Олимпиада «Физтех» по физике,

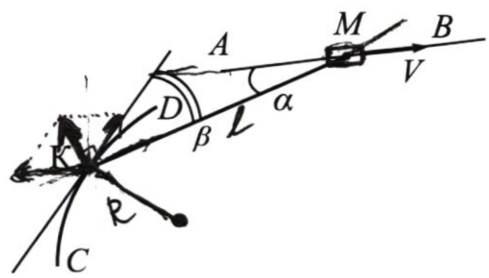
Класс 11

Вариант 11-01

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

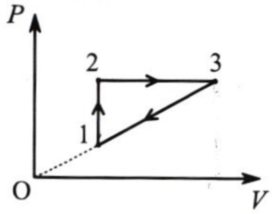
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0{,}1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1{,}9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной 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.



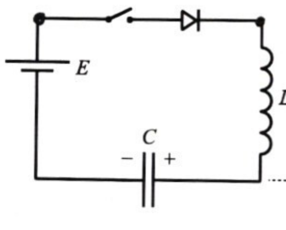
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S, расстояние между обкладками d $\left(d << \sqrt{S}\right)$. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная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

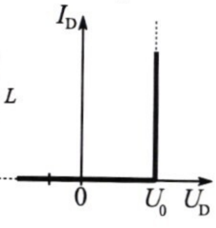
1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

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.

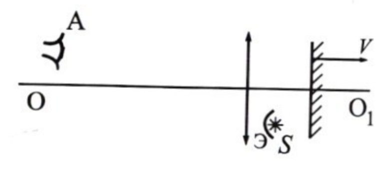
1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.





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

$u_{абс} = 2v$

$u_{пер} = 2v$

$v_{отн} = 2v$

$$\lim_{n\to\infty}\left(\frac{n-1}{3+5n}\right) = \left(\frac{1-\frac{1}{n}}{\frac{3}{n}+5}\right) = \frac{1}{5}$$

