

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2020

Класс 11

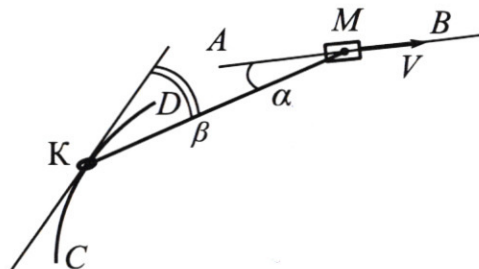
Вариант 11-04

Шифр U.59

(заполняется секретарём)

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

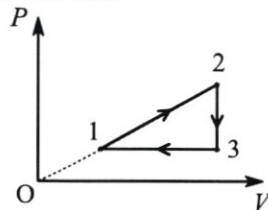
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной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

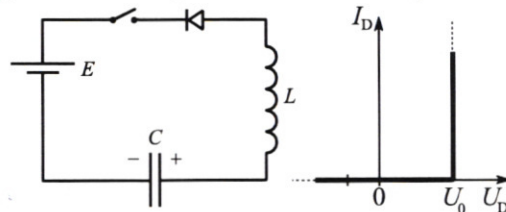
- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.
- 2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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.

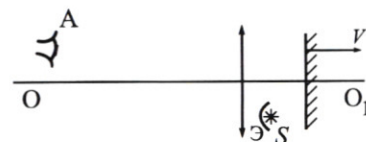
Ключ замыкают.

- 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.

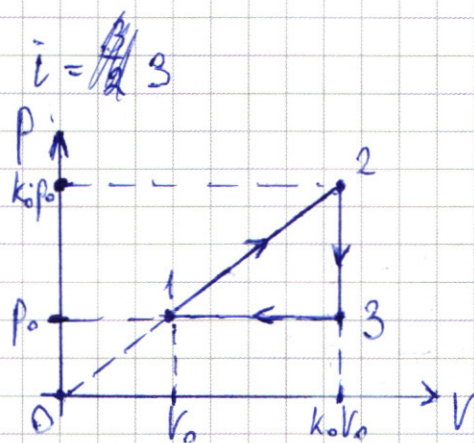


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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



N2

1) $\beta = ?$

$$2) \frac{\Delta u_{12}}{A_{13}} - ?$$

3) $y = ?$

1) Заметим, что понижение температуры происходит на участках 2-3 и 3-1, т.к. 2-3: изохора, 3-1: изобара: $\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow T$ уменьшается, т.к. уменьшается и давление; 3-1: изохора, 3-1: Гей-Люссака: $\frac{V}{T} = \text{const}$; Тогда уменьшение $B = \frac{C_{23}}{C_{31}}$;

$$2) C_{23} = C_V = \frac{i}{2} R \quad ; \quad C_{31} = C_P = C_V + R = \frac{i}{2} R + R \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{C_V}{C_P} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}.$$

3) Ищем процесс 1-2, на нём $p \sim V$, т.е. $p = kV$, где k — некий коэф. пропорциональности, пусть $p_1 = p_0$, $V_1 = V_0$, тогда $p_2 = kp_0$ и $V_2 = k_0 p_0$; $A_{12} = S_{\text{транс}} = \frac{1}{2}(p_0 + kp_0)(k_0 V_0 - V_0) = \frac{1}{2} p_0 V_0 (k_0^2 - 1)$;

$$\Delta U_n = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} k_B^2 p_0 V_0 - \frac{3}{2} p_0 V_0 = \frac{3}{2} p_0 V_0 (k^2 - 1)$$

