

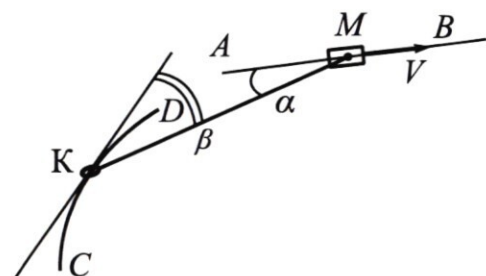
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-03

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

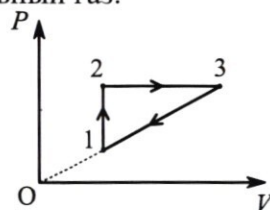
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити 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 повышение температуры газа.
- 2) Найти в изобарном процессе отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



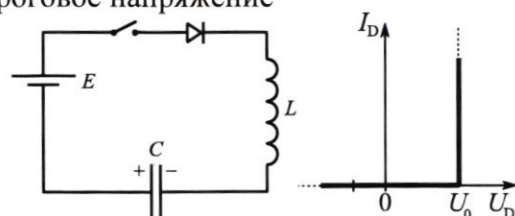
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица 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.

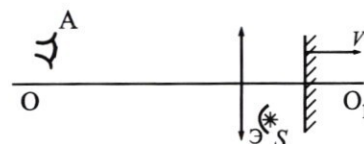
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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 $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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

2) Пусть $V_1 = V$, $p_1 = p$, $T_1 = T$, $V_3 = kV$

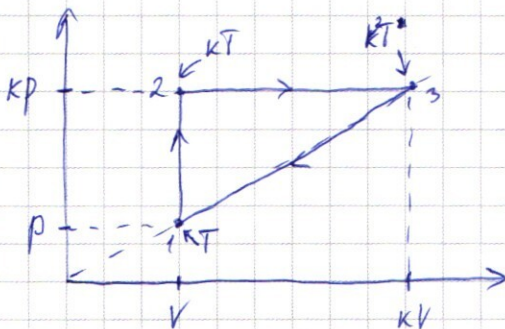
В силу пропорции процесса 1-3 $p_3 = kp$

Уравнения Менделеева-Клапейрона:

сост. 1: $pV = \nu RT$

2: $kpV = \nu RT_2 \Rightarrow T_2 = kT$

3: $kp kV = \nu RT_3 \Rightarrow T_3 = k^2 T$



p_i, V_i, T_i - характ-ки газа
в i -том сост.

$A_{ij}, \Delta U_{ij}, Q_{ij}$ - работа, изм. вк.
энергии и полу-
чено в пр-се $i-j$

1) Температура повышалась на уг-ках 1-2 и 2-3

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

← работа как площадь под графиком

$$c_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu(T_3 - T_2)} = \frac{\Delta U_{23} + A_{23}}{\nu(T_3 - T_2)} = \frac{\frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) + kp(kV - V)}{\nu(T_3 - T_2)} = \frac{3}{2}R + \frac{pV \cdot k(k-1)}{\frac{k^2 pV}{R} - \frac{kpV}{R}} = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

$$\frac{c_{23}}{c_{12}} = \frac{5}{3}$$

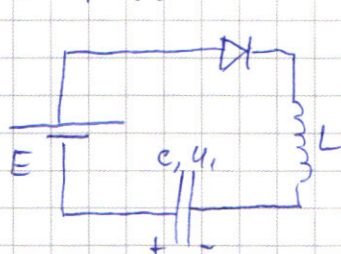
$$2) \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2)}{kp(kV - V)} = \frac{\frac{3}{2}\nu RT(k^2 - k)}{(k^2 - k)pV} = \frac{3}{2}$$

Ответ: 1) $\frac{c_{23}}{c_{12}} = \frac{5}{3}$

$$2) \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$$

$$3) \eta = \frac{A_{1231}}{Q_{12} + Q_{23}} = \frac{A_{1231}}{\Delta U_{12} + \Delta U_{23} + A_{23}} = \frac{(kp - p)(kV - V)/2}{\Delta U_{12} + \Delta U_{23} + A_{23}} = \frac{pV(k-1)^2/2}{pV(k^2 - 1) + pV(k^2 - k)} = \frac{pV(k-1)^2/2}{pV(k^2 - 1) + pV(k^2 - k)}$$

