

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

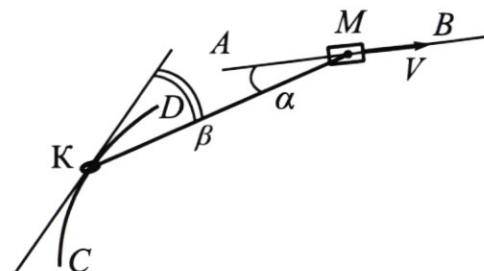
Вариант 11-04

Шифр 5.14

(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 α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



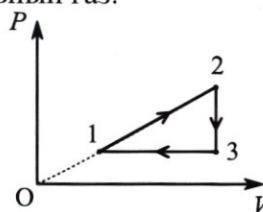
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

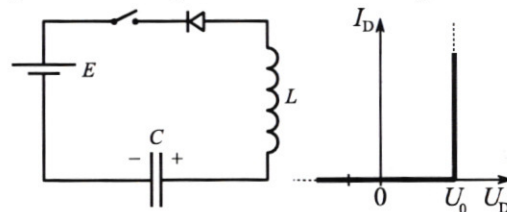
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.



$$E_y \geq \frac{Q}{\epsilon_0 S} = \frac{U}{d}, \text{ где } \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Учитывая силу тяжести, $ma_y = -q \cdot E_y - mg$, зная
 $a_y = -\frac{qE_y}{m} - g$, то тогда

$$v_y(t) = v_1 + a_y t = 0 \quad ma_y = qE_y$$

$$y(t) = v_1 \cdot t + \frac{a_y t^2}{2} = 0,8d$$

Будем $\frac{q}{m} = \kappa$, $v_1 - \kappa \cdot t \cdot E_y - g \cdot t = 0$
 $t = \frac{v_1}{\kappa \cdot E_y + g}$

$$v_1 \cdot \frac{v_1}{\kappa E_y + g} + \frac{(-\kappa E_y - g) \cdot \left(\frac{v_1}{\kappa E_y + g}\right)^2}{2} = 0,8d$$

$$\frac{v_1^2}{\kappa E_y + g} - \frac{1}{2} \left(\frac{v_1^2}{\kappa E_y + g} \right) = 0,8d$$

$$\frac{1}{2} \frac{v_1^2}{\kappa E_y + g} = 1,6d$$

$$\frac{v_1^2}{1,6d} = \kappa E_y + g; \quad \kappa = \frac{1}{E_y} \left(\frac{v_1^2}{1,6d} - g \right) =$$

$$= \frac{d}{U} \left(\frac{v_1^2}{1,6d} - g \right) = \frac{v_1^2}{1,6U} - \frac{d \cdot g}{U}$$

~~$$ma_y = -qE_y - mg$$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\begin{array}{r} \times 14 \\ 14 \\ + 119 \\ 14 \\ \hline 289 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2413 \\ - 3 \quad 143 \\ \hline 19 \\ - 12 \\ \hline 21 \\ - 1473 \\ \hline 12 \quad 49 \\ - 12 \\ \hline 27 \\ - 27 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$V_{\text{ком}}^2 = V_K^2 + V_M^2 - 2V_K V_M \cos(\alpha + \beta)$$

(из т. косинусов)

А из тригонометрии $\cos(\alpha + \beta) = \cos\alpha \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta$

$$\begin{aligned} V_{\text{ком}} &= \sqrt{\frac{14^2}{25} + 4 - 2 \cdot 2 \cdot \frac{14}{5} \cdot \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{8}{14} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{14}\right)} = \\ &= \sqrt{\frac{289 + 100}{25} - \frac{4}{5} \cdot \frac{14}{5} \cdot \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{14} + \frac{4}{5} \cdot \frac{14}{5} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{14}} = \\ &= \sqrt{\frac{389}{25} - \frac{128}{25} + \frac{180}{25}} = \sqrt{\frac{441}{25}} = \sqrt{\frac{3^2 \cdot 7^2}{5^2}} = \frac{3 \cdot 7}{5} = \frac{21}{5} \end{aligned}$$