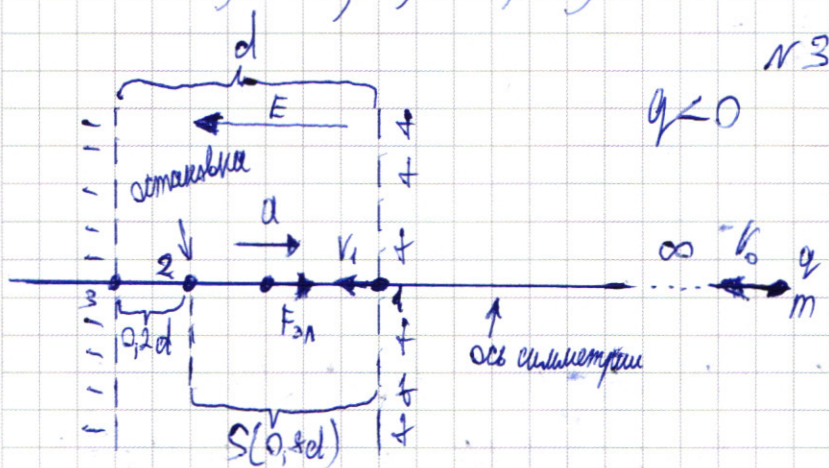
$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{1}{2} p_0 v_0 (k_0^2 - 1)}{\frac{3}{2} p_0 v_0 (k_0^2 - 1)} = \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} p_0 v_0 (k_0^2 - 1)}{\frac{1}{2} p_0 v_0 (k_0^2 - 1)} = \frac{3}{1} \cdot 2 = 3$$

$$4) \eta = \frac{A_{23}}{Q_H}, \text{ где } Q_H = Q_{12} = 4A_{12};$$

$$\eta = \frac{A_{23}}{4A_{12}} = \frac{A_{12} + A_{31}}{4A_{12}} = \frac{1}{4} + \frac{A_{31}}{4A_{12}}; A_{31} = p_0(k_0 v_0 - v_0) = p_0 v_0 (k_0 - 1)$$

$$\eta = 0,25 + 0,25 \cdot \frac{k_0 - 1}{0,5(k_0 - 1)(k_0 + 1)} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2(k_0 + 1)} = \frac{2k_0 + 2 + 4}{4 \cdot 2(k_0 + 1)} = \frac{2(k_0 + 3)}{4 \cdot 2(k_0 + 1)} = \frac{k_0 + 3}{4(k_0 + 1)}$$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 3; 3)



1) γ - ?

2) T - ?

3) v_0 - ?

1) Даны. движущиеся частицы внутри конденсатора (см. рис.)

Из 1-й и 2-й теорем: $F_{эл} = ma$; $F_{эл} = E|q|$, где E - напряженность внутри конденсатора $E = \frac{U}{d}$;

$$\frac{U}{d}|q| = ma; \text{ Из соотношений кинематики } S = \frac{0^2 - v_1^2}{-2a} = \frac{v_1^2}{2a}$$

$$S = d - 0,2d = 0,8d \Rightarrow 0,8d = \frac{v_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v_1^2}{1,6d} = \frac{5v_1^2}{8d};$$

$$\text{Подставим: } \frac{U}{d} \cdot |q| = m \cdot \frac{5v_1^2}{8d} \Rightarrow \frac{|q|}{m} = \gamma = \frac{5v_1^2}{8U}.$$

2) Ввиду того, что внутри конденсатора частица движется ~~равно~~ с постоянным ускорением, то время полета из положения 1 в 2 и из 2 в 1 (см. рис.) будет идентично, т.е. $T = 2t_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Найдём t_1 : $q_{sd} = v_1 t_1 - \frac{at_1^2}{2}$; $v_1 = at_1$ (м.к. в конце равномерного замедления) $\Rightarrow q_{sd} = at_1^2 - \frac{1}{2} at_1^2 = \frac{1}{2} at_1^2$;

