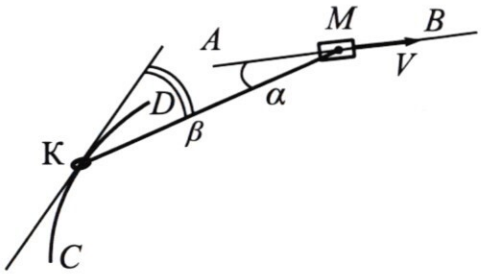
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-04

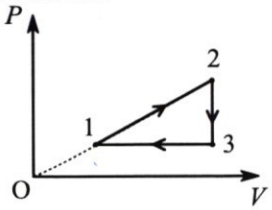
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

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 $\alpha(\cos\alpha = 4/5)$ 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.



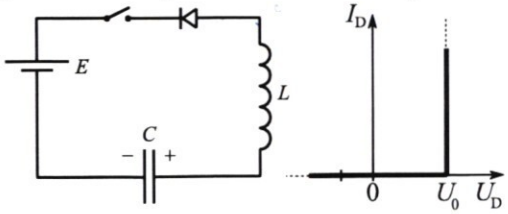
1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.
2) Найти для процесса 1-2 отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.
3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

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 $\gamma = \dfrac{|q|}{m}$.
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.

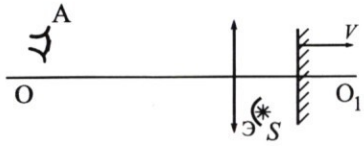
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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

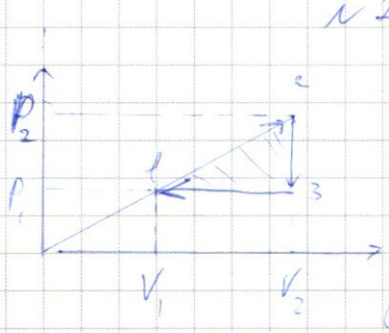
№ 2

$i = 3$

$\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}}$?

$\frac{\Delta U_{1-2}}{A_{1-2}}$?

η_{max} ?



1) Понижение температуры происходит на участках 2-3 и 3-1 (Изотермы становятся ближе к оси в порядке 2, 3, 1)

2-3 - изохорный процесс $\Rightarrow C_V = \frac{3}{2}R$

3-1 - изобарный $\Rightarrow C_p = \frac{5}{2}R \Rightarrow \boxed{\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3}{5}}$

2) $\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$

Менд.-Клап.: $P_2V_2 = \nu RT_2$ (2)

$P_1V_1 = \nu RT_1$ (1)

$\Rightarrow \Delta U_{1-2} = \frac{3}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)$ (3)

A_{1-2} - площадь под графиком со знаком "+"

$S_{1-2} = \frac{(V_2 - V_1)(P_2 + P_1)}{2} = \frac{V_2P_2 - P_1V_1 + V_2P_1 - V_1P_2}{2}$

т.к. 1-2 - линейный $\Rightarrow P = \alpha V \Rightarrow \begin{matrix} P_1 = \alpha V_1 \\ P_2 = \alpha V_2 \end{matrix} \Rightarrow P_2V_1 = P_1V_2$

$\Rightarrow A_{1-2} = \frac{V_2P_2 - P_1V_1}{2}$ (3)

$\Rightarrow \boxed{\frac{\Delta U_{1-2}}{A_{1-2}} = \frac{\frac{3}{2}(V_2P_2 - P_1V_1)}{\frac{1}{2}(V_2P_2 - P_1V_1)} = 3}$

3) $\eta = \frac{A_{ц}}{Q_н}$ A – работа за цикл, т.е площадь малого треугольника 1-2-3

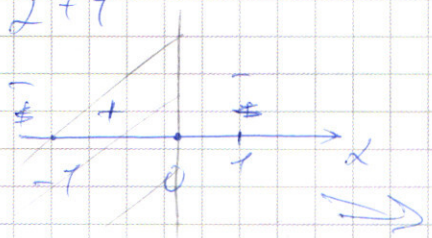
$$Q_н = Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} = 4A_{1-2} = \cancel{\frac{4}{2}(P_2V_2 - P_1V_1)}$$

$$A = \frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_2 - V_1) \qquad A_{1-2} = \frac{1}{2}(P_2 + P_1)(V_2 - V_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A}{Q_н} = \frac{\frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{2(P_2 + P_1)(V_2 - V_1)} = \frac{1}{4}\frac{(P_2 - P_1)}{(P_2 + P_1)}$$

