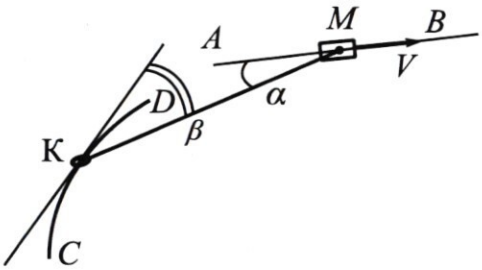
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 11

Вариант 11-01

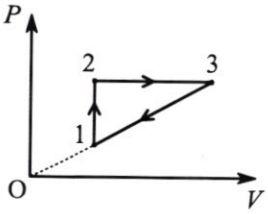
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без в.

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0{,}1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1{,}9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол $\alpha(\cos\alpha = 15/17)$ с направлением движения муфты и угол $\beta(\cos\beta = 4/5)$ 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.



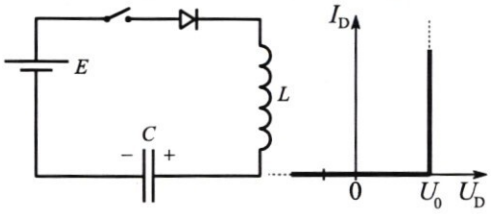
1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило повышение температуры газа.
2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S, расстояние между обкладками d $\left(d << \sqrt{S}\right)$. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0{,}25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

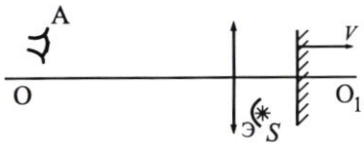
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ 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.

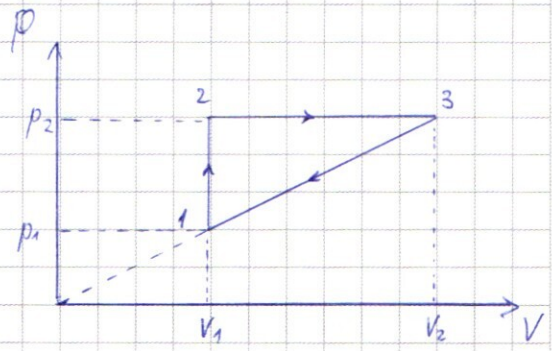
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F, плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1. В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F 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.



1) Т.к. процесс 1→2 изохорный при увеличивающемся p, то T газа растёт и мол. теплоёмкость $C_{12} = \frac{3}{2}R$.

Т.к. процесс 2→3 изобарный при увеличивающемся V, то T газа также растёт и $C_{23} = \frac{5}{2}R$. В процессе 3→1 T газа уменьшается. Поэтому имеем $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$ - ответ.

2) $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$, где

$A_{23} = p_2(V_2 - V_1)$ и $\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}(\nu R T_3 - \nu R T_2)$

~~По ур-~~ Из ур-я Менделеева-Клапейрона: $\nu R T_2 = p_2 V_1$ и $\nu R T_3 = p_2 V_2$. Тогда $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} p_2 (V_2 - V_1)$.

Получаем, что $Q_{23} = p_2(V_2 - V_1) + \frac{3}{2} p_2 (V_2 - V_1) = \frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1)$.

Искомое отношение: $\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$ - ответ.

3) $\eta = \frac{A}{Q_н} = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_н}$