$8v = x\cos\beta$

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

$$u = \frac{v\cos\alpha}{\cos\beta}$$

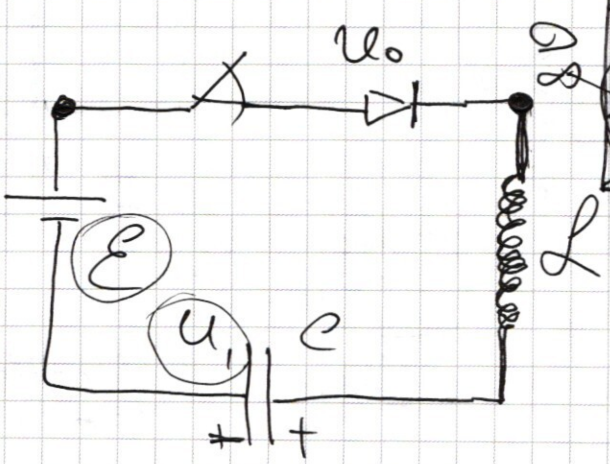
$$\frac{mu^2}{2} = T\cos\beta - N$$

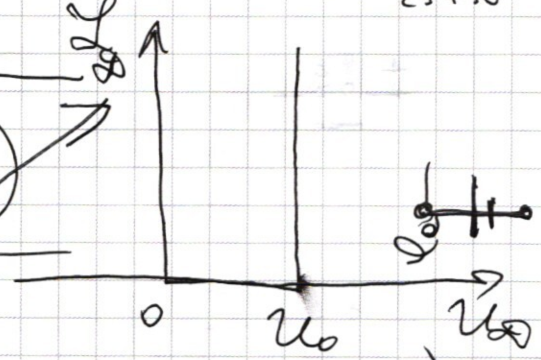
$$N = T\cos\beta - \frac{mu^2}{2}$$

15-5

25+50

$U_0 = 5В + U_L$





$U_0 = 1В$

$U_1 = 5В$

$\mathcal{E} = 9В$

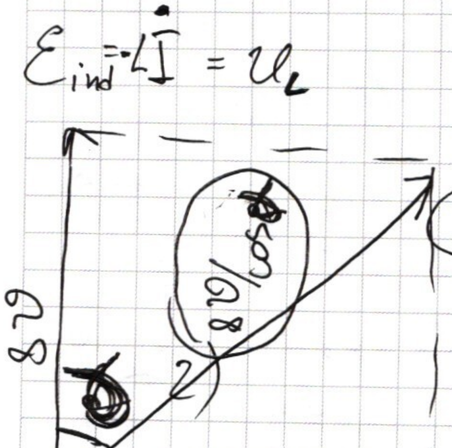
$\mathcal{E}_{ind} = -L\dot{I} = U_L$

~~9В = 5В + U_L~~

$U_L = 4В$

1) $\frac{U_L}{L} = \dot{I} = \frac{4}{0{,}1} = 40\,\frac{В}{Гн}$

$-9В + 4В - U_L = U_0$



$\alpha+\beta$

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

$mg = N$

$\frac{mv^2}{R} = T\cos\beta$

провисает ли нить?

$\frac{1}{2}d$

$\frac{1}{4}d$

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

$\frac{m v_{отн}^2}{R} = T$

$v = aT$

$= 2E\gamma T$

$S = \frac{at^2}{2}$ $t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$

$Eq = ma$

$\dot{I}$

I_{max}

E - неизвестна

$q\varphi_1 = \frac{mv^2}{2}$

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

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

3)

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

$Eq = ma$ $0{,}75d = \frac{E\gamma 2T^2}{2}$ U_L установившееся

$E\gamma = a$ импульсный момент тока нет

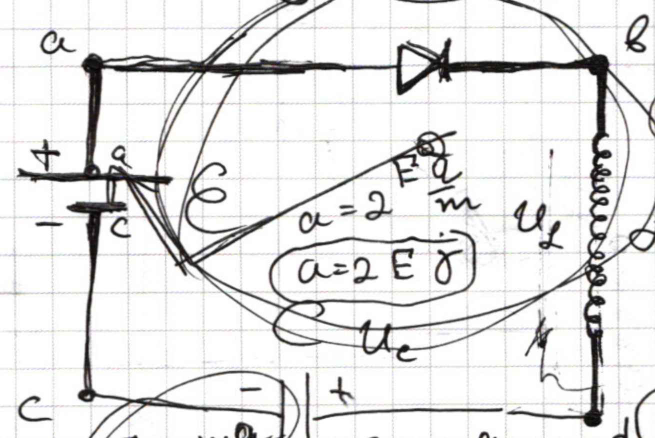
2)

$E = \varphi'$

$1{,}5d = E\gamma T^2$

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

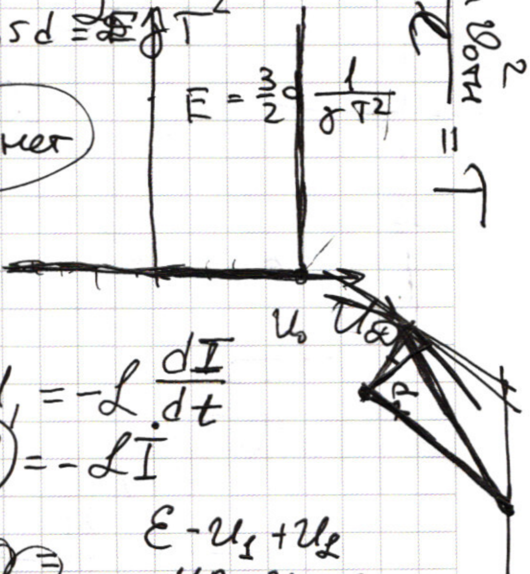
$T = \frac{m v_{отн}^2}{R}$



тока нет

$a = 2\frac{Eq}{m}$

$a = 2E\gamma$



$U_L = -L\frac{dI}{dt}$

$F_e = ma$ $2Eq = ma$ $\frac{1}{2}Ed = \varphi$ $= -L\dot{I}$

$u_1 = 5$

$\mathcal{E} = 9$

$u_0 = 1$

$\varphi_a - \varphi_b \geq u_0$ $\varphi = -\int E$

$u = Ed$

$\mathcal{E} - u_1 + u_L$

$\varphi_b + u_1 = \varphi_a - \varphi_b$

$2E\, 0{,}25d$ $\frac{Q}{S} = \sigma$ $\varphi_a - \varphi_b = (\varphi_a - \varphi_c) + (\varphi_c - \varphi_d) + (\varphi_d - \varphi_b)$

