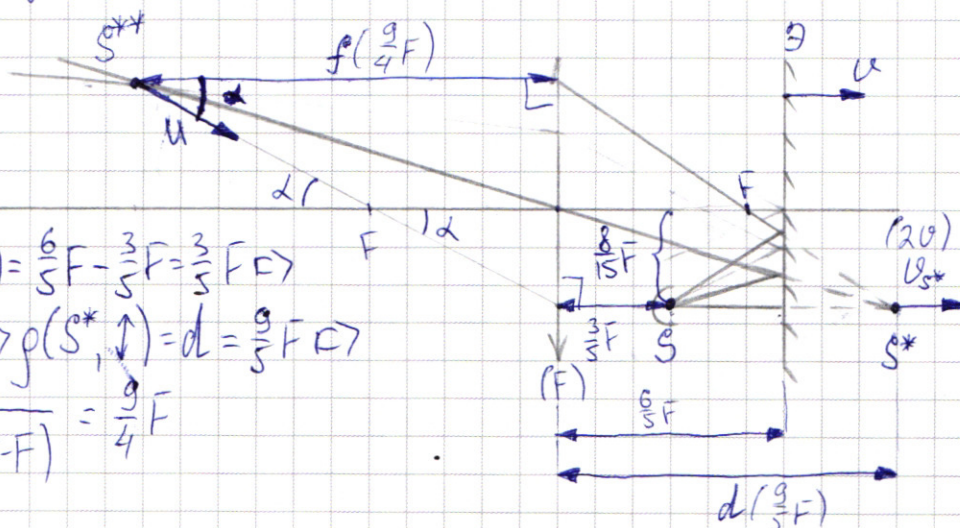
$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3 \quad \text{ответ на пункт 2}$$

3)  $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_n} = \frac{A_{1231}}{Q_n}$

из графика видно, что  $Q_x = Q_{23} + Q_{31}$ ,  $Q_n = Q_{12}$ ,  $A_{1231} = \frac{1}{2}(p_2 - p_{13})(V_{23} - V_1)$

№ 5.

- 1)  $f$  - ?
- 2)  $d$  - ?
- 3)  $u$  - ?



1) из рисунка:  $p(S, \vartheta) = \frac{6}{5}F - \frac{3}{5}F = \frac{3}{5}F \Rightarrow$

$$\Rightarrow p(S^*, \vartheta) = \frac{3}{5}F \Rightarrow p(S^*, \downarrow) = d = \frac{9}{5}F \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{dF}{|d-F|} = \frac{9F}{5(\frac{9}{5}F-F)} = \frac{9}{4}F$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- 2) скорости источника  $S^*$  (действ. П для  $\uparrow$ ) <sup>и его избр.  $S^*$</sup>  должен "перескочить" на линзе; из рисунка видно, что  $\tan \lambda = \frac{8F}{15F} = \frac{8}{15} \Rightarrow \lambda = \arctan \frac{8}{15}$
- 3) перейдём в ИСО  $\Rightarrow S^*$  движется со скоростью  $v'_{\text{до}} = -v$ ,  $v'_z = 0 \Rightarrow S^*$  движется со скоростью  $v'_{\text{с*}} = v$  в силу зеркальности. Вернёмся в ИСО Земли (линзы)  $\Rightarrow v_{S^*} = 2v$ ,  $\vec{v}_{S^*} \perp \vec{v} \Rightarrow$   
 $\Rightarrow v_{\parallel} = v_{S^*} = 2v \Rightarrow \Gamma = \frac{1}{1 - \beta^2} = \frac{1}{1 - \frac{4}{25}} = \frac{25}{21} \Rightarrow U_{\parallel} = \left(\frac{4}{5}\right)^2 U = U \cos^2 \lambda$   
 $\Rightarrow U = \frac{16}{25} \cdot 2v \cdot \cos^2 \lambda = \frac{32v}{25 \cos^2 \lambda}$ , где  $\lambda = \arctan \frac{8}{15}$