$\frac{p_2}{V_2} = \frac{p_1}{V_1}$ - из графика

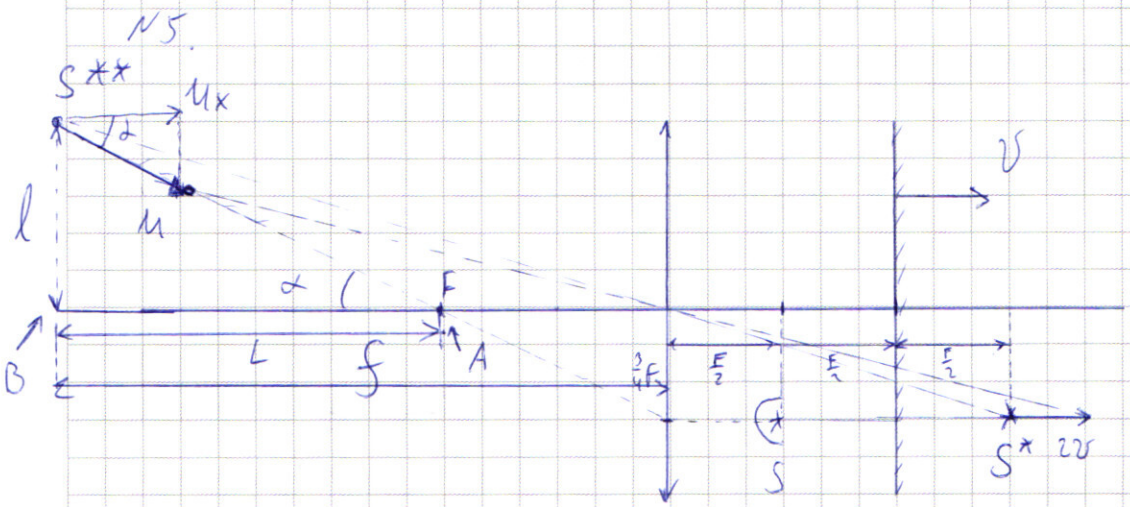
$A = S_{тр} = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$

$Q_н = Q_{12} + Q_{23} = \frac{5}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 - p_2 V_1$

$|Q_x| = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1)$

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$ 2) $\frac{5}{2}$.

№5.



1) S^* - изображение S в зеркале, является предметом для линзы и находится на расстоянии $d = \frac{3F}{2}$ от неё. Тогда по формуле тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \underline{f = 3F}$ - ответ.

2) Перейдём в с.о. линзы: в ней S движется со скоростью v влево, тогда S^* движется с такой же скоростью вправо. Но относительно земли скорость S^* тогда будет равна $2v$ и направлена вправо. Изобразим вектор $2v$ в линзе (см. рисунок). Угол α - искомый (см. рисунок). Из тр-ика ABS^{**}: $tg\alpha = \frac{l}{L}$, где $L = f - F = 2F$ и $l = \frac{3}{4}F \cdot \Gamma$, при этом, $\Gamma = \frac{f}{d} = 2$. Тогда $l = \frac{3}{4}F \cdot 2 = \frac{3}{2}F$. Получаем, что $\underline{tg\alpha = \frac{\frac{3}{2}F}{2F} = \frac{3}{4}}$ - ответ.

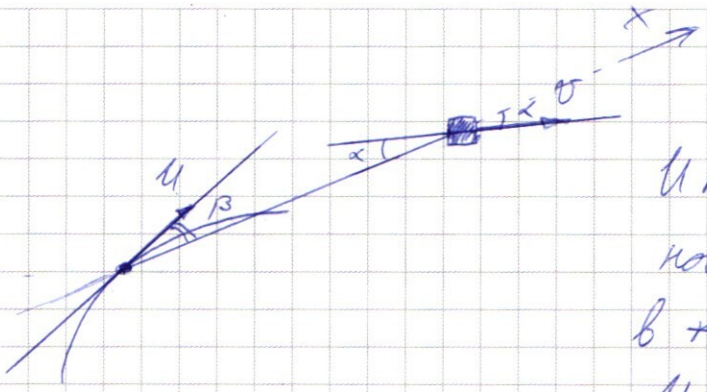
3) Горизонтальная составляющая скорости u - u_x равна $u_x = \Gamma^2 \cdot 2v = 8v$. Полная скорость $u = \frac{u_x}{\cos\alpha}$, где $\cos\alpha = \frac{L}{\sqrt{l^2+L^2}} = \frac{4}{5}$. Получаем, что $\underline{u = \frac{5}{4} \cdot 8v = 10v}$ - ответ.