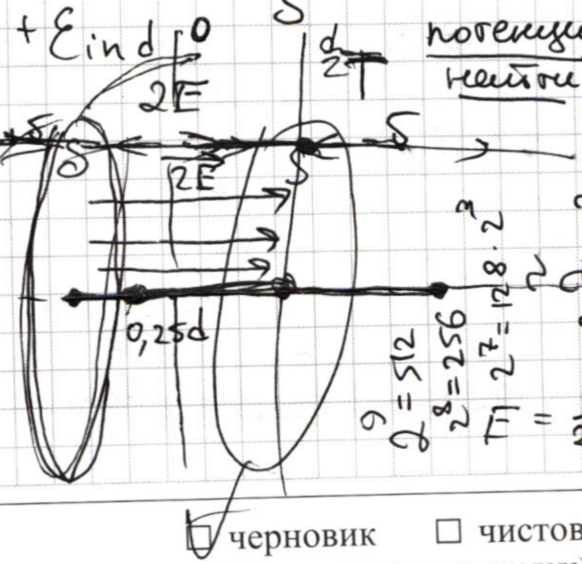
$\mathcal{E} + \mathcal{E}_{ind}$ 0 $\frac{d}{2T}$ потенциал нет?

$2E$

$\varphi_a - \varphi_c = \mathcal{E}$

$\varphi_c - \varphi_d = -u_1$

$\varphi_d - \varphi_b = u_L$

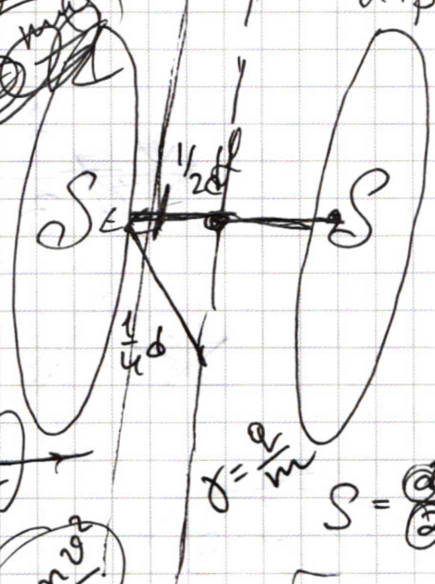


$a = 2E\gamma$

$\frac{5 \cdot 25}{7{,}5}$

$2^9 = 512$ $2^8 = 256$ $2^7 = 128$

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $2E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$



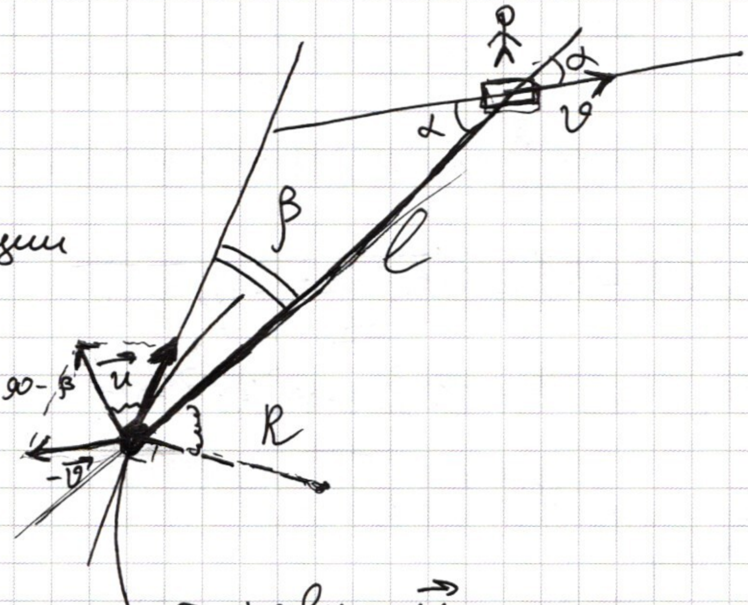
☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1

1) Так как нить нерастяжима, ~~невесома~~ то проекции скоростей на нее должны быть одинаковыми.