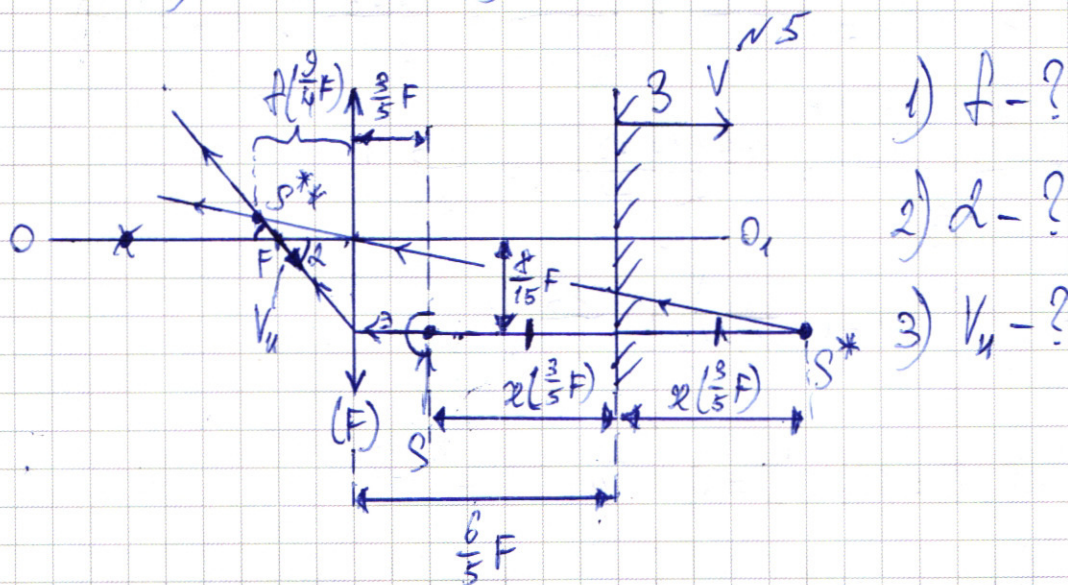
$$\frac{1}{b_1} = \frac{1,6d}{a} = \frac{1,6d \cdot 2d}{5V_1^2} = \frac{3,2d^2}{50V_1^2} = \frac{64d^2}{25V_1^2} \Rightarrow \frac{1}{b_1} = \frac{8d}{5V_1} \Rightarrow T = \frac{16d}{5V_1}$$

3) ЗЦЗ: $\frac{mv_0^2}{2} = q_2 \cdot q \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2q_2 q}{m}}$; $q_2 = U - q_1 E d / v_0 = 0$

~~$$\frac{q}{m} = -\gamma, m, k, q > 0 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2(1-0.5Ed)}{5u} \cdot (-5V_0^2)} = \sqrt{\frac{10(0.5Ed - u)V_0^2}{4 \pm u}} = \frac{V_0}{2} \sqrt{\frac{4Ed - 5u}{u}}$$~~

$$q_2 =$$

System: 1) $\gamma = \frac{5V_1^2}{8u}$; 2) $T = \frac{16d}{5V_1}$; 3) $V_0 =$



1) Расстояние между зеркалом Z и источником света S -
 $x = \frac{6}{5}F - \frac{3}{5}F = \frac{3}{5}F$; зеркало без увеличения отобразит
 изображение S^* источника S на таком же расстоянии от
 себя x . Теперь S^* - действ. предмет для линзы;

$d = \frac{3}{5}F + 2x = \frac{9}{5}F > F$, значит, изображение S^{**} предмета S^* является действительным: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{5}{9F} = \frac{4}{9F} \Rightarrow d = \frac{9}{4}F$. $\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{5}{4}$

2) В CO зеркала S^* движется вправо со скоростью V . Тогда в CO линзы: $v = V + V = 2V$, направление вправо.
 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{8}{15}F}{F} = \frac{8}{15} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{8}{15}\right)$

3) Скорость U S^{**} : $V_u = \Gamma_{\text{сис}} \cdot 2V$ (в CO линзе);

$\Gamma_{\text{сис}} = \Gamma \cdot \Gamma_{\text{зер}}$, т.к. $\Gamma_{\text{зер}} = 1$, то $\Gamma_{\text{сис}} = \Gamma = \frac{5}{4}$

$V_u \cos \alpha = \Gamma_{\text{сис}}^2 \cdot 2V$; $\Gamma_{\text{сис}} = \Gamma \cdot \Gamma_{\text{зер}}$, т.к. $\Gamma_{\text{зер}} = 1$, то $\Gamma_{\text{сис}} = \Gamma = \frac{5}{4}$;

$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \operatorname{tg}^2 \alpha + 1 \Rightarrow \cos^2 \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1} = \frac{1}{\frac{64}{225} + 1} = \frac{225}{289}$; $\cos \alpha = \frac{15}{17}$