Ответ: 1) $3F$ 2) $tg\alpha = \frac{3}{4}$ 3) $10v$.

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.



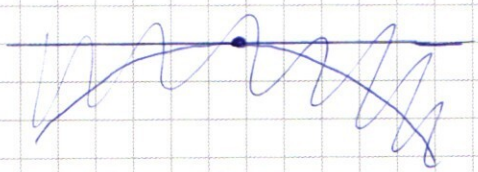
1) Скорость кольца u направлена по касательной к окр-ти. Тогда в ~~порс~~ проекции на Ox:

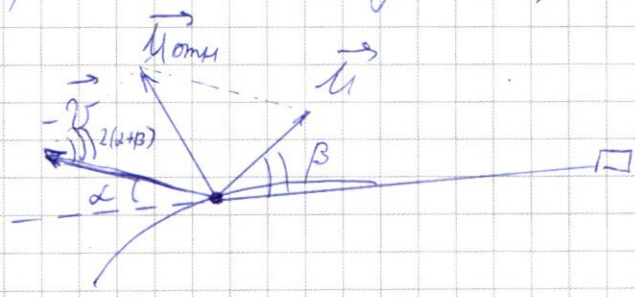
$u\cos\beta = v\cos\alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow u = \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} v = \frac{15}{17}\cdot\frac{5}{4}\cdot 68 \frac{см}{с} =$

$= 75 \frac{см}{с}$ - ответ.

2) Перейдём в с.о. муфты, тогда $u_{отн}$ - искомая относительная скорость будет складываться из вектора $\vec{u}$ и вектора $-\vec{v}$. Получаем, что





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

Ответ: 1) $75 \frac{см}{с}$.

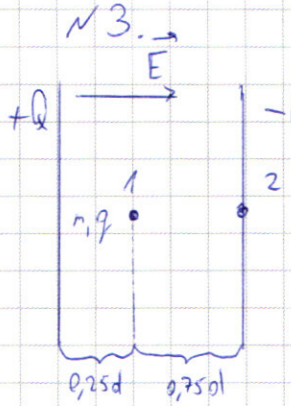
№4 (Вопрос 2)

По закону сохранения энергии: $\frac{CU_1^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{CU_1^2}{L}} = 0{,}1 A.$

Ответ: 2) 0,1 A.

№3.



1) Пусть E – напряженность поля внутри конденсатора, $\Delta\varphi$ – разность потенциалов между точками 1 и 2.

2) По 2-ому закону Ньютона:

$$ma = F_э = q \cdot E \Rightarrow \underline{a = \frac{qE}{m}}.$$

3) Движение происходит с постоянным ускорением, тогда $v_1 = v_0 + aT = aT = \frac{qET}{m} = \gamma ET$. Отсюда $E = \frac{v_1}{\gamma T}$.

4) По закону об изменении энергии:

$A_э = \Delta E_k$, где $\Delta E_k = \frac{mv_1^2}{2} - 0$ и $A_э = \Delta\varphi \cdot q = \overbrace{0{,}75E \cdot d \cdot q}^{\Delta\varphi}$.

Получаем, что $0{,}75E \cdot d \cdot q = \frac{mv_1^2}{2}$. Подставим вместо E выражение из пункта 3: $0{,}75 \cdot \frac{v_1}{\gamma T} \cdot d \cdot q = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow$

$\frac{q}{m}$ заменяем на γ!

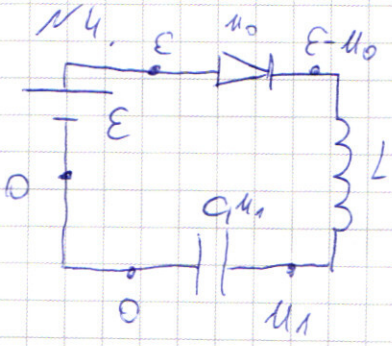
$\Rightarrow \underline{v_1 = \frac{3d}{2T}}$ – ответ.