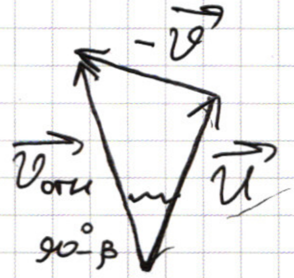
Пусть скорость кольца в этот момент равна $\vec{u}$

$$u\cos\beta = \vartheta\cos\alpha$$

$$u = \vartheta\,\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \vartheta\frac{\frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} = \vartheta\cdot\frac{15}{17}\cdot\frac{5}{4} = \frac{68\cdot15\cdot5}{17\cdot4} = 75 \text{ см/с}$$

2) В системе отсчета муфты она неподвижна, а так нить нерастяжима, то кольцо в с.о. муфты будет двигаться по окружности с ~~радиус~~ радиусом равным l и центром в муфте. Относительная скорость будет перпендикулярна нити.

Запишем теорему косинусов для треугольника скоростей:



$$v^2 = v_{отн}^2 + u^2 - 2 v_{отн} u \cos(90^\circ - \beta)$$

$$\cos(90^\circ-\beta) = \sin\beta$$

$$\sin\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} = \frac{3}{5}$$

Запишем второй закон Ньютона

$$= \frac{m v_{отн}^2}{2} = T\sin\beta$$

Откуда найдем

$$T = \frac{m v_{отн}^2}{2\sin\beta}$$

$$v_{отн_{1,2}} = u\sin\beta \pm \sqrt{u^2\sin^2\beta - u^2 + v^2} =$$

$$= u\sin\beta \pm \sqrt{u^2(\sin^2\beta - 1) + v^2} = u\sin\beta \pm \sqrt{v^2 - u^2\cos^2\beta}$$

$$= u\sin\beta \pm \sqrt{(v - u\cos\beta)(v + u\cos\beta)}$$

$$= 75\cdot\frac{3}{5} \pm \sqrt{\left(68 - 75\cdot\frac{4}{5}\right)\left(68 + 75\cdot\frac{4}{5}\right)}$$

$$= 45 \pm \sqrt{8\cdot 128}$$

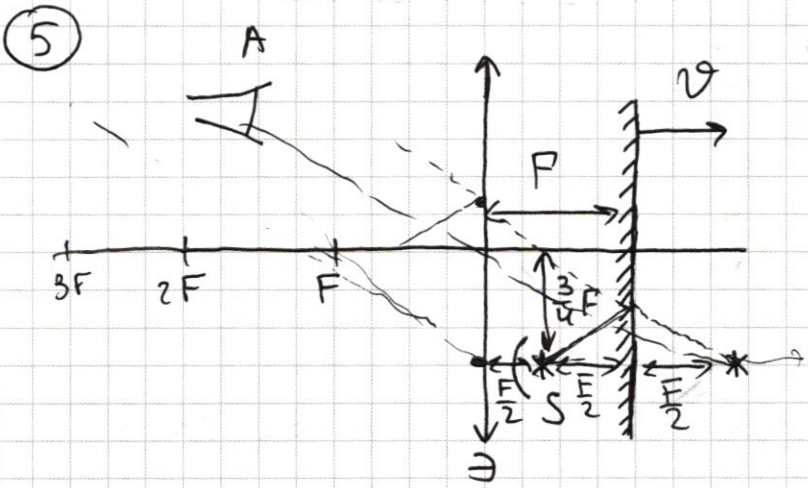
$$= 45 \pm 32$$

$$\left[\begin{array}{l} v_{отн_1} = 13 \text{ см/с} \\ v_{отн_2} = 77 \text{ см/с} \end{array}\right.$$