Пусть $\alpha P_2 = P_1 \Rightarrow$ $f(\alpha) = \frac{-\alpha + 1}{\alpha + 1}$ $\alpha > 1$

$$f' = \frac{-1(\alpha+1) + (1-\alpha)}{(1+\alpha)^2} = \frac{-2\alpha}{(1+\alpha)^2} \Rightarrow$$



$\Rightarrow$

$\Rightarrow f(\alpha) = f_{max}$ при $\alpha = 0 \Rightarrow$ В пределе максимальное КПД $\boxed{\eta_{max} = \frac{1}{4} \cdot 1 = \frac{1}{4}}$

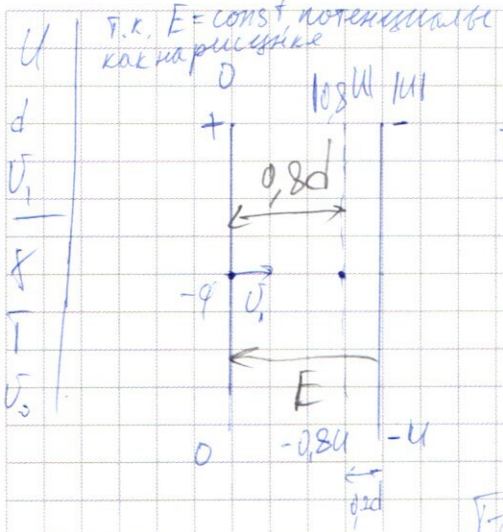
Отв.: 1) $\frac{3}{5}$

2) 3

3) $\frac{1}{4}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№ 3

1) ~~Т.к.~~ ~~Работа~~

Напряженность E направлена к „−", но т.к. заряд отриц. ⇒ ⇒ Можно задать его влево

Заряд может остановиться только если заменит из „+" обкладки

(В иных случаях он продолжит бы разгоняться)

Запишем ЗСЭ: $\frac{mv_1^2}{2} + A_{поля} = 0$ ⇒

$A_{поля}$ - отрицательна $A_{поля} = -0{,}8 \cdot U \cdot q$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{q}{m} = \frac{v_1^2}{1{,}6U} = \gamma}$$

2) Поле однородно. Из определения разности потенциалов

$$U = d \cdot E \Rightarrow E = \frac{U}{d}$$

2ой з-н Ньютона

$$ma = E \cdot q \Rightarrow \boxed{a = \frac{Uq}{md} = \frac{v_1^2}{1{,}6d}}$$

$\xrightarrow{F}$ ma

Движение равноускоренное т.к. E=const

$$0 = v_1 - a t_{\frac{1}{2}} \Rightarrow t_{\frac{1}{2}} = \frac{v_1}{a} = \frac{1{,}6d}{v_1} \Rightarrow \boxed{T = \frac{3{,}2d}{v_1}}$$

время пол. пути

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

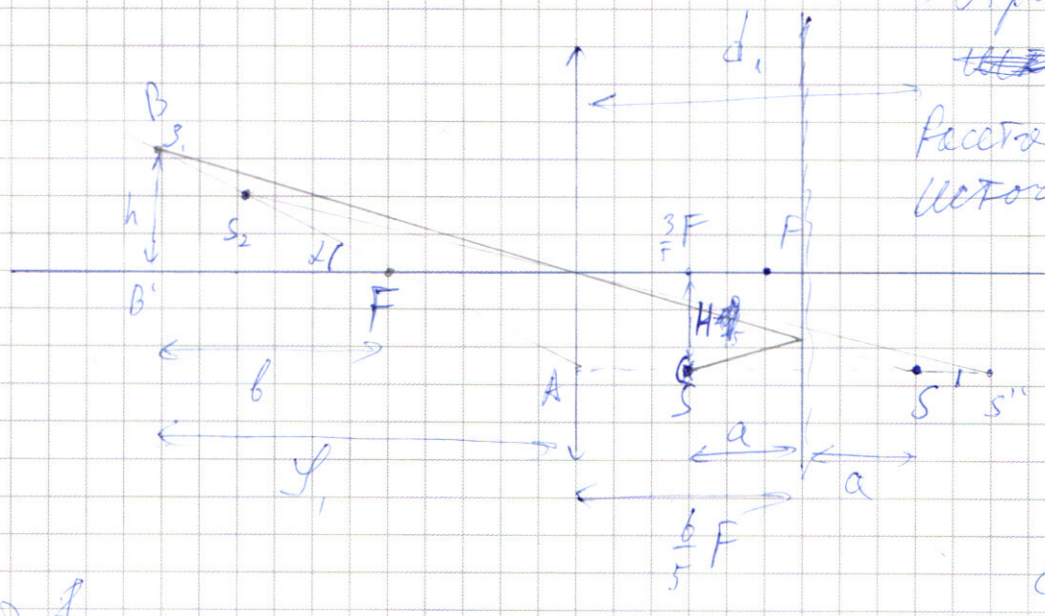
3) Т.к. поле есть только внутри конденсатора => после вылета из него его скорость не изменится.