5) $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$, где σ – поверхностная плотность заряда, т.е. $E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} \Rightarrow Q = E\varepsilon_0 S = \frac{v_1}{\gamma T} \cdot \varepsilon_0 S =$

$= \underline{\frac{3d\varepsilon_0 S}{2\gamma T^2}}$ – ответ.

Ответ: 1) $v_1 = \frac{3d}{2T}$; 2) $Q = \frac{3d\varepsilon_0 S}{2\gamma T^2}$.

№4.



1) Воспользуемся методом потенциалов, расставим их на схеме. Тогда напряжение на катушке, т.е. ЭДС индукции равно $\varepsilon_i = \varepsilon - U_0 - U_1$.

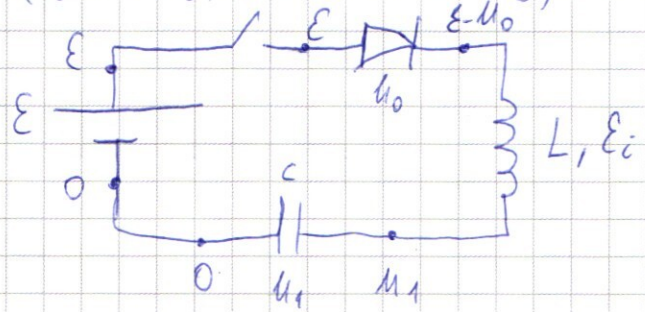
2) Из закона Фарадея: $\varepsilon_i = L \cdot I' \Rightarrow \underline{I' = \frac{\varepsilon_i}{L} = \frac{\varepsilon - U_0 - U_1}{L} = 30\frac{A}{c}}$ – ответ.

Ответ: 1) $30\frac{A}{c}$.

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~Для $Q_{31} = C_{31}\nu(T_1 - T_3)$~~



1) $\mathcal{E}_i = \mathcal{E} - U_0 - U_1$

$\mathcal{E}_i = L \cdot I' \Rightarrow I' = \frac{\mathcal{E}_i}{L} = \frac{\mathcal{E} - U_0 - U_1}{L} =$

$= \frac{9 - 1 - 5}{0{,}1} = 30 \frac{A}{c}.$

2) Если $I = I_{max}$, то $I' = (I_{max})' = 0$, т.е. $\mathcal{E}_i = 0$.

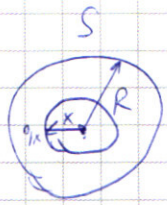
$\cos(2\alpha + 2\beta) =$ ~~$\cos 2\alpha$~~ $\cos 2\alpha \cdot \cos 2\beta - \sin 2\alpha \cdot \sin 2\beta$

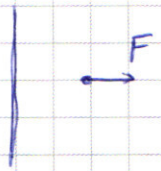
$10^{-\frac{4}{2}} = 10^{-2}$ $\quad \frac{CU_1^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} \Rightarrow I_{max} = \sqrt{\frac{CU_1^2}{L}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot 25}{0{,}1}} =$

$= 10\sqrt{10 \cdot 10^{-5}} = 10^1 \cdot 10^{-2} = 10^{-1} = 0{,}1\ A.$

$2\cos^2(\alpha + \beta) - 1$

$\varphi = k\frac{q}{x}$





$2\frac{3}{4} = \frac{1}{2}$

$A = \Delta\varphi \cdot q$ $\quad 2\frac{3}{4}\cdot 2$

$\Delta\varphi = E\cdot d$

$E = \frac{\Delta\varphi}{0{,}75d}$

$ma = F = q\cdot E$

$A_F = \frac{mv^2}{2}$

$a = \frac{qE}{m}$

$v = at = \frac{qE}{m}\cdot T = \gamma E T$

$E = \frac{v}{\gamma T}$

$0{,}75d = \frac{v^2}{2a}$

$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} \Rightarrow Q = E\varepsilon_0 S = \frac{v}{\gamma T}\varepsilon_0 S =$