Ответ: 1) 75 см/с 2) 77 см/с

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5



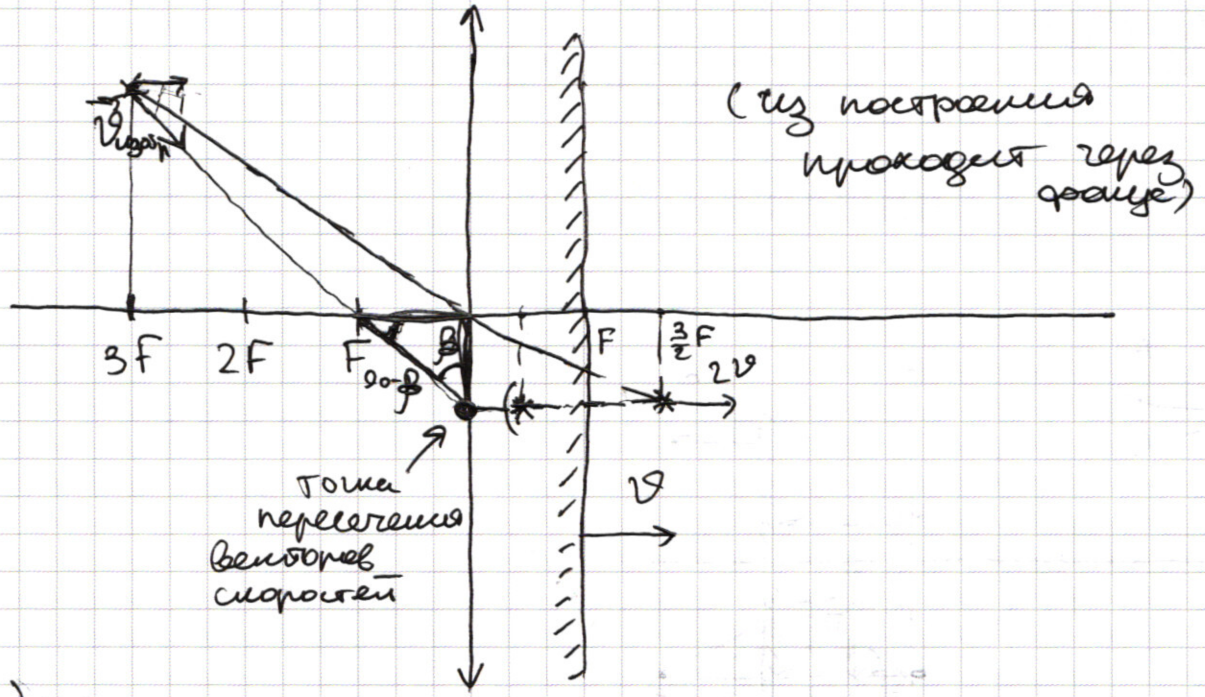
1) Источником для линзы в системе зеркало-линза будет изображение предмета в зеркале, отстоящее вправо от него на расстоянии $F - \frac{F}{2} = \frac{F}{2}$.

По формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{\frac{3F}{2}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \qquad \frac{1}{F} - \frac{2}{3F} = \frac{1}{b}$$

$$\frac{3\cancel{F}-2}{3F} = \frac{1}{b} \Rightarrow \boxed{b = 3F}$$

2) Скорости ~~...~~ источника и изображения пересекаются на линзе. Скорость предмета горизонтальна и его вектор пересекает линзу на расстоянии $\frac{3}{4}F$ от оси

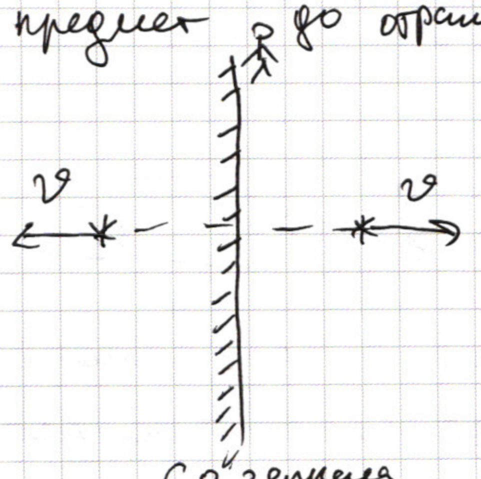


2) Искомый угол обозначен на рисунке за 90-α

$$tg(90-\beta) = \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \frac{3}{4}$$

$$\boxed{\alpha = 90-\beta = arctg\left(\frac{3}{4}\right)}$$

3) Изображение в зеркале движется со скоростью 2v, так как в системе отсчета зеркала предмет до отражение движется со скоростью v, ~~которая~~ влево => его изображ. удаляется от зеркала вправо с такой же скоростью.