$V_u = \frac{\Gamma^2 \cdot 2V}{\cos \alpha} = \frac{\frac{25}{16} \cdot 2V}{\frac{15}{17}} = \frac{25 \cdot 17 \cdot 2V}{15 \cdot 16} = \frac{85}{24} V$

Ответ: 1) $\frac{9}{4}F$; 2) $\operatorname{arctg}\left(\frac{8}{15}\right)$; 3) $\frac{85}{24} V$

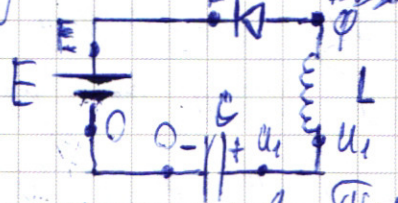
$E = 6 \text{ В}$; $C = 10 \text{ мкФ}$; $U_0 = 9 \text{ В}$; $L = 0,4 \text{ Гн}$; $U_0 = 1 \text{ В}$

1) $I'(t)$ - ?

2) I_{max} - ?

3) U_2 - ?

1) Давим. цепь сразу после замыкания ключа K . Комп. и перемещает на $\frac{U_0}{2}$ скачком не перемещается.



Вспомогательные методы узловых потенциалов. Как посчитать $\frac{U_0}{2}$ часовый ток

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

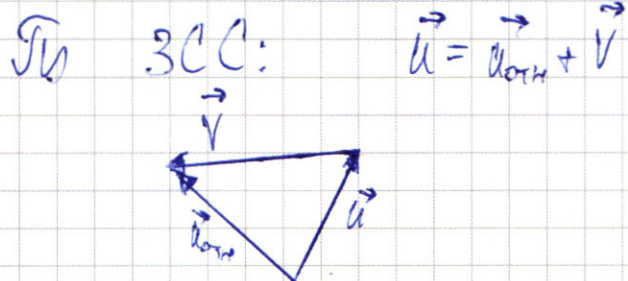
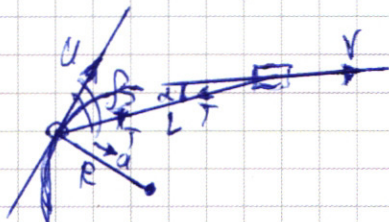
~~Дано: движение будет открыт~~ $\Rightarrow U_0 = U_0$, т.е. $\phi = E = U_0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow \phi = U_0 + E$ Напряжение на катушке $U_L(t) = L I'(t) \Rightarrow$
 $\Rightarrow I'(t) = \frac{U_L(t)}{L}$; $U_L(t) = U_0 - E$, т.к. в начале ток
 будет идти через диод справа катушки $\Rightarrow I'(t) = \frac{U_0 - E}{L} = \frac{3 \text{ В}}{0,4 \text{ Гн}} =$
 $= \frac{15}{2} \frac{\text{В}}{\text{Гн}} = 7,5 \text{ В/Гн}$.

2) Макс ток в цепи будет в момент t_0 т.е. ток
 ток направит всё ^{направит} течение через диод

Ответ: 1) $I'(t) = \frac{U_0 - E}{L} = 7,5 \text{ В/Гн}$ 2) 3)