$= \frac{3}{2}\cdot\frac{d}{\gamma^2 T}\cdot\frac{\varepsilon_0 S}{\gamma T}$

$ma = F = qE \Rightarrow a = \frac{qE}{m} = \gamma E$

$v = v_0 + at = aT = \gamma E T \Rightarrow$

$\Rightarrow E = \frac{v}{\gamma T} =$

$= \frac{3d}{2T}\cdot\frac{1}{\gamma T} = \frac{3d}{2\gamma T^2}$

$Q = E\cdot\varepsilon_0 S = \frac{3d\varepsilon_0 S}{2\gamma T^2}$

$\Delta\varphi\cdot q = \frac{mv^2}{2}$

$0{,}75dEq = \frac{mv^2}{2}$

$0{,}75d\cdot\frac{v}{\gamma T} = \frac{m}{q}\cdot\frac{v^2}{2}$

$\frac{0{,}75d}{\gamma T} = 0{,}5\gamma v$

$v = \frac{3}{2}\frac{d}{T}$

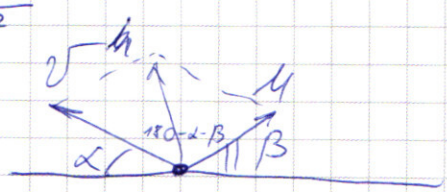
$A = \frac{mv^2}{2} = \Delta\varphi\cdot q$

$\frac{mv^2}{2} = 0{,}75dEq$

$mv^2 = \frac{3}{2}dq\cdot\frac{v}{\gamma T}$

$v^2 = \frac{3}{2}d\cdot\frac{v}{\gamma T}$

$v = \frac{3d}{2T}$



$\frac{75\cdot 68}{4\cdot 17} = 75$

$360 - 2(180-\alpha-\beta) =$

$= 360 - 360 + 2(\alpha+\beta)$

$\cos 2(\alpha+\beta) = 2\cos^2(\alpha+\beta) - 1 =$

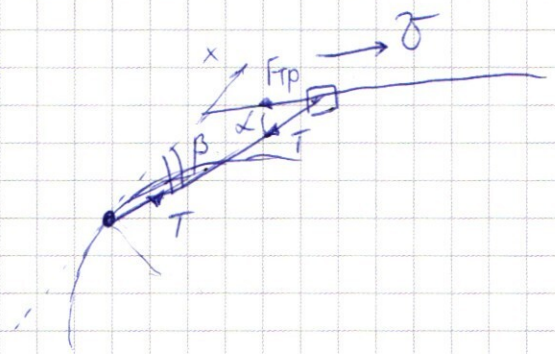
$= \cos(2\alpha + 2\beta) = -$

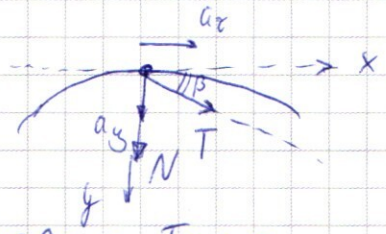
☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.





$\cancel{0 = F_{тр} - T\cos\alpha}$

$\cancel{0 = \mu}$

$ma_\tau = T\cos\beta$

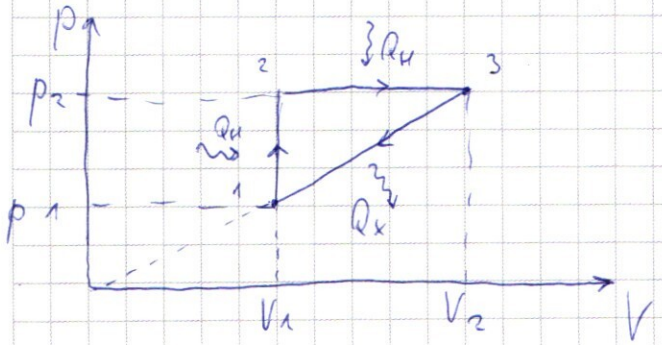
$ma_y = T\sin\beta + N$

$m\frac{v_x^2}{R} = T\sin\beta + N$

$m\frac{\Delta v_x}{\Delta t} = T\cos\beta$

$m\frac{\Delta v_y}{\Delta t} = T\sin\beta + N$

№2.