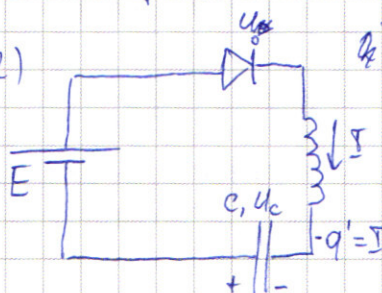
④ 1) Сразу после замыкания тока в цепи нет $\Rightarrow U_0 = 0$



$$E - L I'(0) = -U_1$$

$$I'(0) = \frac{E + U_1}{L} = 80 \frac{A}{c}$$

2)



В промежуток времени (пока ток течет через диод)

$$E - L I' = U_0 - U_c$$

$$E - U_0 = -L q'' - \frac{q}{c}$$

$$q'' + \frac{q}{LC} = \frac{U_0 - E}{L}, \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$q = c(U_0 - E) + A \cos(\omega t + \varphi_0), I = -q' = A \omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$q(0) = \cancel{c}^2 c U_1 = A \cos \varphi_0 + c(U_0 - E)$$

$$I(0) = 0 \Rightarrow \varphi_0 = 0 \Rightarrow A = c(U_1 - U_0 + E)$$

$$I = c(U_1 - U_0 + E) \omega \sin \omega t$$

$$I_0 = c \omega (U_1 - U_0 + E) = (E + U_1 - U_0) \sqrt{\frac{c}{L}} = 140 \mu A$$

3) После закрытия диода в цепи энергия будет теряться в виде тепла на диоде. После того, как ток в цепи перестанет течь (уст. сост.), $U_0 = 0, I = 0, I' = 0$

$$E = E - U_{co}$$

$$U_{co} = -E = -2B \left(\begin{array}{c} E \\ - \\ + \end{array} \right)$$

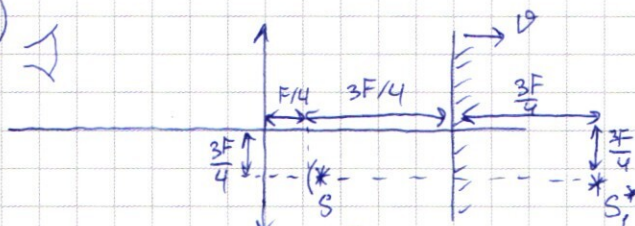
Ответ: 1) $I'(0) = 80 \frac{A}{c} = \frac{E + U_1}{L}$

2) $I_0 = 140 \mu A = (E + U_1 - U_0) \sqrt{\frac{c}{L}}$

3) $U_{co} = E = 2B \left(\begin{array}{c} - \\ + \end{array} \right)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5

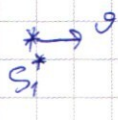
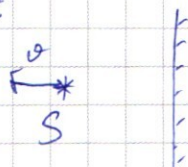


Изображение S_1^* является действительным предметом для линзы, находится от неё на расстоянии $d_1 = \frac{F}{4} + \frac{3F}{4} + \frac{3F}{4} = \frac{7F}{4}$

По формуле Гюйгенса тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_1}$

$$f_1 = \frac{7F}{3} \quad \Gamma = \frac{f_1}{d_1} = \frac{4}{3}$$

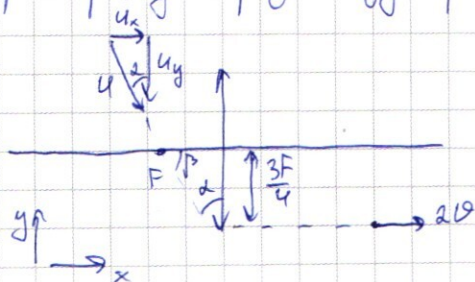
В СО ЗЕРКАЛА:



В СО ЗЕМЛИ:

$$S_1^* \rightarrow v + v = 2v$$

При переходе через линзу скорости изображения на глав. опт. ось увелич-ся в Γ^2



и-си, удар

$$u_x = \Gamma^2 2v = \frac{32}{9} v$$

$$\tan \alpha = \frac{u_x}{u_y} = \frac{F}{\frac{3F}{4}} = \frac{4}{3} \Rightarrow u_x = \frac{4}{3} u_y \quad \tan \beta = \frac{3}{4}$$

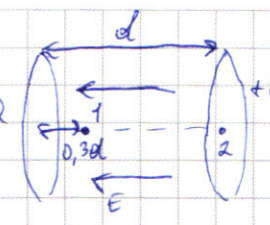
$$u_y = \frac{3}{4} u_x = \frac{8v}{3}$$

Ответ: 1) $f_1 = \frac{7F}{3}$

2) $\tan \beta = \frac{3}{4}$

3) $u = \frac{40}{9} v$

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \frac{40}{9} v$$

3)  1) $\varphi_1 - \varphi_2 = -Ed = -\frac{Q}{\epsilon_0 S} d$ — разн-ть потенц. между т. 1 и 2

ЗСЭ: $q\varphi_1 = q\varphi_2 + \frac{mv_1^2}{2}$

$q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv_1^2}{2}$

$-0,7qEd = \frac{mv_1^2}{2}$

IIЗН:

$E|q| = ma = \gamma a = E_f$

движение по
середине
прост. между
пл.

$E = \frac{mv_1^2}{1,4|q|d} = \frac{v_1^2}{1,4jd} = \frac{Q}{jd} \Rightarrow a = \frac{v_1^2}{1,4d}$

$\frac{v_1^2}{2} d = \frac{aT^2}{2} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{2,4d}{a}} = \sqrt{\frac{0,56d^2}{v_1^2}} \approx \frac{d}{v_1} \cdot 0,24$

2) $\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{0,7Qd}{\epsilon_0 S} = \frac{mv_1^2}{2q} \Rightarrow Q = \frac{mv_1^2}{2|q|} \cdot \frac{\epsilon_0 S}{0,7d} = \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{2j0,7d} = \frac{5v_1^2 \epsilon_0 S}{7jd}$

3) При движ. вдоль нити заряд не меняется, $v_2 = v_1$

ЗСЭ: $q\varphi_1 = \frac{mv_1^2}{2}$

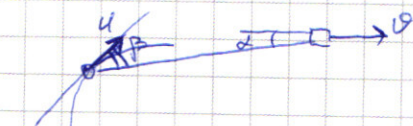
Снаружи конденс. поля нет $\Rightarrow$ энергия заряда не изменяется, $v_2 = v_1$

Ответ: 1) $T \approx 0,24 \frac{d}{v_1}$

2) $Q = \frac{5}{7} \frac{v_1^2 \epsilon_0 S}{jd}$

3) $v_2 = v_1$

1) Пусть u — скорость ^{кабеля} ~~троса~~. Плен движется вдоль направляющих $\Rightarrow$ их скорости также вдоль направляющих. П.к. нить натянута и не растягивается: $v \cos \alpha = u \cos \beta \Rightarrow u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{25}{17} v = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

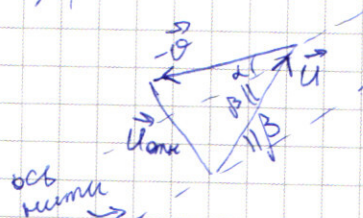


По 3-му слою скор.: $\vec{u} = \vec{v} + \vec{u}_{\text{отн}}$

$\vec{u}_{\text{отн}} = \vec{u} - \vec{v}$, П.к. $v \cos \alpha = u \cos \beta$ $\vec{u}_{\text{отн}} \perp$ нити

По теореме кос.:

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



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$U_{\text{откл}} = 19 \sqrt{1 + \left(\frac{25}{17}\right)^2 - \frac{50}{17} \left(\frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5}\right)} = \frac{280}{17} = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