С.О. зеркала

Пересчитываясь в С.О. Земли добавляем переносную скорость $\vec{v}$.

Найдем поперечное увеличение: $Г = \frac{3F}{\frac{3}{2}F} = 2$.

~~[illegible]~~

$$\dot{I} = \frac{3 \cdot В}{0{,}1\,Гн} = 30$$

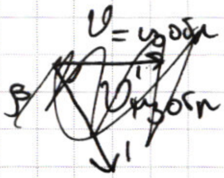
2) Ток в цепи максимален, когда $\dot{I} = 0$

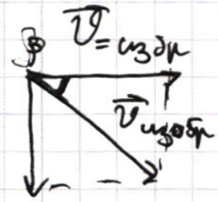
То есть $U_L = 0$

$$\mathcal{E} = U_D + U_1$$

=> продольная скорость изображения

$$v_{=изобр} = \Gamma^2 \cdot 2v = 8v$$





$$v_{изобр} = \frac{v_{=изобр}}{\cos\beta}$$

$$1 + tg^2\beta = \frac{1}{\cos^2\beta}$$

$$\Downarrow$$

$$1 + \frac{9}{16} = \frac{1}{\cos^2\beta}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{25}{16} = \frac{1}{\cos^2\beta}$$

$$\Downarrow$$

$$\cos^2\beta = \frac{16}{25}$$

$$\Downarrow$$

$$\cos\beta = \frac{4}{5}$$

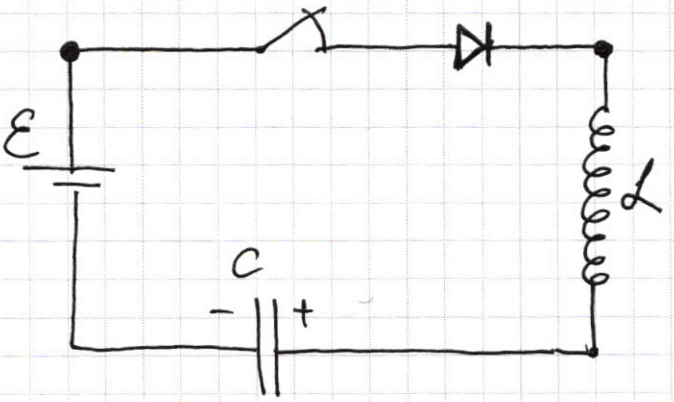
$$v_{изобр} = \frac{v_{=изобр}}{4/5} = \frac{5 \cdot 8v}{4} = 10v.$$

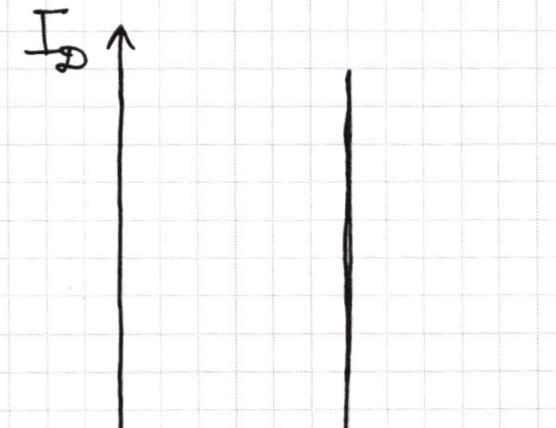
Ответ: а) $3F$

б) $\beta = arctg\left(\frac{3}{4}\right)$

в) $10v$

④





1) Сразу после замыкания ключа напряжение на конденсаторе не изменилось.