Ответ: 1) $V_K = \frac{14}{5}$ 2) $V_{\text{ком}} = \frac{21}{5}$

3) Для кольца К:

ОУ: $m a_{\text{центр}} = T \cdot \sin\beta$, где T — сила н. пружины

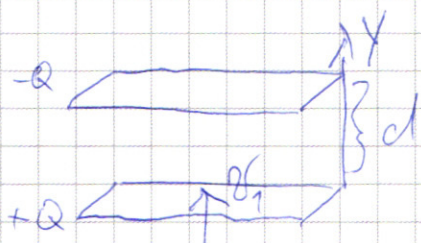
$$\frac{m V_K}{R} = T \cdot \sin\beta;$$

$$T = \frac{m V_K^2}{R \cdot \sin\beta} = \frac{0,4 \cdot \left(\frac{14}{5}\right)^2}{1,9 \cdot \frac{5}{14}} = \frac{4}{19} \cdot \frac{289}{25} \cdot \frac{14}{15} =$$

$$= \frac{2^2 \cdot 17^2}{5^3 \cdot 3 \cdot 19} = \frac{19652}{4125} ?$$

Ответ: 1) $V_K = \frac{14}{5}$ 2) $V_{\text{ком}} = \frac{21}{5}$ 3) $F_{\text{н.п.}} = \frac{19652}{4125}$

N3.



Дано: d, U, V_1, V_2, d
Найти: $\gamma = ?$, $T = ?$, $V_0 = ?$
Решение:

$$v_2 = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 \cdot g \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \left(\frac{5}{4}\right)^2 \cdot g \cdot \frac{17}{15} = \frac{5 \cdot 17}{16 \cdot 3}$$

$$\tan \alpha = \frac{8}{15} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{8}{15} \\ \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \end{cases}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

Ответ: а) $\frac{9}{4}g$ б) $\alpha = \arctg \frac{8}{15}$ в) $v_2 = \frac{85}{48}g$
N1.

Дано: $v_m = 2 \text{ м/с}$,

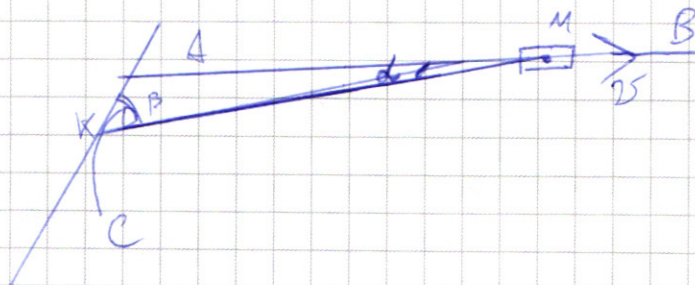
$m = 0,4 \text{ кг}$, $R = 1,9 \text{ м}$,

$l = \frac{17}{15}R$, $\cos \alpha = \frac{4}{5}$,

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

Найти: v_k —?, $v_{\text{ком}}$ —?, $F_{\text{нт}}$ —?

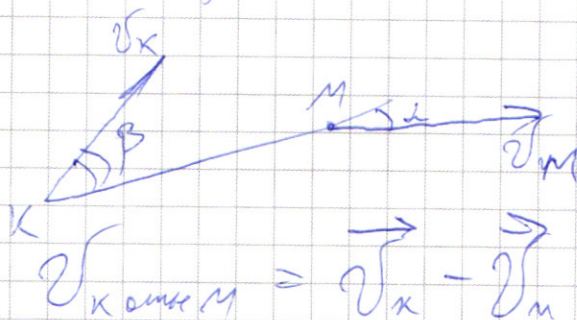
Решение: —



Если трос не растяжим, то мгновенное перемещение точки М и т. К в направлении троса одинаково

$$v_m \cos \alpha = v_k \cdot \cos \beta;$$

$$v_k = \frac{v_m \cdot \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot \frac{4}{5}}{\frac{8}{17}} = \frac{8}{5} \cdot \frac{17}{8} = \frac{17}{5} \text{ (м/с)}$$