З.С.Э. $\frac{mv_0^2}{2} + A - A = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow \boxed{v_0 = v_1}$

Ответ: 1) $\frac{v_1^2}{1,6u}$ 2) $T = \frac{3,2d}{v_1}$ 3) $v_0 = v_1$

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

№ 5



1) Отразим в зеркале источник S

Расстояние a между источником S и зеркалом

$a = \frac{6}{5}F - \frac{3}{5}F$

$\Downarrow$

$a = \frac{3}{5}F$

$\Downarrow$

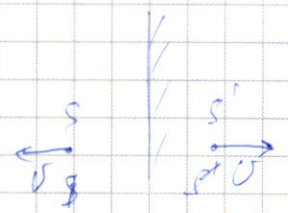
$d_1 = \frac{6}{5}F + \frac{3}{5}F$

2) $F < d_1 < 2F$ Форм. тонк. линзы:

$\Downarrow$

Изобр. действ. $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} \Rightarrow f_1 = \frac{9}{4}F$

3) Перейдём в с.о. зеркала:



обратно => в землю

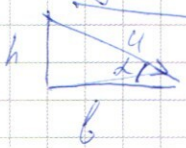
=> S' движется со скоростью 2v

Что произойдет через малое Δt? S' сместится в S'' => S_1 перейдёт в S_2. Заметим, что u - скорость изображения всегда направлена по прямой BA

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4) расстояние b от F до B' ~~f_1~~ : $b = f_1 - F = \frac{5}{4}F$

$\Gamma = \frac{f_1}{d_1} = \frac{5}{4} \Rightarrow \left(h = H \cdot \Gamma = \frac{8}{15} \cdot \frac{5}{4} F = \frac{2}{3} F\right) \Rightarrow \boxed{tg\alpha = \frac{h}{b} = \frac{\cancel{15}}{\cancel{8}} \frac{8}{15}}$

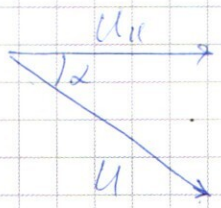


$\Downarrow$

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

5) Т.к. $\left.\begin{array}{l} \Gamma^2 = \frac{u_{\parallel}}{v_{\parallel}} \\ v_{\parallel} = 2v \end{array}\right\} \Rightarrow u_{\parallel} = \frac{25}{16} \cdot 2v = \frac{25}{8} v$

имеем.



$\Rightarrow \boxed{u = \frac{u_{\parallel}}{\cos\alpha} = \frac{25}{8} \cdot \frac{17}{15} \cdot v = \frac{85}{24} v}$

Отв.: 1) $\frac{9}{4}F$; 2) $tg\alpha = \frac{8}{15}$

3) $u = \frac{85}{24} v$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

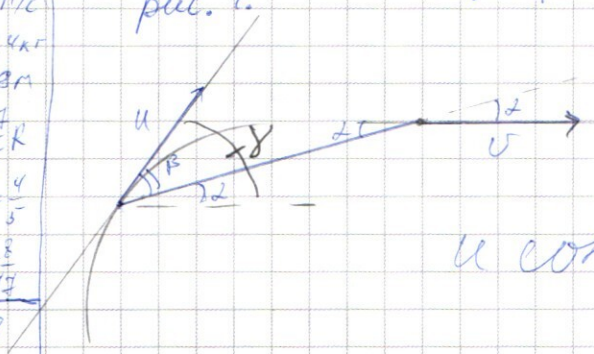
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

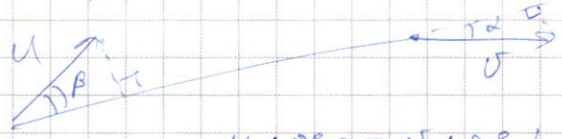
$V = 2$ м/с
$m = 0{,}4$ кг
$R = 1{,}9$ м
$l = \frac{17}{15} R$
$\cos\alpha = \frac{4}{5}$
$\cos\beta = \frac{8}{17}$

$u - ?$
$u_{отн}$
$T - ?$

рис. 1.