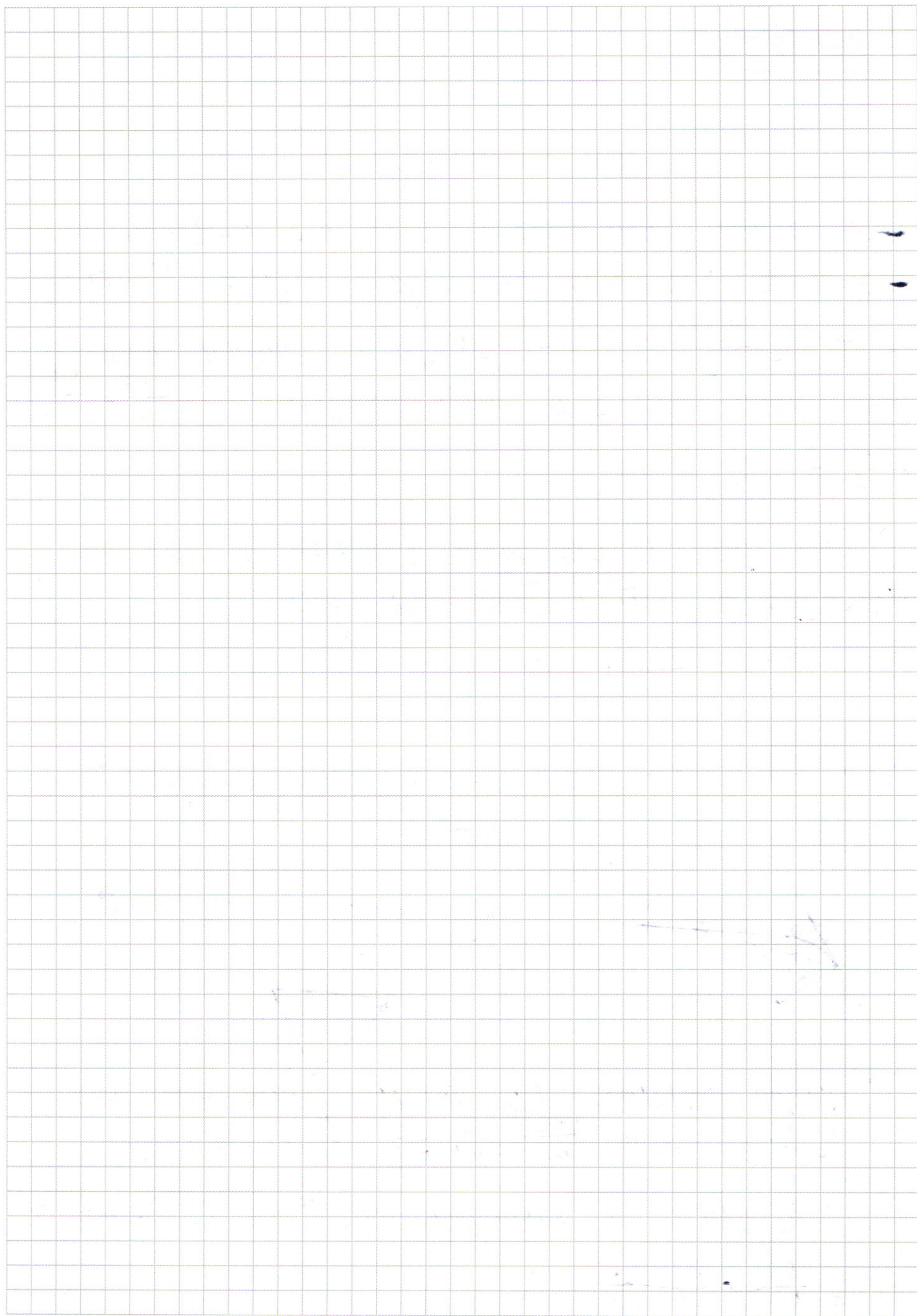
$V = 2 \text{ м/с}$; $m = 0,4 \text{ кг}$; $R = 1,9 \text{ м}$; $L = \frac{12}{15} R$; $\cos \alpha = \frac{4}{5}$; $\cos \beta = \frac{8}{17}$

1) u - ? 2) $u_{\text{отн}}$ - ? 3) T - ?



1) Проекции скорости на трос должны быть равны:
 $V \cos \alpha = u \cos \beta \Rightarrow u = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{17}{5} \text{ м/с} = 3,4 \text{ м/с}$

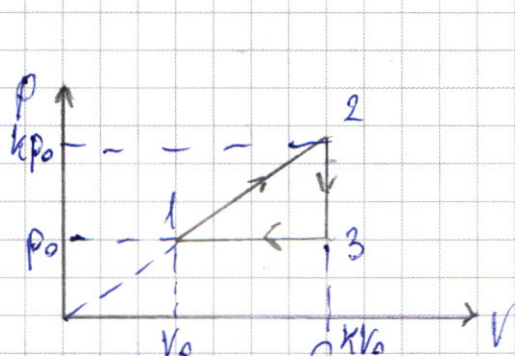
2) & 3. Н. для "m" на радиальную ось: $T \cos(90^\circ - \beta) = m \frac{u^2}{R} \Rightarrow$
 $\Rightarrow T = \frac{m u^2}{R \sin \beta} = \frac{0,4 \cdot 17^2 \cdot 17}{5^2 \cdot 19 \cdot 15}$