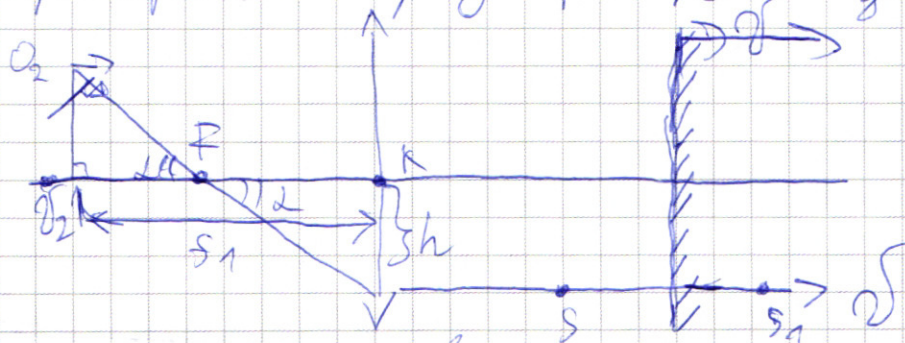


$$v_{\text{к относительно м}} = \vec{v}_k - \vec{v}_m$$

По правилу :

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Для источника ~~свечения~~ (предмет) сбалансирован перед линзой параллельно её оси ~~лучи~~ и обратное изображение на ~~противоположной~~ пре-
ложу проходящей через фокус линзы.



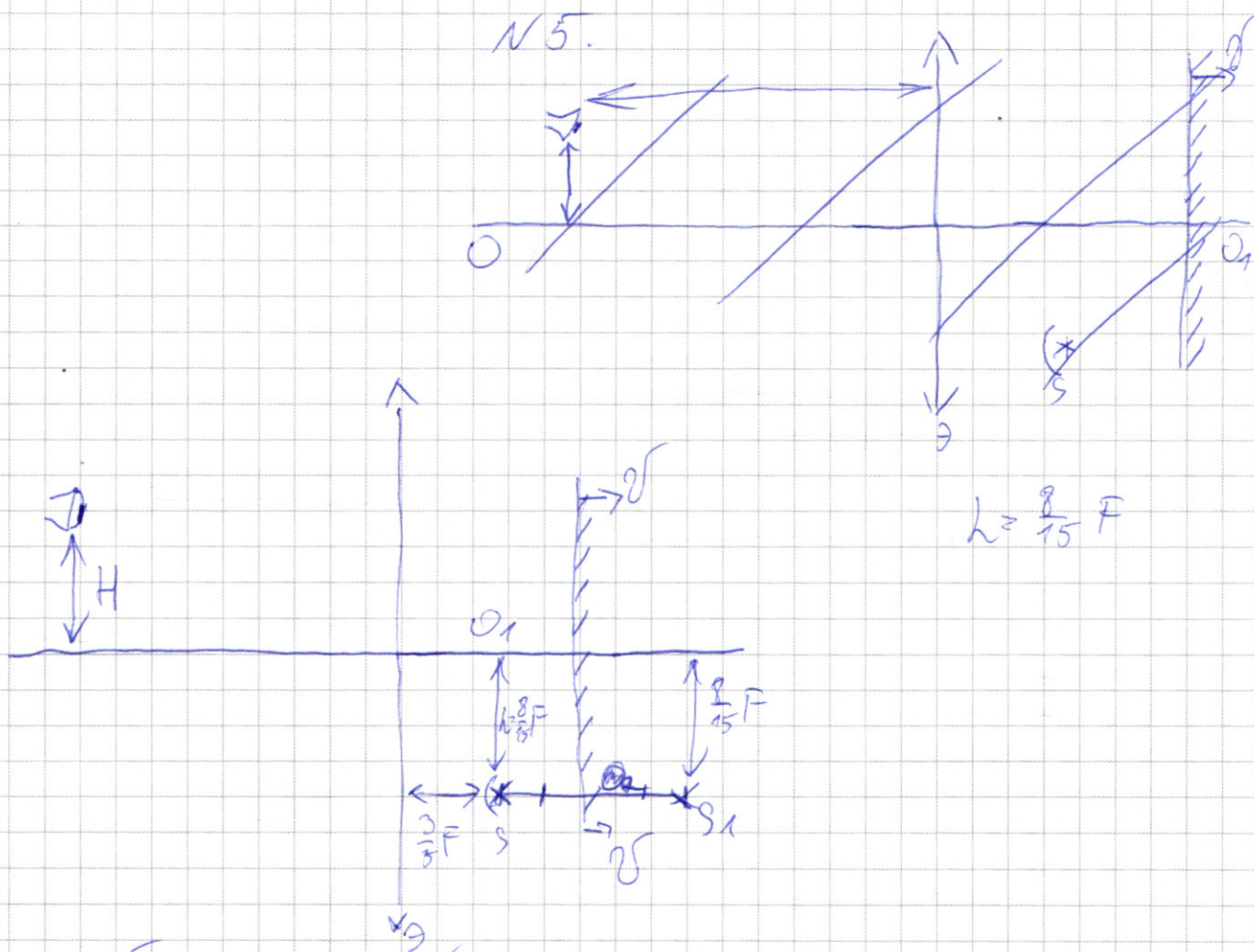
В системе отсчета, связанной с зерном излучение Φ источника S движется относительно зерна со скоростью $\vec{V}$ параллельно оси Ox_1 .