1) Т.к. нить нерастяжимая ⇒ ⇒ проекции скоростей концов на нить равны и сонаправлены:



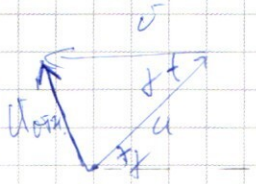
$u\cos\beta = v\cos\alpha$

$\Downarrow$

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

2) Перейдём в с.о. Муфты:

Для кольца скорость стала $u_{отн}$



3) Из рисунка 1. заметим, что угол $\gamma = \beta + \alpha$

$\cos\alpha = \frac{4}{5}$
$\Downarrow$
$\sin\alpha = \frac{3}{5}$

$\cos\beta = \frac{8}{17}$
$\Downarrow$
$\sin\beta = \frac{15}{17}$

$\cos\gamma = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta = \frac{32 - 45}{5\cdot 17} = -\frac{13}{5\cdot 17}$

По теореме cos найдём $u_{отн}$:

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

$$u_{отн} = v\sqrt{1 + \frac{\cos^2\alpha}{\cos^2\beta} - 2\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\cdot\cos(\beta+\alpha)}$$

3) 2-з-н Ньютона для кольца:

$m\bar{a} = \bar{T}$

$\Rightarrow$ $T\cdot\sin\beta = m a_{ц.с}$
$a_{ц.с} = \frac{u^2}{R}$ $\Rightarrow$

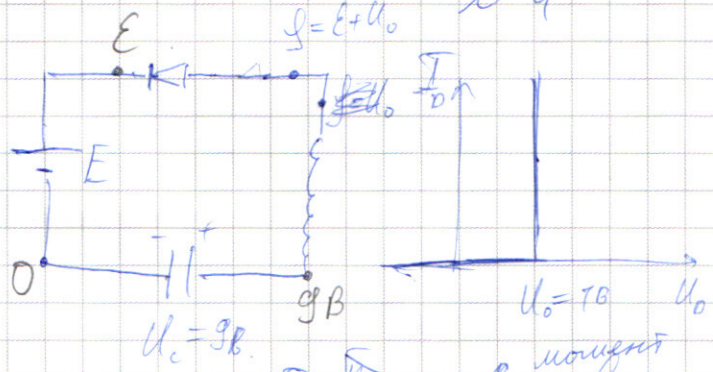
$$\boxed{T = \frac{mu^2}{R\sin\beta} = \frac{mv^2}{R\sin\beta}\cdot\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}}$$

Отв.: 1) 3,4 м/с

2) $\approx \frac{4}{\sqrt{3}}\cdot 2$ м $\approx \frac{8}{\sqrt{3}}$ м/с

3) $T \approx \frac{232}{150}$ Н

№ 4



1) Метод узлов. потенциалов:

~~дай понять, что в начальный мом.~~

$C = 10$ мкФ

$L = 0{,}4$ Гн

① ~~Пусть~~ В нач. момент времени диод открыт.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}+U_0 \Rightarrow U_L = L\frac{dI}{dt} \Rightarrow \boxed{p = \frac{dI}{dt} = \frac{U_c - \mathcal{E} - U_0}{L}}$$

② Закрытым он не м. б. ~~так~~ так как конденсатор „пересиливает" источник на 8 В > U_0

2) ~~Ка~~ I_{max} когда $U_L = 0$ ~~$\Rightarrow \mathcal{E} = U_c$, но этот~~ т.к. $I = 0$

~~т.к. $I = 0$~~

ЗСЭ:

$U_c' = \mathcal{E} + U_0$

$\Downarrow$

$q' = C(\mathcal{E}+U_0)$ – стал

$q = CU_c$ – было

на правой обкладке $\Rightarrow A_\delta = -\mathcal{E}\Delta q$

т.к. ток был против источника

$\Downarrow$

$\Delta q = C(U_c - \mathcal{E} - U_0)$

$\Rightarrow$

$$A_\delta = -\mathcal{E}C(U_c - \mathcal{E} - U_0)$$

$$I_{max}^2 = \frac{2}{L}\left(\frac{CU_c^2}{2} - \frac{CU_c'^2}{2} - \mathcal{E}C(U_c - \mathcal{E} - U_0)\right) \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow \boxed{I_{max} = \sqrt{\frac{2}{L}\left(\frac{CU_c^2}{2} - \frac{C(\mathcal{E}+U_0)^2}{2} - \mathcal{E}C(U_c-\mathcal{E}-U_0)\right)}}$$

3) $\boxed{U_2 = U_c'}$ т.к. в след. момент диод закроется и ток перестанет течь

Отв.: 1) $\frac{2B}{0{,}4\,Гн} = 5\,\frac{В}{Гн}$

2) $\frac{\sqrt{2}}{10}\,A$

3) ~~$\mathcal{E}+U$~~ 7 В

☐ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Трос нерастяжим

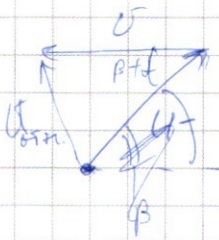
↓

проекции равны

$u\cos\beta = v\cos\alpha \Rightarrow \boxed{u = v\dfrac{\cos\alpha}{\cos\beta}}$

$17 \times 17 = 119 + 17 = 289$

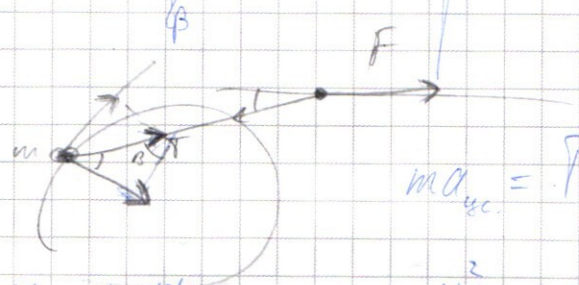
Переходим в с.о. муфты



$\boxed{v_{отн}^2 = v^2 + u^2 + 2uv\cdot\cos(\alpha+\beta)}$

$1 + \frac{16}{25}\cdot\frac{17^2}{64} + 2\cdot\frac{4\cdot17}{5\cdot8}\cdot\frac{13}{5\cdot17}$

$\frac{25+17^2+13\cdot3}{3\cdot25}$



$ma_{цс} = T\sin\beta$

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

$\boxed{T = \frac{mu^2}{R\sin\beta}}$

$\frac{0{,}4\cdot4\cdot4}{1{,}9}\cdot\frac{17\cdot17}{5\cdot15}$

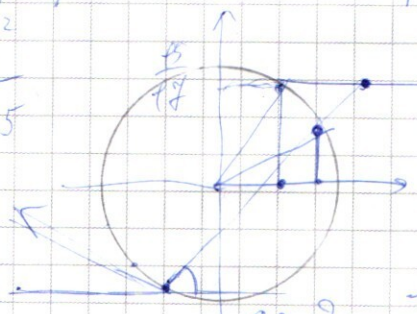
$\frac{0{,}8}{1{,}9}\cdot\frac{17^2}{75}$

$\frac{289\cdot8}{19\cdot75}$

$\frac{2320}{1500}$

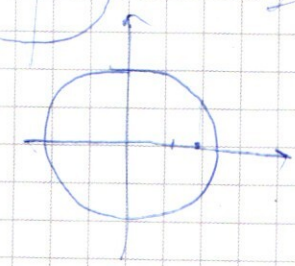
$289\cdot8$

2320



$\frac{15}{17} \vee \frac{4}{5}$

$75 \vee 68$



$289 - 64$

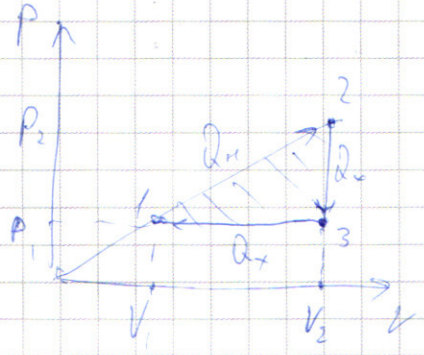
225

$114 + 289$

403

$\frac{20}{\sqrt{35}}$

Понижение на ур.