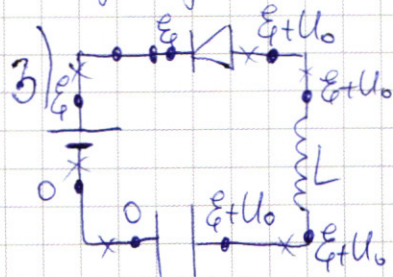
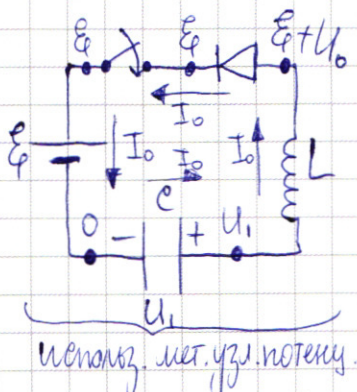
Ответ:

- 1)  $\frac{9}{4} F$
- 2)  $\arctan \frac{8}{15}$
- 3)  $\frac{32v}{25 \cos^2 \lambda}$ , где  $\lambda = \arctan \frac{8}{15}$

№4.

$\mathcal{E} = 6\text{В}$   
 $C = 10^{-5}\text{Ф}$   
 $U_1 = 9\text{В}$   
 $L = 0,4\text{Гн}$   
 $U_0 = 1\text{В}$

- 1)  $\dot{I}$  - ?
- 2)  $I_{\text{max}}$  - ?
- 3)  $U_2$  - ?



- 1) Напряжение на  $\uparrow$  скачком не изменяется  $\Rightarrow U_{\text{с0}} = U_0$ , а напряжение на диоде будет  $U_{\text{до}} = U_1 \Rightarrow$

$$\Rightarrow U_{L0} = U_1 - \mathcal{E} - U_0 = L \dot{I} \Rightarrow \text{ОТВЕТ НА ПУНКТ 1}$$

$$\Rightarrow \dot{I} = \frac{U_1 - \mathcal{E} - U_0}{L} = \frac{9\text{В} - 6\text{В} - 1\text{В}}{0,4\text{Гн}} = 5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

в уст. режиме  $I_{\text{уст}} = 0 \Rightarrow$  ОТВЕТ НА ПУНКТ 3

$$\Rightarrow U_{\text{уст}} = \mathcal{E} + U_0 = 7\text{В} \Rightarrow U_2 = 7\text{В}$$

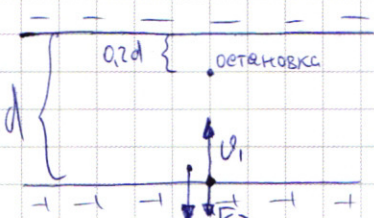
№3.

$d, U, v_1$

1)  $f$  - ?

2)  $T$  - ?

3)  $v_0$  - ?



$$\Rightarrow f = \frac{|q|}{m} = \frac{dv_1^2}{2US}$$

ответ на пункт 1

1) 2 3U

$$F_7 = ma, \text{ где } a = \frac{v_1^2}{2S}$$

$$qE = \frac{mv_1^2}{2S}, \text{ где } E = \frac{U}{d}$$

$$\frac{qU}{d} = \frac{mv_1^2}{2S} \Rightarrow$$

$$\text{где } S = 0,8d$$

$$f = \frac{dv_1^2}{1,6Ud} = \frac{v_1^2}{1,6U}$$

2) Из кинематики  $S_0 = v_1 t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow S_0 = 0 = v_1 T - \frac{aT^2}{2} \Rightarrow v_1 T = \frac{aT^2}{2}$$

$$T = \frac{2v_1}{a} = \frac{2v_1}{\frac{v_1^2}{2S}} = \frac{4S}{v_1}$$

ответ на пункт 2

$$\text{где } S = 0,8d$$

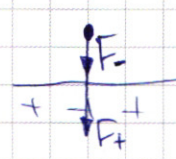
$$T = \frac{4 \cdot 0,8d}{v_1} = \frac{3,2d}{v_1}$$

3) ~~после вылета~~  $a \neq \text{const}$ ,  $a \downarrow$

после вылета на частицу будет действовать сила Кулона, притягивая её к полож. заряду, т.е.  $a \neq \text{const}$ :  $F_k = k \frac{q \cdot Q}{r^2} \Rightarrow$