изображение этого источника формируется в
линзе второй ~~линзы~~ F_2 , приходящее
через точку линзы.

Обозначим $U_{\text{ср}}$ на рисунке. Тогда $U_{\text{ср}} = \frac{8}{15} U$

$$\alpha = \arctan \frac{8}{15} ; \cos \alpha = \frac{15}{17}$$

$$\frac{v_{n3}}{v} = \frac{v_2 \cos \alpha}{v} = \left(\frac{f_1}{c n} \right)^2 = \left(\frac{\frac{9}{5} f}{\frac{9}{5} f} \right)^2 = \left(\frac{5}{4} \right)^2 = \frac{25}{16}$$



Беспрямое изображение S_1 : $SO_2 \approx O_2S_1$

Источник S находится на расстоянии SO_2 от зеркала.

$$SO_2 \approx L - d \approx \frac{6}{5} F - \frac{3}{5} F = \frac{3}{5} F$$

Это означает, что изображение S_1 находится на том же расстоянии: $O_2S_1 \approx O_2S$ от зеркала, что и S .

Значит изображение S_1 источника находится от плоскости линзы на расстоянии

$$d + SO_2 + S_1O_2 \approx \frac{3}{5} F + \frac{3}{5} F + \frac{3}{5} F = \frac{9}{5} F = d_1$$

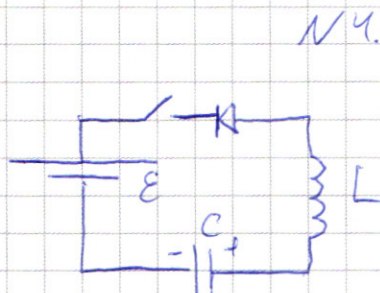
и на расстоянии $h = \frac{8}{15} F$ от O_1O .

По формуле:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{S_1} \approx \frac{1}{F}; \quad \frac{1}{S_1} \approx \frac{1}{F} - \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F} - \frac{5}{9F} = \frac{4}{9F};$$

$$S_1 \approx \frac{9}{4} F$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Дано:

$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 9 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = ?$$

$$I_{\text{max}} = ?$$

$$U_2 = ?$$

Буду использовать законы Кирхгофа.

$$E \rightarrow U_0$$

$I_0 > 0$, т. е. ток течёт против

$\exists \text{ DC}$ (Пусть $E = E$)

$$E = -U_0 + U_1 + U_L$$

$$E = -U_0 + U_1 + L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\left(\frac{\Delta I}{\Delta t} \right)_0 = \frac{1}{L} (E + U_0 - U_1) =$$

$$= \frac{1}{L} (6 + 1 - 9) = \frac{1}{0,4} \cdot (-2)$$

$$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{e}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{0,4}}$$

$$U_{C1} = E + U_0 = 7 \text{ (В)}$$

$$\text{пока ток } I_{\text{уст}} = 0$$

$$W_0 + A_E = W_K \text{ по з. с. ЭМ.}$$

$$\frac{e U_0^2}{2} + \frac{1}{2} C (U_{C1} - U_1)^2 = \frac{L I_{\text{max}}^2}{2} + \frac{C U_2^2}{2}$$