☐ черновик ☒ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 8
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\bar{i} = \frac{3}{2}$$

$$2-3) V = \text{const}; Q = \Delta U;$$

$$\frac{P}{T} = \text{const} \Rightarrow T \downarrow \downarrow$$

$$3-1) \frac{V}{T} = \text{const} \quad T \downarrow \downarrow$$

$$Q = C \Delta T \Rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}; \quad C = \frac{C}{2} = \frac{Q}{2 \Delta T} \Rightarrow Q = 2 C \Delta T$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}}; \quad 2-3) Q_{23} = \Delta U_{23} = C_{23} 2 \Delta T_{23} = \frac{3}{2} 2 R \Delta T_{23} \Rightarrow C_{23} = \frac{3}{2} R$$

$$Q = \frac{5}{2} 2 R \Delta T = C_{31} 2 \Delta T$$

$$\Delta U_{12} = A_{12} = \frac{1}{2} (P_0 + k P_0) (k V_0 - V_0) = \frac{P_0 V_0}{2} (k^2 - 1)$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} 2 R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} 2 R T_2 - \frac{3}{2} 2 R T_1 = \frac{3}{2} k^2 P_0 V_0 - \frac{3}{2} P_0 V_0 = \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)}{\frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)} = \frac{3}{2} \cdot 2 = 3$$

$$\eta = \frac{A_{123}}{Q_H}; \quad A_{123} = \frac{1}{2} (k V_0 - V_0) (k P_0 - P_0) = \frac{P_0 V_0}{2} (k - 1)^2$$

$$\begin{aligned} P_0 V_0 &= P_2 V_2 \\ \frac{P_0}{V_0} &= \frac{P_2}{V_2} \\ P_0 V_2 &= P_2 V_0 \end{aligned}$$

$$Q_H = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 3 A_{12} + A_{12} = 4 A_{12} = 2 P_0 V_0$$

$$A_{123} = \frac{1}{2} (P_2 - P_0) (V_2 - V_0) = \frac{1}{2} (P_0 V_2 - P_0 V_2 - P_2 V_0 + P_0 V_0)$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{23}|}{Q_H}; \quad Q_{23} = Q_{23} + Q_{31} = \frac{3}{2} 2 R (T_3 - T_2) + \frac{3}{2} 2 R (T_1 - T_3)$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{1}{2} (p_2 + p_0) (V_2 - V_0) =$$

$$= \frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_0 V_0 + \frac{1}{2} (p_2 V_2 + p_0 V_2 - p_2 V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_2 V_2 + \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_0 V_0 - \frac{1}{2} p_0 V_0 =$$

$$= 2 p_2 V_2 - 2 p_0 V_0 = 2 (p_2 V_2 - p_0 V_0) = 2 p_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$A_{123} = \frac{1}{2} (p_2 - p_0) (V_2 - V_0) = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_0 V_2 + p_0 V_0 - p_2 V_0) =$$

$$= \frac{1}{2} (k^2 p_0 V_0 - k p_0 V_0 + p_0 V_0 - k p_0 V_0) = \frac{1}{2} p_0 V_0 (k^2 - 2k + 1) = \frac{1}{2} (k-1)^2 p_0 V_0$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} p_0 V_0 (k-1)(k-1)}{2 p_0 V_0 (k-1)(k+1)} = \frac{k-1}{4(k+1)} ; k = \frac{p_2}{p_0}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = q_2 q$$