$$U_L = L\dot{I} \Rightarrow \dot{I} = \frac{U_L}{L}$$

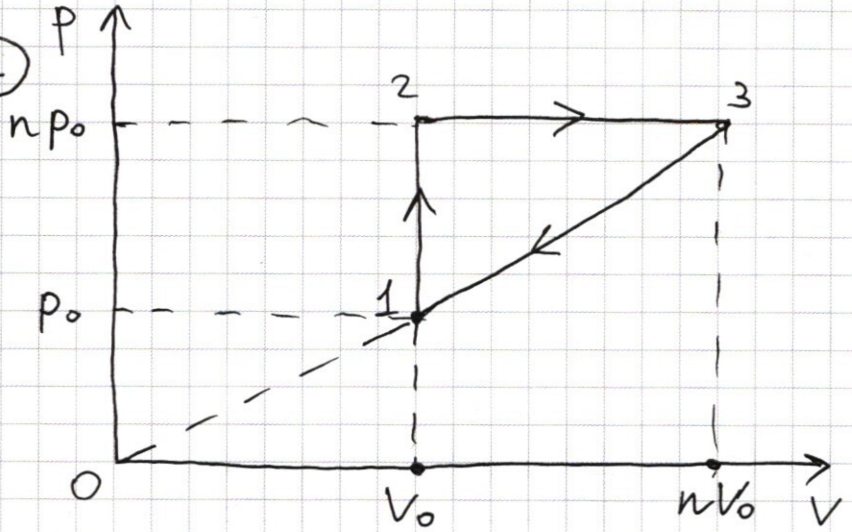
По второму правилу Кирхгофа

$$U_D + U_L + U_C = \mathcal{E}$$

$$U_L = \mathcal{E} - U_D + U_1 = \mathcal{E} - U_1 - U_0 = 3В$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2



0) Пусть в точке 1 давление p_0 и объем V_0, тогда в точке 3 объем и давления увеличатся в одинаковое количество раз так как 1-3: $p = \alpha V$

1) Повышение температуры происходило на участках 1-2 и 2-3 (переходим на более удаленную от начала координат изотерму)

Работы при изохорном процессе газ не совершает => $Q_{12} = C_V \nu \Delta T_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R \Delta T_{12}$

Откуда $C_V = \frac{3}{2}R$

По соотношению Майера $C_p = \frac{5}{2}R = C_V + R$

$$\frac{C_V}{C_p} = \frac{\frac{3}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5}.$$

2) $Q_{23} = C_p \nu \Delta T_{23} = \frac{5}{2}\nu R \Delta T_{23} = \frac{5}{2}(n^2 p_0 V_0 - n p_0 V_0)$

$A = (nV_0 - V_0)np_0 = n(n-1)p_0V_0$

$$\frac{Q_{23}}{A} = \frac{\frac{5}{2}\cancel{p_0V_0}\cancel{n(n-1)}}{\cancel{n(n-1)p_0V_0}} = \frac{5}{2}.$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

3) $\eta = \frac{A}{Q_+}$ (по определению КПД)

$$A = \frac{1}{2}(np_0 - p_0)(nV_0 - V_0) = \frac{1}{2}p_0V_0(n-1)^2$$

$$Q_+ = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{12} + \frac{5}{2}\nu R\Delta T_{23}$$

$$= \frac{3}{2}(np_0V_0 - p_0V_0) + \frac{5}{2}(n^2p_0V_0 - np_0V_0)$$

$$= \frac{3}{2}p_0V_0(n-1) + \frac{5}{2}n(np_0V_0 - p_0V_0)$$

$$= p_0V_0(n-1)\left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2}n\right)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}\cancel{p_0V_0(n-1)}(n-1)}{\cancel{p_0V_0(n-1)}\left(\frac{3}{2}+\frac{5}{2}n\right)} = \frac{\cancel{\frac{1}{2}}(n-1)}{\cancel{\frac{1}{2}}(3+5n)} = \frac{n-1}{3+5n}$$

Найдем $\lim\limits_{n\to\infty}(\eta) =$

$$= \lim_{n\to\infty}\left(\frac{1-\frac{1}{n}}{\frac{3}{n}+5}\right) = \frac{1}{5}$$