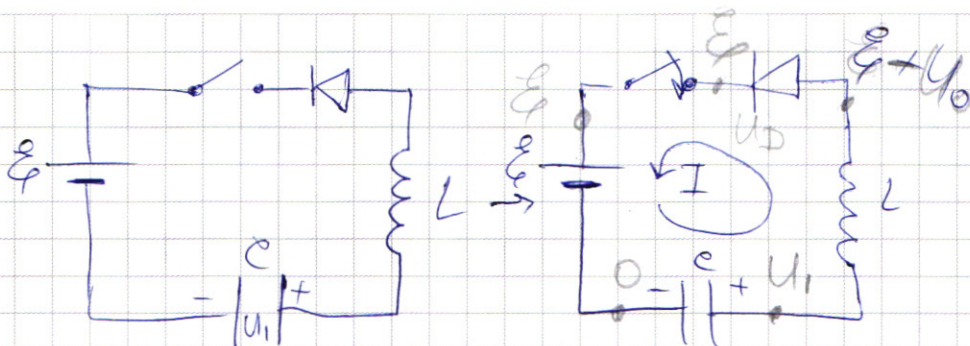
$\Rightarrow a \downarrow \Rightarrow \text{на } \infty a = 0, v_0 = \text{const}$

Пока частица в конденсаторе, на неё действуют 2 силы:



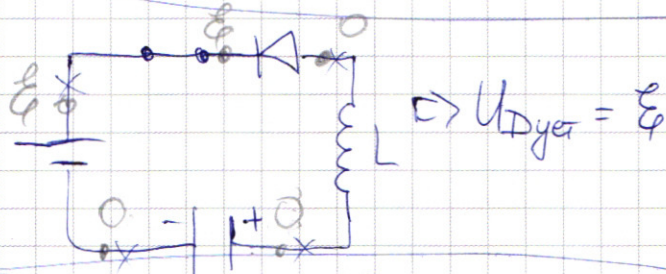
4)  $\mathcal{E} = 6\text{ В}$   
 $C = 10^{-5}\text{ Ф}$   
 $U_1 = 9\text{ В}$   
 $L = 0,4\text{ Гн}$   
 $U_0 = 1\text{ В}$

- 1)  $\dot{I}$  - ?
- 2)  $T_{\text{max}}$  - ?
- 3)  $U_2$  - ?



из ВАХ  $U_D = U_0$ ;  $U_C$  екатком не изм  $\Rightarrow$

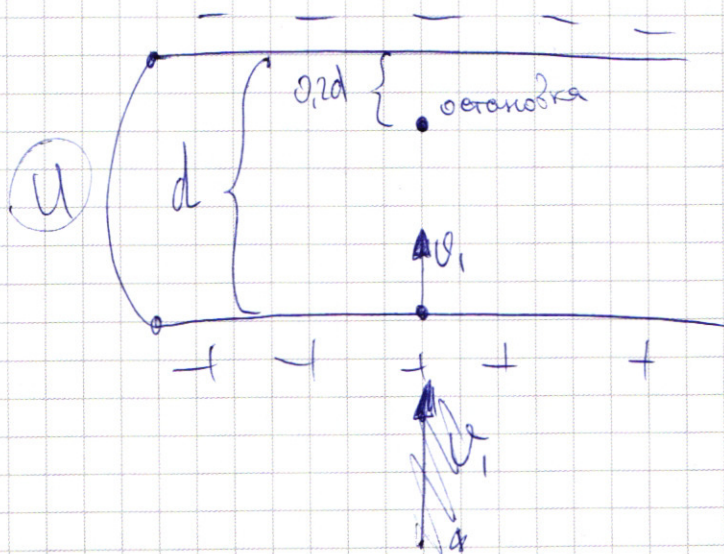
$$\Rightarrow U_L = -\mathcal{E} + U_0 + U_1 = 9 - 6 - 1 = 2\text{ В}$$



$$U_L = L \dot{I} \Rightarrow \dot{I} = \frac{U_L}{L} = \frac{U_0 + U_1 - \mathcal{E}}{L} = \frac{2}{0,4} = 5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$U_1 - \mathcal{E} - U_0 = 9 - 6 - 1 = 2\text{ В}$$