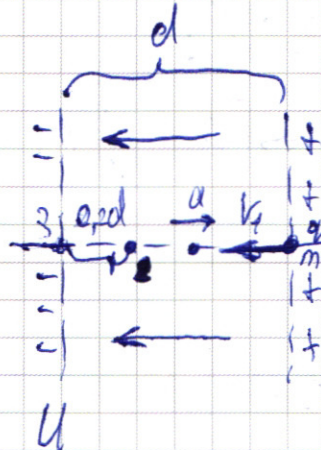
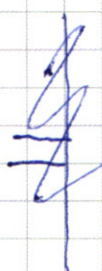
$$\frac{m v_1^2}{2} + q_1 q = q_2 q$$

$$A = (\phi_1 - \phi_2) = E \cdot d$$

$$q_2 = U + q_3 - q_1 + E d$$

$$\phi_1 - \phi_2 = E \cdot d$$

$$\phi_1 - \phi_3 = U \Rightarrow \phi_1 = U + \phi_3$$



$$F_{\text{эл}} = m a$$

$$E \cdot |q| = m a \Rightarrow \gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{q}{E}$$

$$q_2 =$$

$$q_1 d = \frac{0 - v_1^2}{-2a} \Rightarrow q_1 d = \frac{v_1^2}{2a} \Rightarrow a = \frac{v_1^2}{\frac{1}{2} d} = \frac{10 v_1^2}{16 d} = \frac{5 v_1^2}{8 d}$$

$$E = \frac{U}{d} \Rightarrow \gamma = \frac{\frac{5 v_1^2}{8 d}}{\frac{U}{d}} = \frac{5 v_1^2}{8 U} ; \phi_1 d = v_1 t_1 - \frac{a t_1^2}{2}$$

$$q_1 d = \frac{a t_1^2}{2}$$

$$0 = v_1 - a t_1 \Rightarrow v_1 = a t_1$$

$$q_1 d = \frac{a t_1^2}{2} ;$$

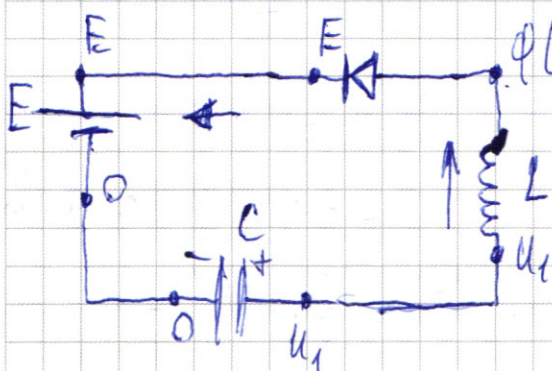
$$\frac{1}{t_1^2} = \frac{16 d}{a} = \frac{16 d \cdot 8 d}{5 v_1^2} ;$$

$$\frac{1}{t_1^2} = \frac{64}{50 v_1^2} ; t_1 = \frac{d}{v_1} \cdot \frac{8}{5}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = q_2 q ; \phi_2 = E(r) = -\phi'(r)$$

$$A_{31} = p_0 V_0 (k-1)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U_L = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_L}{L}$$

$$U_L = \frac{U_1 - E - U_0}{1} = 2B$$

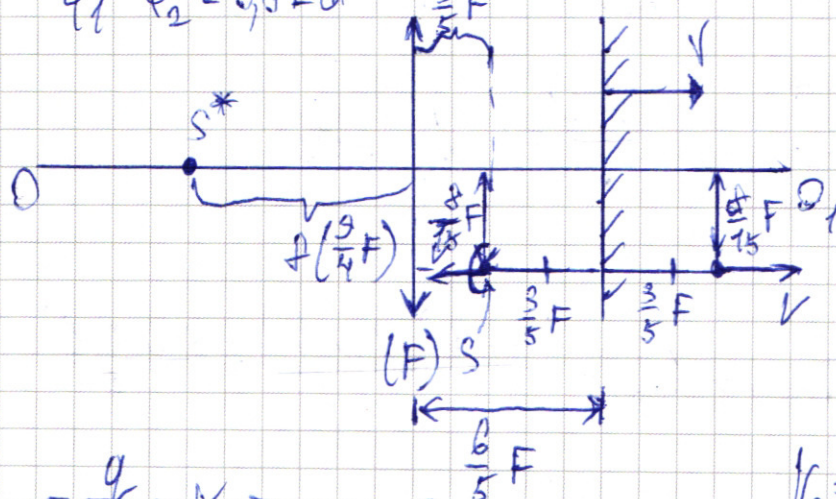
$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{2}{0,4} = \frac{20}{4} = 5 \frac{B}{Гн}$$

$$U_2 - E = U_0 < U_0$$



$$\cos(90^\circ - \alpha) = \frac{v_{\text{гор}}}{v} = \frac{m v_1}{m v_2}$$

$$\phi_1 - \phi_2 = q \cdot E d \Rightarrow \phi_2 = \phi_1 - q \cdot E d \quad \phi_2 = U - q \cdot E d$$