Ответ: 1) - 5 2) $\sqrt{\frac{10^{-2}}{0,4}}$

$\eta_{\max} = \frac{Q_{234}}{Q_{\text{min}}} \cdot 100\%$, где $A_{234} - A_{\text{затра}}$
 за цикл, $Q_{\text{min}} - Q$ тепла полученного.

$$(1) Q_{\text{получ}} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} \nu R (T_2 - T_1) = 2 \nu R (T_2 - T_1)$$

$$(2) A_{234} = |Q_{\text{получ}}| - |Q_{\text{затра}}| = \\ = |Q_{12}| - |Q_{23}| - |Q_{31}| = 2 \nu R (T_2 - T_1) - \\ - \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) - \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1) = \nu R (2T_2 - 2T_1 - \\ - \frac{3}{2} T_2 + \frac{3}{2} T_3 - \frac{5}{2} T_3 + \frac{5}{2} T_1) = \nu R (\frac{1}{2} T_2 + \frac{1}{2} T_1 - T_3)$$

Из (1) и (2):

$$\eta_{\max} = \frac{A_{234}}{Q_{\text{min}}} = \frac{\nu R (\frac{1}{2} T_2 + \frac{1}{2} T_1 - T_3)}{2 \nu R (T_2 - T_1)} = \\ = \frac{\frac{1}{2} T_2 + \frac{1}{2} T_1 - T_3}{2 T_2 - 2 T_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_2 + T_1 - 2 T_3}{2 T_2 - 2 T_1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{T_2 + T_1 - 2 T_3}{T_2 - T_1} = \\ = \frac{1}{4} \left(\frac{T_2 - T_1 + 2 T_1 - 2 T_3}{T_2 - T_1} \right) = \frac{1}{4} \left(1 + 2 \cdot \frac{(T_1 - T_3)}{T_2 - T_1} \right),$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 1-2 \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \\ 2-3 \quad \frac{V_{12}}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} \\ 3-1 \quad \frac{P_1}{V_{12}} = \frac{P_{23}}{V_3} \end{array} \right.$$

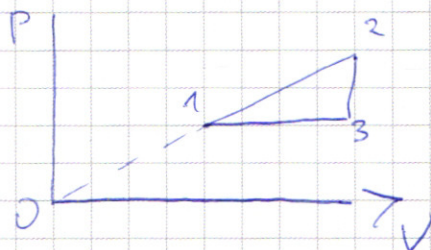
или 1-2 на 2-3:

$$\frac{P_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_{12}} = \frac{P_2 \cdot T_3}{T_2 \cdot V_3} \Rightarrow \\ T_3 = \frac{T_2^2}{T_1}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{4} \left(1 + 2 \cdot \frac{(T_1 - T_2)(T_1 + T_2)}{T_1 (T_2 - T_1)} \right) = \frac{1}{4} \left(1 - 2 \cdot \frac{T_1 + T_2}{T_1} \right) = \\ = \frac{1}{4} (3 - 2) = \frac{1}{4} \Rightarrow 25\% \\ \text{Ответ: 1) } \frac{5}{3} \text{ 2) } 3 \text{ 3) } 25\%$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N 2.