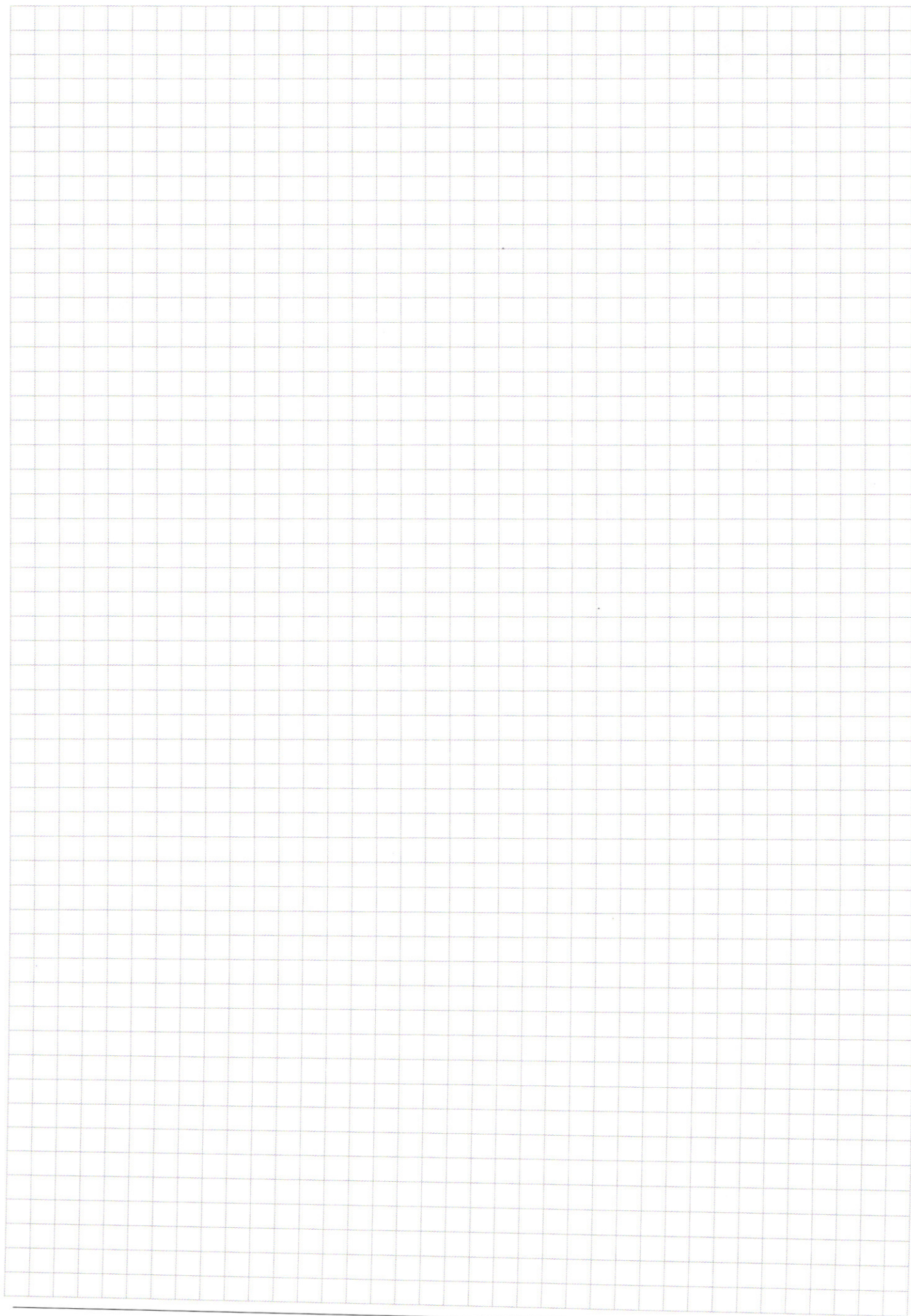
Пл. к. $\vec{U}_{\text{откл}} \perp$ нити, в данный момент кольцо в СО нудоты движется по окр-ти радиуса $l = \frac{5R}{4}$

$$\text{ПЗН: } T = \frac{m U_{\text{откл}}^2}{2} \approx 0,1345 \text{ Н}$$

$$\text{Ответ: 1) } U = \frac{25}{17} 19 = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$2) U_{\text{откл}} = \frac{280}{17} = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$3) T = \frac{m U_{\text{откл}}^2}{2} \approx 0,1345 \text{ Н}$$