1) Повышение T:

$1 \to 2$ и $2 \to 3$.

$C_{12} = \frac{3}{2}R$; $C_{23} = \frac{5}{2}R$

$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$

2) $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$

$A_{23} = \cancel{(V_2 - V_1)p_2}\ p_2(V_2 - V_1)$

$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}(\nu RT_3 - \nu RT_2) = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_2V_1) =$

$= \frac{3}{2}p_2(V_2 - V_1)$

$Q_{23} = p_2(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}p_2(V_2 - V_1) = \frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1)$

$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1)}{p_2(V_2 - V_1)} = \frac{5}{2}$

3) $\cancel{\eta_{max} = 1 - \frac{T_x}{T_н}}$ $\eta = \frac{A}{Q_н}$

$\cancel{A = A_{12} + A_{23} + A_{31}}$

$A = S_{тр} = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_2 + p_1V_1 - p_1V_2 - p_2V_1) =$

$Q_н = Q_{12} + Q_{23} = C_{12}\nu(T_2 - T_1) + C_{23}\nu(T_3 - T_2) =$

$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2}(\nu RT_2 - \nu RT_1) = \frac{3}{2}(p_2V_1 - p_1V_1) = \frac{3}{2}V_1(p_2 - p_1)$

изп.(2) $Q_{23} = \frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1)$

$Q_н = \frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{5}{2}p_2V_1 + \frac{3}{2}p_2V_1 - \frac{3}{2}p_1V_1 = \frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 - p_2V_1$

$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow p_2V_1 = p_1V_2$

$A = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_2 + p_1V_1 - 2p_2V_1)$

$Q_н = \frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1) + \frac{3}{2}V_1(p_2 - p_1) = \frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{5}{2}p_2V_1 + \frac{3}{2}p_2V_1 - \frac{3}{2}p_1V_1 =$

$= \frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 - p_2V_1$

$Q_x = A_{13} + \Delta U_{13}$

$A_{13} = -S_{тр} = -\frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = -\frac{1}{2}(p_1V_2 + p_2V_2 - p_1V_1 - p_2V_1) = -\frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$

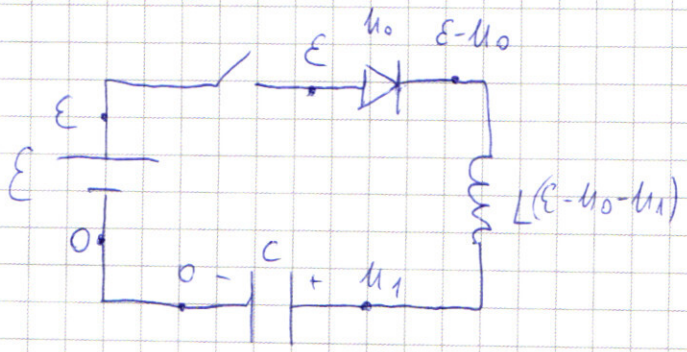
$\Delta U_{13} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_3) = \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_2V_2)$

$Q_x = \frac{1}{2}(p_1V_1 - p_2V_2) + \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_2V_2) = 2(p_1V_1 - p_2V_2)$