$U_C \downarrow$  go  $\mathcal{E} + U_0$ , т.к.  $U_{\text{уст}} = 0$ , потом ток в цепи идти не будет



$$ma = qE$$

$$S = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v_1^2}{2S}$$

$$\frac{mv_1^2}{2S} = qE = q \frac{U}{d}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3)  $U_e = U$

$U_1$

$l = 0,2d$

$$\begin{array}{r} 80 \overline{) 15} \\ 75 \overline{) 15} \\ \hline 5 \end{array} \quad \begin{array}{r} 333 \\ 0,5333 \end{array}$$

5)  $F$

$x = \frac{8}{15} F$

$d = \frac{9}{5} F$

$U$

$l = \frac{6}{5} F$

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

2)  $d = ?$

3)  $U = ?$

$$d = \frac{9}{5} F \Rightarrow \frac{d}{f} = \frac{dF}{|d-F|} = \frac{\frac{9}{5} F \cdot F}{\frac{9}{5} F - F} = \frac{\frac{9}{5} F^2}{\frac{4}{5} F} = \frac{9}{4} F = \frac{45}{20} F = \frac{11,25}{5} F$$

$$\Gamma = \frac{F}{|d-F|} = \frac{F}{\frac{9}{5} F - F} = \frac{5}{4}$$

В  $CO$  зеркале:  $U_z = 0$ ;  $U_{sx} = -U$ , т.е.  $\Rightarrow U_{sx} = U$

В  $CO$  Земли:  $U_z = U$ ,  $U_{sx} = 2U$ ,  $U_{sy} = 0$

$U_{sx}$  т.е. от  $u_{sx} \Rightarrow d \Rightarrow$

$\Rightarrow f \downarrow$   
 $E_p =$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①  $v = 2 \text{ м/с}$

$m = 0,4 \text{ кг}$

$R = 1,9 \text{ м}$

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

$\cos \alpha = \frac{4}{5}$

$\sin \alpha = \frac{3}{5}$

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

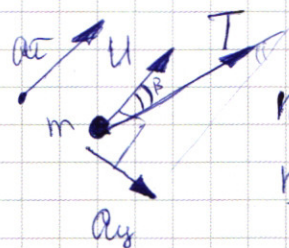
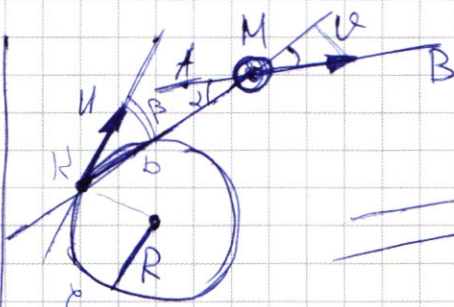
$289 - 64 = 225$

$\sin \beta = \frac{15}{17}$

✓ 1)  $U = ?$

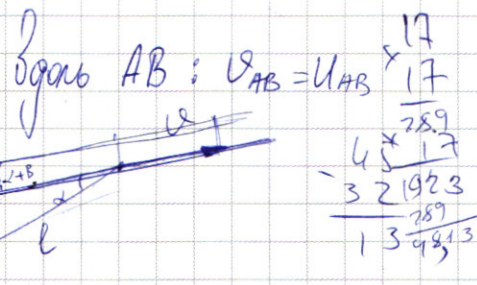
✓ 2)  $U_{\text{отн}} = ?$

3)  $T = ?$



$m a_y = T \sin \beta$

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



$\angle(v, u) = 180^\circ - \alpha - \beta = \gamma$

$u \cos(\alpha + \beta) = v$

$u = \frac{v}{\cos(\alpha + \beta)}$

Чтобы трое не разорвало, проекции  $v$  и  $u$  на касательную должны быть равны

$u \cos \beta = v \cos \alpha$

$u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = v \cdot \frac{4/5}{8/17} = v \cdot \frac{17}{10} = 1,7 v = 1,7 \cdot 2 \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$