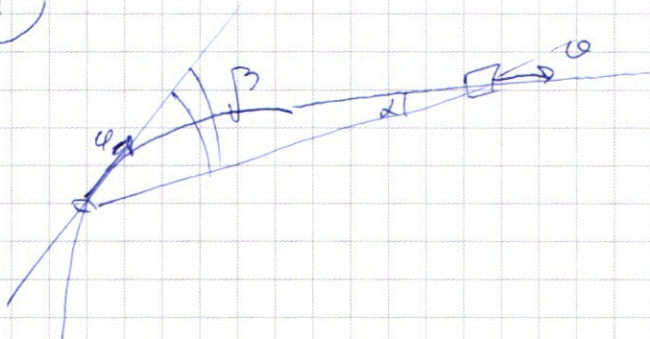


☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1



Пусть u — скорость кабеля ^{проекции}
1) Длина нити постоянна $\Rightarrow$ скорости кабеля и муфты кя ось,
на паралл. нити, равны. Тогда $\vec{v}$ вдоль ст-ней $\Rightarrow$ их скорости каска
вдоль ст-ней

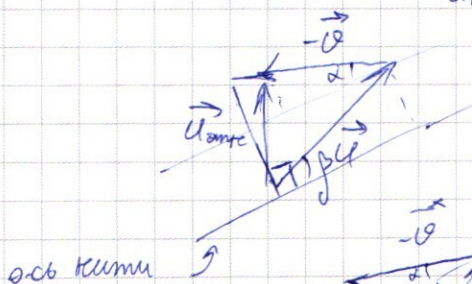
$$v \cos \alpha = u \cos \beta \quad u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{3} v = \frac{25}{17} v$$

$$\sin \alpha = \frac{8}{17}$$

2) По закону слож. скор: $\vec{u} = \vec{v} + \vec{u}_{\text{отн}}$

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

П.к. $v \cos \alpha = u \cos \beta$ $\vec{u}_{\text{отн}} \perp$ оси нити



По теореме косинусов:

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

$$u_{\text{отн}} = \sqrt{v^2 + \left(\frac{25}{17}\right)^2 v^2 - 2v \cdot \frac{25}{17} v \cos\left(\frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5}\right)}$$

$$u_{\text{отн}} = v \sqrt{1 + \frac{25^2}{17^2} - \frac{2 \cdot 25 \cdot 2}{17^2} \left(\frac{15 \cdot 3}{8} - \frac{32}{17 \cdot 5}\right)}$$

$$u_{\text{отн}} = v \sqrt{1 + \frac{625}{17^2} - \frac{25 \cdot 2 \cdot 13}{17^2 \cdot 5} \left(9 - \frac{32}{5}\right)}$$

$$\sqrt{1 + \frac{25^2}{17^2} - \frac{25 \cdot 2 \cdot 13}{17^2 \cdot 5} \cdot 9 - 6,4} = 2,6$$

$$\sqrt{1 + \frac{25^2}{17^2} - 100} = 0$$

$$\sqrt{\frac{495}{17^2} + 1} = \sqrt{\frac{28^2}{17^2}} = \frac{28}{17} v = 56$$

$$\frac{495}{17^2} = \frac{34}{155}$$

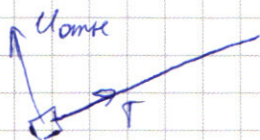
$$495 + 289 = 784$$

$$\frac{28^2}{17^2} = 1 +$$

$$56^2 = 34^2 + 50^2 - 50 \cdot 34$$

$$\frac{28}{28} = \frac{224}{56} = \frac{784}{155}$$

В СО нить калача движется по окр-ке радиуса $l = \frac{5R}{4}$ со скоростью $U_{\text{отн}}$, т.к. отн. скорость всегда перпенд. нити (в силу постоянства натяжения нити)