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

$$\frac{1}{F} = \frac{5}{9F} + \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{4}{9F}$$

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

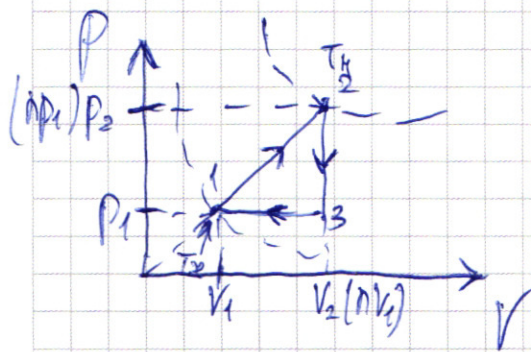
$$-\frac{q}{m} = \gamma \Rightarrow -\gamma = \frac{q}{m}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2(U - qEd)}{m} (1 - \gamma^2)}$$

$$v_0 = v_1 \sqrt{\frac{45(qEd - U)}{4 + U}}$$

$$-\gamma = -\frac{3}{5} - \frac{5v_1^2}{4U}$$

$$\frac{2+9-64}{2+9} = \left(\frac{15}{24}\right)^2$$



$$\eta = \frac{A_{123}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}$$

$$Q_H = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$$

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + np_1) (nV_1 - V_1) = \frac{p_1 V_1}{2} (n+1)(n-1)$$



$$U_2 - E = L I'(t)$$

$$U_2 = E + L I(t) = 6 + \frac{15}{2} \cdot \frac{4}{10} = 9 \text{ B}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (n+1)(n-1);$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \gamma R T_3 - \frac{3}{2} \gamma R T_2 = \frac{3}{2} np_1 V_1 - \frac{3}{2} n^2 p_1 V_1 = \frac{3}{2} p_1 V_1 n (1-n)$$

$$Q_{231} = U_1 - U_2 + A_{231} = \frac{3}{2} p_1 V_1 - \frac{3}{2} n^2 p_1 V_1 + p_1 (V_1 - nV_1) =$$

$$= \frac{3}{2} p_1 V_1 (1-n^2) + p_1 V_1 (1-n) = - \left(\frac{3}{2} p_1 V_1 (n^2-1) + p_1 V_1 (n-1) \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{231}|}{Q_{12}} = 1 - \frac{p_1 V_1 \left(\frac{3}{2} (n^2-1) + (n-1) \right)}{\frac{1}{2} p_1 V_1 (n-1)(n+1)} = 1 - \frac{3(n-1)(n+1) + 2(n-1)}{(n-1)(n+1)} =$$

$$= 1 - \frac{3n+3+2}{n+1} = 1 - \frac{3n+5}{n+1} = \frac{n+1-3n-5}{n+1} = \frac{-2n-4}{n+1} =$$

$$\eta = 1 - \frac{T_X}{T_H}; \quad p_1 V_1 n^2 = \gamma R T_H; \quad p_1 V_1 = \gamma R T_X; \quad \frac{A_{123}}{Q_H} \Rightarrow A_{123} = Q_H$$

$$\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}}; \quad Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = A_{1231} = \frac{(np_1 - p_1)(nV_1 - V_1)}{2} = \frac{p_1 V_1 (n-1)^2}{2}$$

$$Q_{12} = 4A_{12}; \quad A_{12} = A_{123} - A_{31} = \frac{p_1 V_1 (n-1)^2}{2} - p_1 V_1 (n-1)$$

$$\eta = \frac{0.5 p_1 V_1 (n-1)^2}{2 p_1 V_1 (n-1)^2 - 4 p_1 V_1 (n-1)} = \frac{0.5(n-1)(n-1)}{2(n-1)^2 - 4(n-1)} = \frac{0.5(n-1)}{2n-2-4} = \frac{0.5(n-1)}{2(n-3)}$$