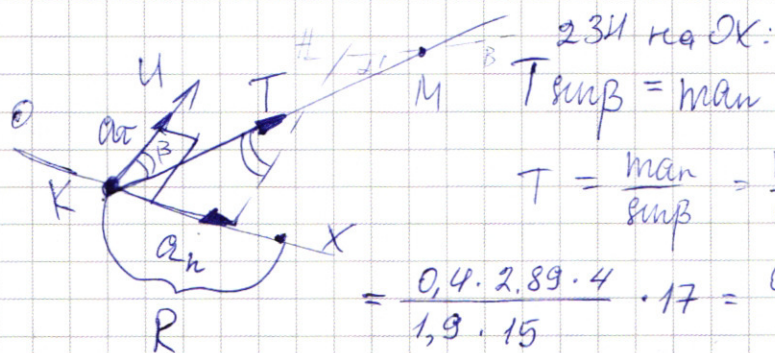
по теореме косинусов:  $U_{\text{отн}}^2 = v^2 + u^2 - 2v \cdot u \cdot \cos(\alpha + \beta)$

$\Rightarrow U_{\text{отн}}^2 = v^2 + 2,89 v^2 - 3,4 v^2 (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)$

$\Rightarrow U_{\text{отн}} = v \sqrt{3,89 - 3,4 \left( \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} \right)} = v \sqrt{3,89 - 3,4 \left( \frac{32 - 45}{5 \cdot 17} \right)} = v \sqrt{3,89 + 3,4 \cdot \frac{13}{5 \cdot 17}} = v \sqrt{3,89 + 0,2 \cdot \frac{13}{5}} = v \sqrt{3,89 + \frac{2,6}{5}} = v \sqrt{3,89 + 0,52} = v \sqrt{4,41} = 2,1 v = 2,1 \cdot 2 \text{ м/с} = 4,2 \text{ м/с}$

$T = \frac{m u^2}{R \sin \beta} = \frac{m \cdot 2,89 v^2}{R \sin \beta} = \frac{2,89 \cdot 0,4 \text{ кг} \cdot 4 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot 17}{1,9 \text{ м} \cdot 15} = \frac{17 \cdot 17 \cdot 0,4 \cdot 4}{1,9 \cdot 15} = \frac{48,13 \cdot 0,16}{1,9 \cdot 15}$

$\frac{2 \cdot 1,7 \cdot 13}{5 \cdot 17} = \frac{0,2 \cdot 13}{5} = \frac{13}{25} = \frac{52}{100}$



$$= \frac{0,4 \cdot 4 \cdot 2,89 \cdot 17}{15 \cdot 1,9} = \frac{1,6 \cdot 49,13}{15 \cdot 1,9} = \frac{78,608}{28,5} \approx 2,758 \text{ Н}$$

$$T = \frac{m a_n}{\sin \beta} = \frac{m u^2}{\sin \beta \cdot R}$$

$$l = \frac{17}{15} R = \frac{R}{\sin \beta}$$

$$\begin{array}{r} 786,08 \overline{) 285} \\ 570 \\ \hline 2160 \\ 1598 \\ \hline 1658 \\ 1425 \\ \hline 2330 \\ 2280 \\ \hline 500 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,89 \\ \times 1,7 \\ \hline 2023 \\ 289 \\ \hline 4913 \\ \times 1,6 \\ \hline 23478 \\ 78608 \\ \hline 78608 \\ 15 \\ \hline 19 \\ \hline 135 \\ 15 \\ \hline 285 \end{array}$$

$$A_{1231} = \frac{1}{2} p_2 V_{23} - \frac{3}{2} p_{13} V_1 + p_{13} V_{23} = \frac{1}{2} p_2 V_{23} - p_{13} V_{23} + \frac{1}{2} p_{13} V_1$$

$$2 p_{13} V_{23} = 2 p_{13} V_1$$

$$Q_{12} = 2 V R \Delta T_{12} = \cancel{2 p_2 V_{23} - 2 p_{13} V_1} = 2 p_2 V_{23} - p_{13} V_1$$

$$p_{13} V_1 = V R T_1$$

$$p_2 V_{23} = V R T_2$$

$$\Rightarrow V R \Delta T_{12} = p_2 V_{23} - p_{13} V_1$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