$|Q_x| = 2(p_2V_2 - p_1V_1)$

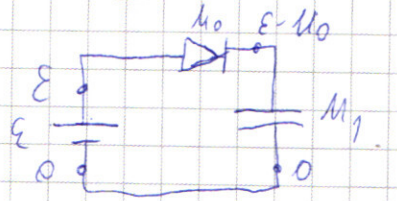
№4

1) $I_0' = 0$



$\cancel{\varepsilon = L I = \varepsilon - U_0 - U_1}$

$\cancel{I = \frac{\varepsilon - U_0 - U_1}{L} = \frac{A}{C}}$



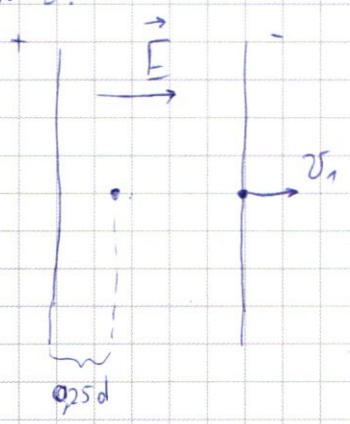
$\varepsilon - U_0 - 0 \neq U_1$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3.



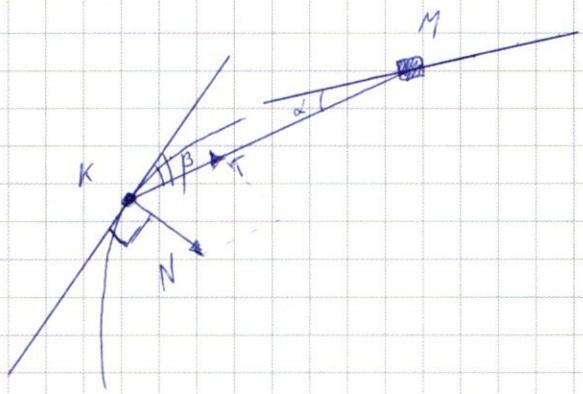
$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{Q}{S\varepsilon_0}$