Найти:

a) $\frac{C_{23}}{C_{31}} = ?$

б) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = ?$

в) $\eta_{max} = ?$

а) $\Delta T < 0$;
 $p = kV$. $A_{12} = \frac{\int R_1 T_{12}}{2} = \left(\frac{P_{13} + P_2}{2} (V_{23} - V_1) \right) =$
 $= \frac{P_{13} V_{23} + P_2 V_{23} - P_{13} V_1 - P_2 V_1}{2} = \frac{P_2 V_{23} - P_{13} V_1}{2}$
 $\rightarrow \frac{P_{13}}{V_1} = \frac{P_2}{V_{23}}$

Пусть T_1, T_2, T_3 - t соотв. в 1, 2, 3. Тогда
 $Q_{23} = Q_v = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \int R (T_3 - T_2)$, т.е. $C_{23} = \frac{3}{2} R$ (1)
 $Q_{31} = Q_p = \Delta U_{31} + A_{31} = \Delta U_{31} + P_{13} \Delta V_{13} = \frac{3}{2} \int R (T_1 - T_3) + \int R (T_1 - T_3) =$
 $= \frac{5}{2} \int R (T_1 - T_3) = C_{31} V (T_1 - T_3)$, т.е. $C_{31} = \frac{5}{2} R$ (2)

ИЗ (1) и (2):

$$\frac{C_{31}}{C_{23}} = \frac{5/2}{3/2} = 5/3.$$

б) $P_{12} = k \cdot V_{12}$

(1) $A_{12} = \frac{P_{13} + P_2}{2} (V_{23} - V_1) = \int R \frac{(T_2 - T_1)}{2}$

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

ИЗ (1) и (2):

$$\Delta U_{12} / A_{12} = \frac{3/2 \int R (T_2 - T_1)}{1/2 \int R (T_2 - T_1)} = 3.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{aligned} v &= 2 \text{ м/с} \\ m &= 0,4 \text{ кг} \\ R &= 1,9 \text{ м} \\ l &= 1,4/15 \\ \cos \alpha &= 4/5 \\ \cos \beta &= 8/15 \\ v_k &= ? \\ v_{\text{ком}} &= ? \\ F_{\text{нт}} &= ? \end{aligned}$$

№ 2.

$$U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$1) \frac{C_{23}}{C_{31}} = ?$$

$$2) \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} \quad 3) \text{КПД}_{\text{мех}} = ?$$

$$\Delta T < 0$$

$$1) 1-2 \quad p = k V; \quad A_{12} = \frac{\nu R_1 T_{12}}{2} = \left(\frac{P_{13} + P_2}{2} \right)$$

$$(V_{23} - V_1) = \frac{P_{13} V_{23} + P_2 V_{23} - P_{13} V_1 - P_2 V_1}{2}$$

$$p = k V \Rightarrow \frac{P_{13}}{V_1} = \frac{P_2}{V_{23}}$$

Если $T_1, T_2, T_3 = T$ в 1, 2, 3

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

$$\text{Значит } C_{23} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = Q_p = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3) =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3) = C_{31} V (T_1 - T_3)$$

$$\text{Значит } C_{31} = \frac{5}{2} R$$

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

$$2) P_{12} = k \cdot V_{12}$$

$$A_{12} = \frac{P_{12} + P_2}{2} (V_{L3} - V_1) = \frac{2R(T_2 - T_1)}{2}$$

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

$$\text{Тогда } \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} 2R(T_2 - T_1)}{\frac{1}{2} 2R(T_2 - T_1)} = 3$$

$$3) \eta_{\max} = \frac{(1) \text{ А работа за цикл}}{(1) \text{ Q теплоты}} \cdot 100\%$$

$$(1) Q_{\text{нагр}} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} 2R(T_2 - T_1) + \frac{2R(T_2 - T_1)}{2} = 2R(T_2 - T_1)$$

$$(2) \text{ А работа за цикл} = |Q_{\text{нагр}}| - |Q_{\text{замора}}| =$$

$$= 2R(T_2 - T_1) - \frac{3}{2} 2R(T_2 - T_3) - \frac{5}{2} 2R(T_3 - T_1)$$

$$\Rightarrow A_{234} = 2R(2T_2 - 2T_1 - \frac{3}{2}T_2 + \frac{3}{2}T_3 - \frac{5}{2}T_3 + \frac{5}{2}T_1) =$$

$$= 2R(\frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{2}T_1 - T_3)$$

$$\eta_{\max} = \frac{A_{\text{работы}}}{Q_{\text{нагр}}} = \frac{2R(\frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{2}T_1 - T_3)}{2R(2T_2 - 2T_1)} =$$

$\approx$