② 1-2:  $p \sim V$ ,  $p \uparrow$ ,  $V \uparrow$ ,  $T \uparrow$

2-3:  $p \downarrow$ ,  $V = \text{const}$ ,  $T \downarrow$

3-1:  $p = \text{const}$ ,  $V \downarrow$ ,  $T \downarrow$

$A_2 > 0$

$$\sqrt{1) \frac{c_{23}}{c_{31}} - 1 = \frac{c_v}{c_p} = \frac{3}{5}}$$

$$\sqrt{2) \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} - 1 = 3}$$

$$3) \eta_{\text{max}} - 1 = \left( \eta = \frac{Q_x}{A} \right)$$

$$p_1 p_2 (V_2) = k V_2 \Rightarrow \frac{p_2}{V_2} = \text{const}$$

$$\frac{p_3}{V_1} = \frac{p_2}{V_{23}} \Rightarrow p_2 V_{23} = p_3 V_1$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = Q_{12} - \frac{1}{2} (p_3 V_{23} - p_3 V_1 + p_2 V_{23} - p_2 V_1)$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = Q_{12} - \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - p_3 V_1)$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = Q_{12} - \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow A_{12} = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{12}, \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$(2) \nu R \Delta T_{12} = Q_{12}$$

$$2-3: V_{23} = \text{const} \Rightarrow A_{23} = 0 \Rightarrow \Delta U_{23} = Q_{23}$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} = c_{23} \nu \Delta T_{23} \Rightarrow c_{23} = \frac{3}{2} R = c_v$$

ЗАДАЧА 3 В ВАКУУМЕ

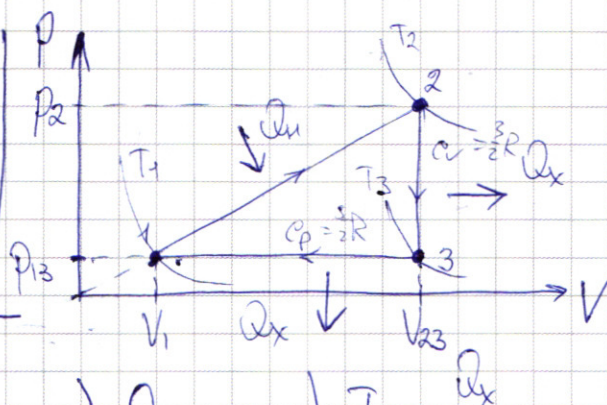
$$3-1: p_3 = \text{const} \Rightarrow A_{31} = p_3 \Delta V_{31} \Rightarrow \Delta U_{31} = Q_{31} - A_{31}$$

$$p_3 V_{23} = \nu R T_3 \Rightarrow \nu R \Delta T_{31} = p_3 (V_1 - V_{23}) = p_3 \Delta V_{31}$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = Q_{31} - p_3 \Delta V_{31}$$

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

$$Q_{31} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{31} = c_{31} \nu \Delta T_{31} \Rightarrow c_{31} = \frac{5}{2} R = c_p$$



$$1) Q_{23} = c_{23} \nu \Delta T_{23}$$

$$Q_{31} = c_{31} \nu \Delta T_{31}$$

$$\frac{c_{23}}{c_{31}} = \frac{\Delta T_{23}}{\Delta T_{31}}$$

$$1-2: \Delta U_{12} = Q_{12} - A_{12}$$

$$\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = Q_{12} - \frac{1}{2} (p_3 + p_2) \cdot (V_{23} - V_1)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_x}{Q_H} = \frac{A_{1231}}{Q_H}$$

$$Q_x = Q_{23} + Q_{31} = c_v \Delta T_{23} + c_p \Delta T_{31} = \frac{3}{2} R V \Delta T_{23} + \frac{5}{2} R V \Delta T_{31}$$