$\Delta\varphi = E \cdot 0{,}75d = 0{,}75\frac{Qd}{S\varepsilon_0}$

$0{,}75\frac{Qqd}{S\varepsilon_0} = \frac{mv_1^2}{2}$

$\Delta\varphi = Ed$

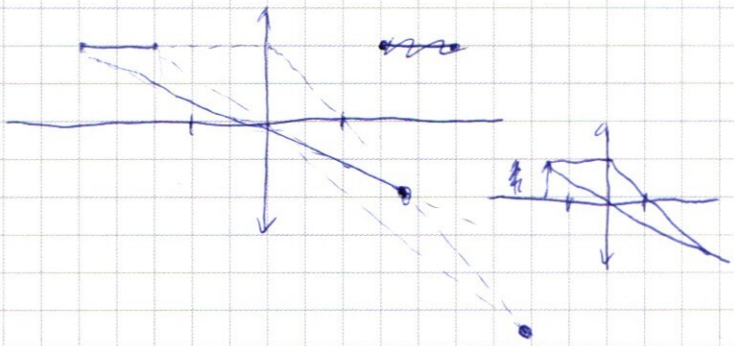
$A = \Delta\varphi q$

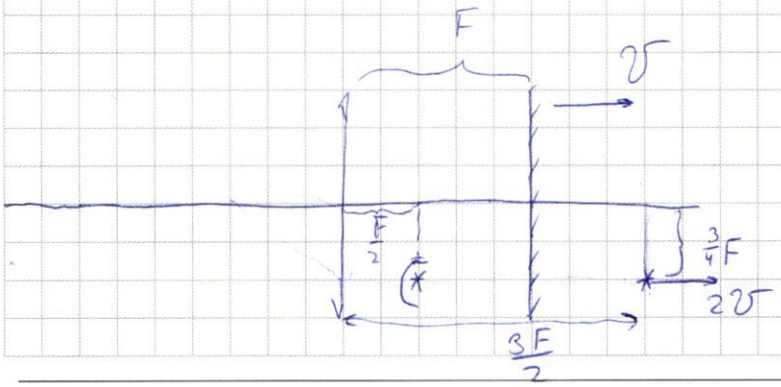


$ma_n = N + T\sin\beta$

$m\frac{v^2}{R} = N + T\sin\beta$

$ma_\tau = T\cos\beta$

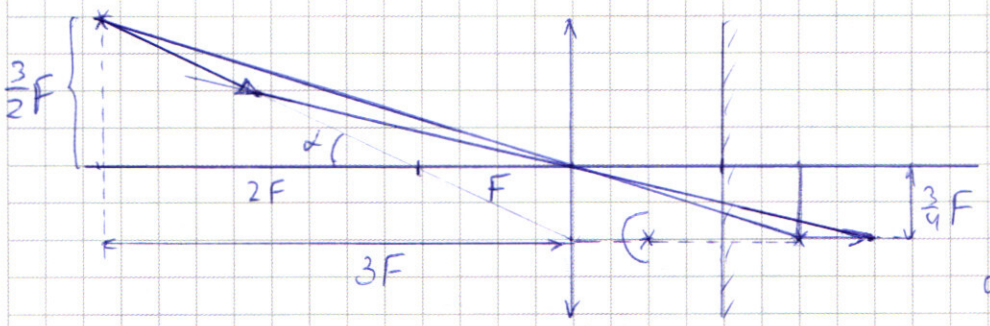




1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$

$\frac{1}{F} = \frac{2}{3F} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = 3F$

№5 $d = F + \frac{F}{2} = \frac{3}{2}F \Rightarrow$ 1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = 3F$



3) $\frac{u}{2v} = \Gamma^2 = \left(\frac{f}{d}\right)^2$

$u = 2v\Gamma^2 = 8v$

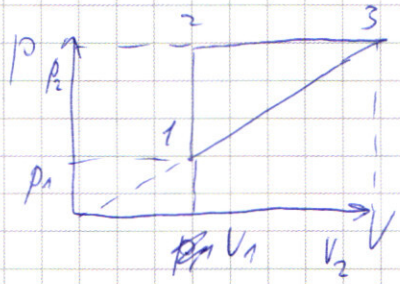
$\cos\alpha = \frac{L}{\sqrt{l^2+L^2}} = \frac{2F}{\sqrt{\frac{9}{4}F^2 + 4F^2}} = 2 \cdot \frac{2}{5} = \frac{4}{5}$

$u_x \cdot \frac{u}{u_x} = u_x \cdot \frac{1}{\cos\alpha}$

$\Gamma = \frac{f}{d} = 3F \cdot \frac{2}{3F} = 2$

2) $tg\,\alpha = \frac{\frac{3}{2}F}{2F} = \frac{3}{4}$

№2.



$\eta = \frac{A}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_H}$

$A = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$;

$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \Delta U_{12} + A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) + \frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1) =$

$= \frac{3}{2}(p_2V_1 - p_1V_1) + \frac{5}{2}p_2(V_2 - V_1) = \frac{3}{2}p_2V_1 - \frac{3}{2}p_1V_1 + \frac{5}{2}p_2V_2 -$

$- \frac{5}{2}V_1p_2 = \frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 - p_2V_1$

$Q_x = Q_{31} = \Delta U_{13} + A_{13} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_3) - \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) =$

$= \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_2V_2) - \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = \frac{3}{2}p_1V_1 - \frac{3}{2}p_2V_2 + \frac{1}{2}p_1V_1 +$

$- \frac{1}{2}p_2V_2 - \frac{1}{2}p_2V_1 + \frac{1}{2}p_1V_2 = \cancel{p_1V_1 - p_2V_2} =$

$= 2(p_1V_1 - p_2V_2)$

$\eta = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_H} = \frac{\frac{5}{2}p_2V_2 - \frac{3}{2}p_1V_1 - p_2V_1 - 2p_2V_2 + 2p_1V_1}{Q_H} =$

$= \frac{\frac{1}{2}p_2V_2 + \frac{1}{2}p_1V_1 - p_2V_1}{}$

$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \nu \cdot \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) + \nu \cdot \frac{5}{2}R(T_3 - T_2) =$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)