$\boxed{2-3}$ и $\boxed{1-3}$

$C_2 \nu \Delta T_2 = Q_{2-3}$

$C_3 \nu \Delta T_3 = Q_{1-3}$

$$\frac{C_2}{C_3} = \frac{Q_{2-3} \cdot \Delta T_3}{Q_{1-3} \Delta T_2}$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_2$$

$$Q_{3-1} = \left(\frac{3}{2} + 1\right) \nu R \Delta T_3$$

$$\boxed{\frac{C_2}{C_3} = \frac{\frac{3}{2}}{\frac{5}{2}} = \frac{3}{5}}$$

$$\frac{C_v}{C_p} =$$

1-2

$$Q_{1-2} = A + \Delta U = \frac{V_2 - V_1}{2}(P_1 + P_2) + \nu R (T_2 - T_1)$$

$$P_2 V_2 - P_1 V_1$$

$$\frac{V_2 P_1 - V_1 P_1 + V_2 P_2 - V_1 P_2}{2} = \frac{V_2 P_2 - V_1 P_1}{2}$$

$$\boxed{\frac{\Delta U_{1-2}}{A_{1-2}} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_х}{Q_н} = 1 - \frac{\quad}{\frac{3}{2}(P_2 V_2 - V_1 P_1)}$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2}(V_2 P_1 - V_2 P_2)$$

$$|Q_х| = \left|\frac{1}{2}(3 V_2 P_1 - 3 V_2 P_2 + 5 V_1 P_1 - 5 V_2 P_1)\right|$$

$$Q_{3-1} = \frac{5}{2}(V_1 P_1 - V_2 P_1)$$

$$5 V_1 P_1 - 3 V_2 P_2 - 2 V_2 P_1$$

$$P_1 = 2 V_1 \Rightarrow P_1 = P_2 \frac{V_1}{V_2}$$

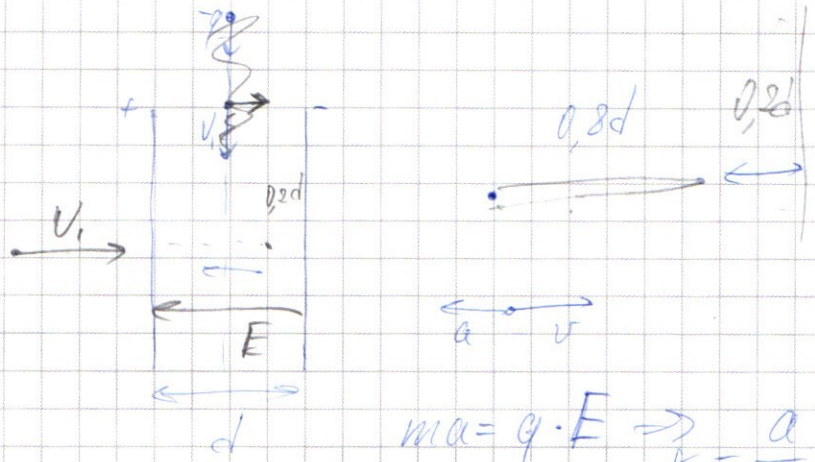
$$P_2 = 2 V_2$$

$$\eta = \frac{A}{Q_н}$$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$E \cdot d = U$

$E = \frac{U}{d}$

$q = 0$

$ma = q \cdot E \Rightarrow \gamma = \frac{a}{E} = \frac{q}{m} = \frac{d \cdot a}{U}$

a из кинематики

Однородное ⇒ равноускор.

$\cancel{0,8d}$ $\frac{m v_1^2}{2} - E \cdot 0,8d \cdot q = 0 \Rightarrow \frac{v_1^2}{2 \cdot E \cdot 0,8d} = \frac{q}{m} = \gamma = \frac{a}{E}$

$a = \frac{v_1^2}{1,6d}$

$\cancel{a t_1 = v_1}$ $0 = v_1 - a t_1$

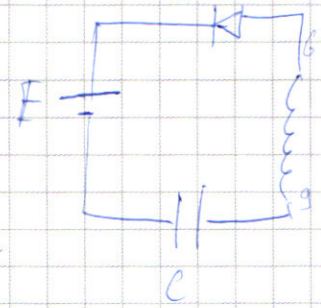
$t_1 = \frac{v_1}{a} \Rightarrow t_1 = \frac{2v_1}{a} = \frac{1,6d}{v_1} \cdot 2$

$v_0 = v_1$ – ? ??