$\Rightarrow \eta_{max} = 20\%$

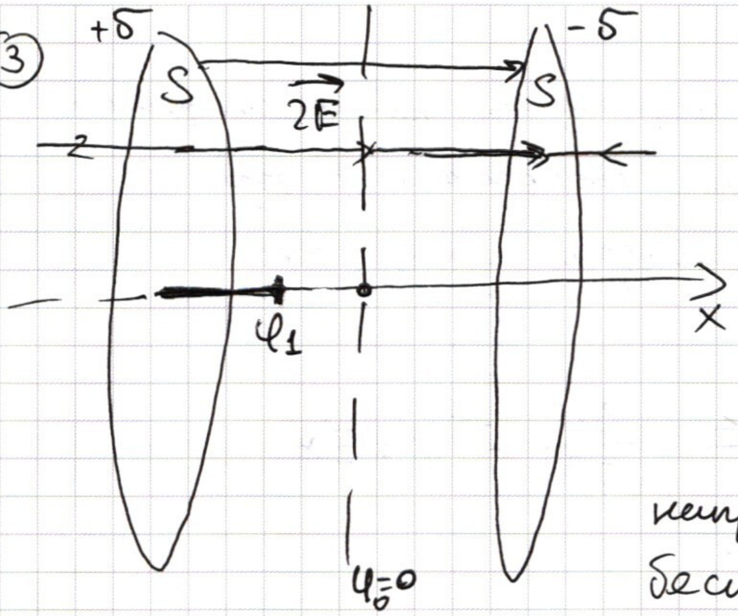
Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) $\frac{2}{5}$; 3) 20%

☐ черновик ☑ чистовик Страница № 8

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3



~~Пока~~, Напряженность электрического поля, создаваемого каждой из ~~пласт~~ сеток аналогична напряженности поля бесконечной пластины в области, где это поле можно считать однородным => $E=\frac{Q}{2S\varepsilon_0}$, в зазоре между пластинками по принципу суперпозиции поле будет напряженностью $2E=\frac{Q}{2S\varepsilon_0}\cdot 2=\frac{Q}{S\varepsilon_0}$.

Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось, ~~котор~~ совпадающей с осью симметрии (ось x)

$ma = 2Eq$

$a=\frac{Qq}{S\varepsilon_0 m}=\frac{Q\gamma}{S\varepsilon_0}$ – все величины постоянные => $a=const$ и движение равноускоренное.

Используем формулу:

$S=\frac{v_0+v_1}{2}t$

v_0 – начальная, v_1 – конечная скорости, т.к. $v_0=0$, то

$S = \frac{v_к}{2} t$

$\frac{2 \cdot 0{,}75 d}{T} = v_к$

$E' = 2E$ – напряженность поля между обкладками

$\boxed{v_к = \frac{3d}{2T}}$

Используем следующие формулы равноускоренного движения, выбрав начало координат в исходном положении заряда и учтя, что $v_0 = 0$.

$v_к = a\cancel{t} \Rightarrow a = \frac{v_к}{T} = \frac{3d}{2T^2} = 2E\gamma = E'\gamma$

Откуда $2E' = \frac{3d}{2\gamma T^2} = \frac{Q}{S\varepsilon_0}$

$\boxed{Q = \frac{3dS\varepsilon_0}{2\gamma T^2}}$

Выберем на бесконечности потенциал равным нулю и запишем закон сохранения энергии:

$\varphi_1 q = \frac{m v_\infty^2}{2}$

$v_\infty = \sqrt{\frac{2\varphi_1 q}{m}}$

$= \sqrt{2\varphi_1 \gamma}$

На вертикальной оси симметрии имеем нулевой потенциал, тогда

$\varphi_1 - \varphi_0 = 2E \cdot \left(\frac{d}{2} - \frac{d}{4}\right) = \frac{2E \cdot d}{4} = \frac{\frac{3d}{2\gamma T^2} \cdot d}{4} = \frac{3d^2}{8\gamma T^2} = \varphi_1$

$v_\infty = \sqrt{2 \frac{3d^2}{8\gamma T^2} \cdot \gamma} = \frac{d}{T}\sqrt{\frac{3}{4}} = \frac{d}{2T}\sqrt{3}$

Ответ: а) $v_к = \frac{3d}{2T}$ б) $Q = \frac{3dS\varepsilon_0}{2\gamma T^2}$ в) $v_\infty = \frac{d}{2T}\sqrt{3}$