$$Q_H = Q_{12} = 2 \sqrt{R} \Delta T_{12} = -2 \sqrt{R} (\Delta T_{23} + \Delta T_{31})$$

$$\Delta T_{12} = T_2 - T_1 = \cancel{T_2 - T_3 + T_3 - T_1} = \cancel{T_3 - T_1}$$

$$\Delta T_{23} = T_3 - T_2 \quad \Delta T_{12} = -(\Delta T_{23} + \Delta T_{31}) = -(T_3 - T_2 + T_1 - T_3) = T_2 - T_1$$

$$\Delta T_{31} = T_1 - T_3$$

$$Q_H = -2 \sqrt{R} \Delta T_{23} - 2 \sqrt{R} \Delta T_{31} = -\frac{2 \sqrt{R} \cdot \frac{3}{2} Q_{23}}{\sqrt{R}} - \frac{2 \sqrt{R} \cdot \frac{5}{2} Q_{31}}{\sqrt{R}} =$$

$$= -\frac{4}{3} Q_{23} - \frac{4}{5} Q_{31} = -\left( \frac{20 Q_{23}}{15} + \frac{12 Q_{31}}{15} \right) = -\frac{4}{15} (5 Q_{23} + 3 Q_{31})$$

$$\eta = 1 - \frac{\frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T_{23} + \frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T_{31}}{-\frac{4}{15} (5 Q_{23} + 3 Q_{31})} = 1 - \frac{\frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T_{23} + \frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T_{31}}{-\frac{4}{15} (5 \cdot \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T_{23} + 3 \cdot \frac{5}{2} \sqrt{R} \Delta T_{31})} =$$

$$= 1 - \frac{\frac{3}{2} \sqrt{R} (3 \Delta T_{23} + 5 \Delta T_{31})}{-\frac{4}{15} \cdot \frac{\sqrt{R}}{2} (5 \cdot 3 \Delta T_{23} + 3 \cdot 5 \Delta T_{31})} = 1 + \frac{15}{4} \cdot \frac{3 \Delta T_{23} + 5 \Delta T_{31}}{15 \Delta T_{23} + 15 \Delta T_{31}} =$$

$$= 1 + \frac{3 \Delta T_{23} + 5 \Delta T_{31}}{\Delta T_{23} + \Delta T_{31}} \cdot \frac{1}{4} = 1 + \frac{3 T_3 - 3 T_2 + 5 T_1 - 5 T_3}{4 T_3 - 4 T_2 + 4 T_3 - 4 T_1} = 1 + \frac{5 T_1 - 3 T_2 - 2 T_3}{8 T_3 - 4 T_2 - 4 T_1}$$

$$= 1 - \frac{2 T_3 + 3 T_2 - 5 T_1}{8 T_3 - 4 T_2 - 4 T_1}$$

$$2 T_3 + 3 T_2 - 5 T_1 \geq 0$$

$$2 T_3 + 3 T_2 \geq 5 T_1$$

$$A_{1231} = \frac{1}{2} (p_2 - p_3) \cdot (V_{23} - V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - p_2 V_1 - p_{13} V_{23} + p_{13} V_1)$$

$$Q_H = Q_{12} = 2 \sqrt{R} \Delta T_{12} = 2 \cdot (p_2 V_{23} - p_1 V_1)$$

$$A_{1231} = \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - 2 p_2 V_1 + p_{13} V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - 2 p_{13} V_{23} + p_{13} V_1)$$

$$A_{1231} = A_{12} + A_{23} + A_{31} = A_{12} + A_{31} = \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - p_{13} V_1) + p_{13} (V_1 - V_{23}) =$$

$$= \frac{1}{2} (p_2 V_{23} - p_{13} V_1) + p_{13} V_{23} - p_{13} V_1 = \frac{1}{2} p_2 V_{23} - \frac{1}{2} p_{13} V_1 + p_{13} V_{23} - p_{13} V_1 = \frac{1}{2} p_2 V_{23} - \frac{3}{2} p_{13} V_1 + p_{13} V_{23}$$