$\frac{v_1^2}{1,6Ud} \cdot \frac{U}{d}$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



$\cancel{U} \cancel{\varphi} \cancel{Bp} = \frac{dI}{dt}$

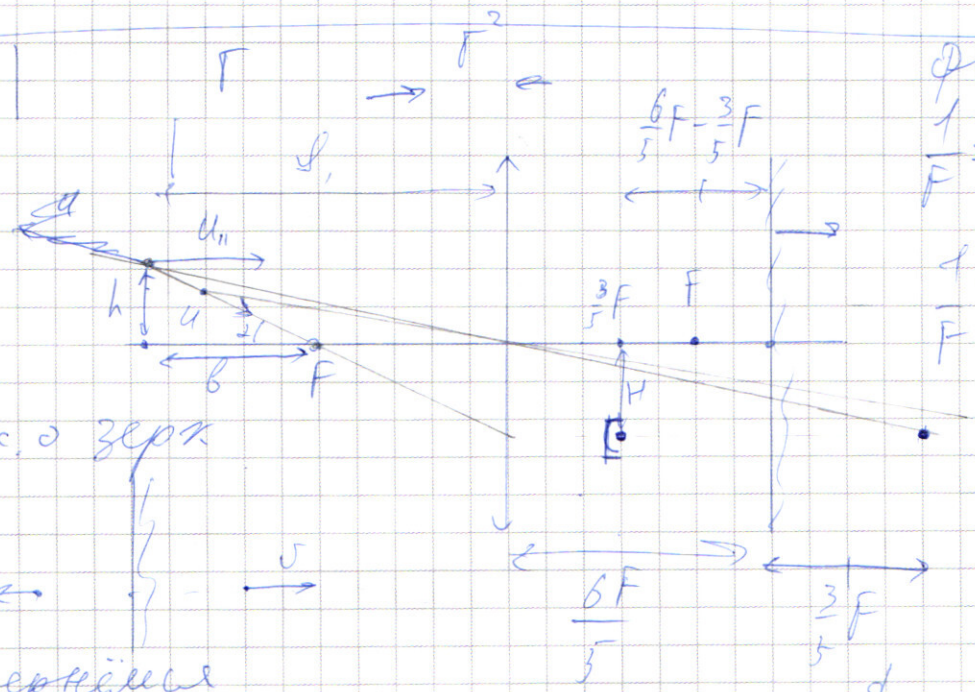
диод откр. $\mathcal{E}_i = L\frac{dI}{dt}$

$\frac{U_i - E}{L} = \frac{dI}{dt}$

$\sqrt{\frac{2}{0,4}\left\{0,0017\left(81 - 49 - 2\cdot 12\right)\right.}$

$\frac{0,01}{\cancel{4}}\cdot 8 = \sqrt{0,02}$ $81 - 73$ 8 17 $\frac{5}{35}$

$-49 - 24$



Форм. тонк. линзы:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$

$\frac{1}{F} - \frac{5}{9F} = \frac{1}{f_1}$

$\frac{9}{4}F = f_1$

$\boxed{\Gamma = \frac{f_1}{d_1} = \frac{\frac{9}{4}}{\frac{9}{5}} = \frac{5}{4}}$

Вс. в зерк.

вернёмся

изобр. $2v$ $\Gamma^2 = \frac{25}{4} = \frac{U_{\perp\parallel}}{v_{\parallel}}$ $F < \frac{9}{5}F < 2F$ $\Rightarrow$ действ. перев.

$v_{\parallel} = 2v$

$\boxed{U_{\parallel} = \frac{25}{4}\cdot 2v = \frac{25}{2}v}$

Из подобия

$\frac{h}{H} = \Gamma = \frac{5}{4} \Rightarrow h = \frac{8}{15}\cdot\frac{5}{4}F$

$\boxed{h = \frac{2}{3}F}$

$b = f_1 - F = \frac{5}{4}F \Rightarrow tg\,\alpha = \frac{h}{b}$

$\boxed{tg\,\alpha = \frac{2}{3}\cdot\frac{4}{5} = \frac{8}{15}}$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