23R: ~~Т = m \cdot \frac{U_{\text{отн}}^2}{l}~~, где $U_{\text{отн}}$ — отн. скорость в фикс. казенн

$$T = m \frac{U_{\text{отн}}^2}{l} = \frac{28^2 \cdot 0^2 \cdot m \cdot 4}{17 \cdot 5R} = 0,3 \frac{56^2 \cdot 4}{0,53 \cdot 5}$$

$$T = m \frac{U_{\text{отн}}^2}{l} \quad 56$$

$$0,3 \cdot 56^2 \cdot \frac{4}{5} \cdot 0,53$$

$$100 \cdot 56 \cdot \frac{4}{5} \cdot 0,93$$

$$T \sin \theta = \frac{m U^2}{R} \quad \frac{25}{17}$$

$$100 \cdot 0,3 \cdot \frac{4}{5} \cdot 56$$

$$24 \cdot 56$$

$$\approx 0,1345H$$

2

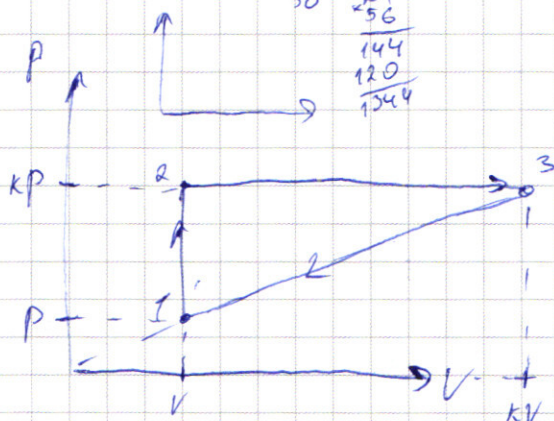


Рис. 13

Пусть $V_1 = V, V_3 = kV,$
 $P_1 = P, P_3 = kp$

Тогда в силу пропорции пр-сса 1-3
Ур-е. $pV = \nu RT$ 1сост.

$$kpV = \nu RT_3 \quad T_3 = k^2 T$$

$$kpV = \nu RT_1 \quad T_1 = T$$

$$P_3 = kp$$

Реш: Температура повысилась на уг-ках 1-2 и 2-3.

$$2k^2 - k - 1 - 3k + 3$$

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

$$U_{12} = \dots$$

$$T_{23} = \frac{Q_{23}}{T_3 - T_2} = \frac{3}{2} R +$$

$$\frac{2(k^2 - 1)^2}{k^2 - 1 + k^2 - k} = \frac{2k^2 - 4k + 2}{2k^2 - k - 1}$$

$$= 1 + \frac{-3k + 3}{2k^2 - k - 1}$$

$$= 1 - \frac{3k - 3}{2k^2 - k - 1}$$

$$\left(\frac{3k - 3}{2k^2 - k - 1} \right)' = \frac{6k^2 - 3k - 3 - (3k - 3)(4k - 1)}{(2k^2 - k - 1)^2} = 0$$

$$6k^2 - 12k^2 - 3k - 3 + 12k + 3k - 3$$

$$-6k^2 + 12k - 6$$

$$-k^2 + 2k - 1 = 0$$

$$k = 1$$

$$2(2k + 1) - 2(2k + 2)$$

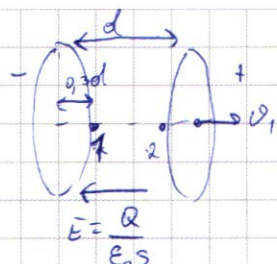
$$4k + 2 - 4k$$

$$\eta = \frac{A_{23} + A_{31}}{\Delta U_{12} + \frac{3}{2} A_{23}}$$

$$1 - \frac{3}{2k + 1}$$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\text{ЗСЭ: } +\frac{kQq}{0,3d} - \frac{kQq}{0,7d} = -\frac{kq^2}{d} + \frac{m\varphi_1^2}{2} \quad (3)$$

$$\frac{70}{21} - \frac{30}{21} = \frac{40}{21} = \frac{61}{21}$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \frac{Qq,7d}{\epsilon_0 S}$$

$$k\varphi_1(-q) + 0 = \varphi_2(-q) + \frac{m\varphi_1^2}{2}$$

$$\boxed{\varphi_2 - \varphi_1} = \frac{m\varphi_1^2}{2q} = \frac{\varphi_1^2}{2f}$$