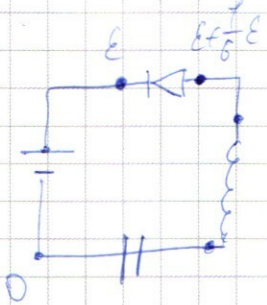
(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$tg\,\alpha = \frac{8}{15} \Rightarrow \boxed{\cos\alpha = \frac{15}{\sqrt{225+64}} = \frac{15}{17}}$

$\sqrt{289} = 17$

$U\cos\alpha = U_\parallel \Rightarrow \boxed{U = \frac{U_\parallel}{\cos\alpha} = \frac{25}{2}\cdot\frac{5}{15}\cdot 17 = \frac{5\cdot 17}{6}\cdot 5}$

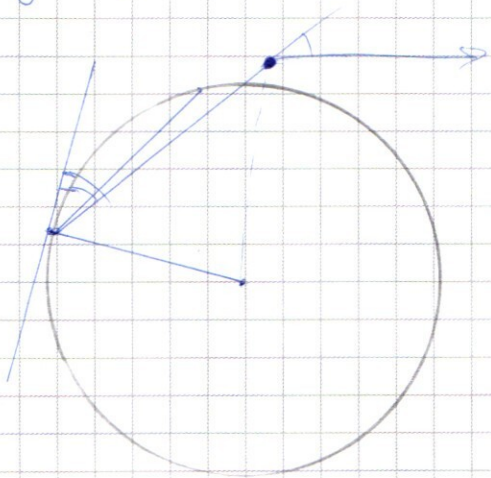


$\frac{dI}{dt} = \frac{U_1 - E}{L}$

когда $I_{max} \Rightarrow \mathcal{E}_i = 0$

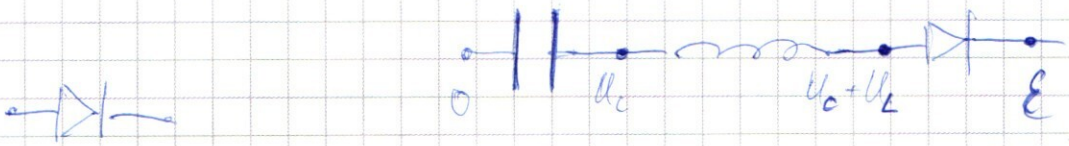
$E = U_0$

Но это не произойдёт из-за диода т.к. он не будет открыт.



Ток монотонно ↑ и I_{max} ~~при~~ перед закрытием диода

$U_L = L\frac{dI}{dt}$ $\quad U_C = \frac{q}{C}$

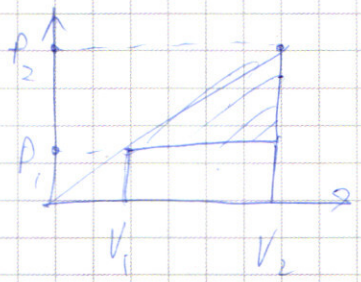


$U_C + U_L = \mathcal{E} + \frac{\mathcal{E}}{6}$

81 - 49 - 6.2

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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



$$\eta = \frac{A}{Q_н}$$

$$Q_н = \frac{3}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$3 S_{тр} = Q_н \qquad \eta = \frac{1}{3} \cdot \frac{A}{A_{12}}$$

$$\frac{A}{A_{12}} = \frac{\frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{\frac{(P_2 + P_1)(V_2 - V_1)}{2}} = \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} - max - ?$$

(в пределе это = 1)

$$f' = \frac{1}{1+x}\left(\frac{1-x}{1+x}\right)' \qquad \frac{-1(1+x) + (1-x)\,1}{(1+x)^2}$$

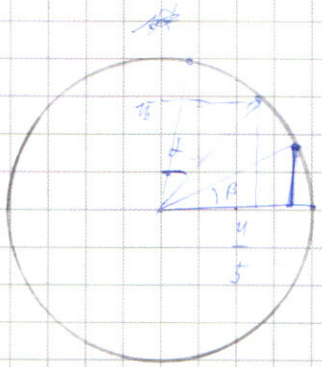
$$1 + x - 1 + x$$

$$\frac{-2x}{(1+x)^2} = 0$$

-1 $+$ 0 $+$ $\rightarrow$

$$\frac{15}{17} > \frac{4}{5} \qquad \cos(\beta - (-\alpha))$$

$$\cos\beta\cos\alpha + \sin\beta\sin(-\alpha)$$



$$32 - 45$$

$$\frac{4 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{3 \cdot 15}{5 \cdot 17}$$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)