$$q(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{m\varphi_1^2}{2}$$

$$\frac{Qq,7d}{\epsilon_0 S} = \frac{m\varphi_1^2}{2}$$

$$\frac{Qq}{\epsilon_0 S} = \frac{m\varphi_1^2}{1,4d}$$

$$Q = \frac{2d}{\epsilon_0 S} E$$

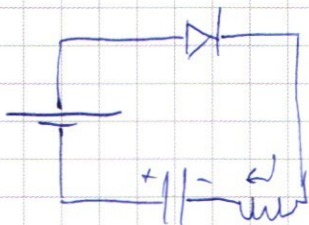
$$\frac{\varphi_1^2}{2f} =$$

$$F = \frac{Qq}{\epsilon_0 S} = ma$$

$$0,2d = \frac{Qq}{m\epsilon_0 S} T^2 = \frac{\varphi_1^2}{1,4d} \frac{T^2}{2} = 0,2d$$

$$\varphi_1 T = \sqrt{0,56} d$$

(4)



Плюс нет $\Rightarrow U_0 = 0$

$$k\frac{q}{4}$$

$$E = L\dot{I}' - U_c$$

$$E = L\dot{I}' - U_c$$

$$\dot{I}' = \frac{E + U_c}{L} = 80 \frac{A}{c}$$

$$\frac{2kq}{2k+1}$$

$$I = q' =$$

$$E = L\dot{I}' + U_0 - U_c$$

$$E = L\dot{q}'' + U_0 - \frac{q}{c}$$

$$L\dot{q}'' + \frac{q}{c} = U_0 - E$$

$$\omega^2 q_0$$

$$\frac{q_0}{LC} = U_0 - E$$

$$q_0 = LC(U_0 - E)$$

$$(q - q_0) + q'' = 0$$

$$q =$$

$$\frac{q_0}{c} - U_0 + E = \frac{q_0 - c(U_0 - E)}{c}$$

$$q =$$

$$cU_r = -c(E - U_0) + A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$q = +c(U_0 - E) + A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\dot{I} = A \omega \sin(\omega t + \varphi_0) = I_0 = 3500$$

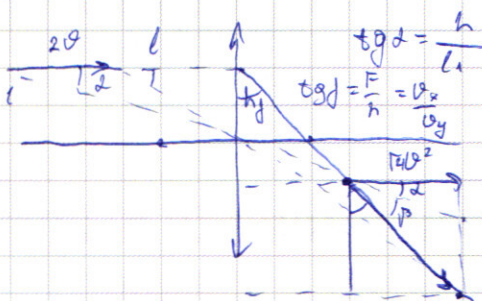
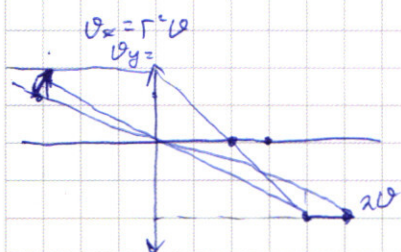
$$A = c(U_0 + E - U_0) =$$

$$q(0) = cU_0$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$= 7B$$

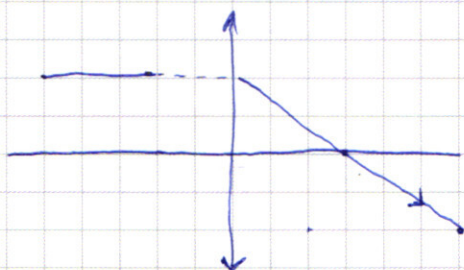
$$\frac{1}{\sqrt{2}} 2 \cdot 10^{-2} \approx 500$$



$$\tan \beta = \frac{h}{l_2}$$

$$\alpha + \beta = \frac{h l_1 + h l_2}{l_1 l_2}$$

$$v_y = \Gamma \omega^2 \cdot (\alpha + \beta)$$



$$m^2 \omega^2$$

$$\frac{H}{K \Lambda^2} \frac{M^2}{K \Lambda^2}$$

$$\frac{K \Lambda^2}{H \cdot \Lambda^2} \cdot \frac{H^2}{c^2} \cdot \frac{H^2}{K \Lambda^2} \frac{M^2}{H}$$

$$\sqrt{32^2 + 24^2} = 40$$

$$32^2 = 1024$$

$$24^2 = 576$$