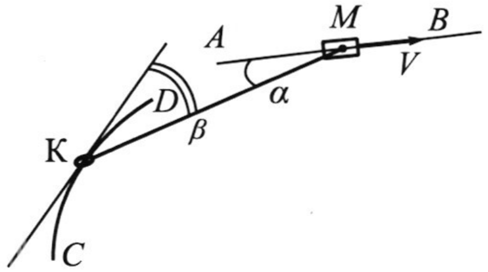
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без

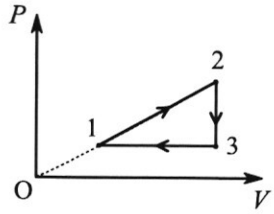
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1{,}7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол $\alpha (\cos\alpha = 3/5)$ 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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



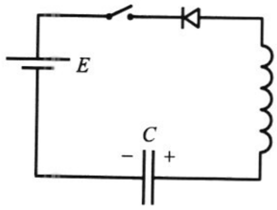
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0{,}2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\dfrac{q}{m} = \gamma$.

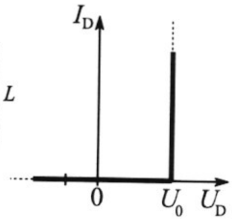
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0{,}2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.

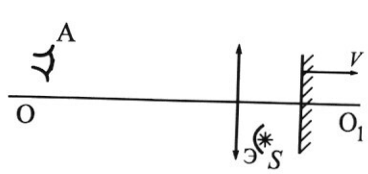
1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.





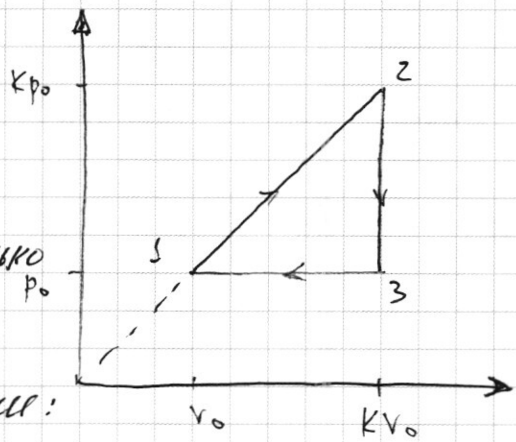
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F, плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от 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

Задача №2



1) Обозначим коэф. пропорцион. p и V за k. Заметим, что тепло тело отдает только на участках 2-3 и 3-1.

Значит искомое отношение:

$$n_1 = \frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{C_V}{C_p} = \frac{3}{5}$$

2) Запишем I начало термодинамики:

$\delta Q = dU + \delta A$. Заметим, что на 1-2 постоянная теплоёмкость газа C. Тогда $C\nu\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \left(\frac{p_0 + kp_0}{2}\right)(kV_0 - V_0)$

$$\Delta T = \frac{kV_0 \cdot kp_0 - p_0V_0}{\nu R} = (k^2-1)\frac{p_0V_0}{\nu R}$$

$$C = \frac{3}{2}R + \frac{k^2-1}{k^2-1}\cdot\frac{1}{2}R = 2R.$$

Тогда искомое отношение $\frac{\delta Q}{\delta A} = \frac{C\cancel{\nu\Delta}\cdot(k^2-1)p_0V_0}{(k^2-1)\frac{p_0V_0}{2}\cdot R} =$

$$= \frac{2C}{R} = 4.$$

3) $\cancel{\eta = 1 - \frac{Q_-}{Q_+}} - \frac{A}{Q_+} = 1 - \frac{\frac{(kV_0 - V_0)(kp_0 - p_0)}{2}}{\frac{C}{R}\cdot(k^2-1)p_0V_0} =$

$= 1 - \frac{(k-1)^2}{(k^2-1)}\cdot\frac{R}{2C}$. Найдем минимум ~~[illegible]~~ $\frac{(k-1)^2}{(k^2-1)} = \frac{k-1}{k+1}$

$$\cancel{\left(\frac{k-1}{k+1}\right)' = \frac{(k-1)'(k+1) - (k-1)(k+1)'}{(k+1)^2} = \frac{2}{(k+1)^2} = 0}$$

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{\dfrac{(kp_0 - p_0)(kV_0 - V_0)}{2}}{\dfrac{C}{R}\cdot (k^2-1)\,p_0V_0} = \frac{k-1}{k+1}\cdot\frac{R}{2C} = \frac{1}{4}\cdot\frac{k-1}{k+1}.$$

~~Найдём максимальное значение~~ $\cancel{\frac{k-1}{k+1}}$: При $k\to\infty$ $\frac{k-1}{k+1}\to 1$.

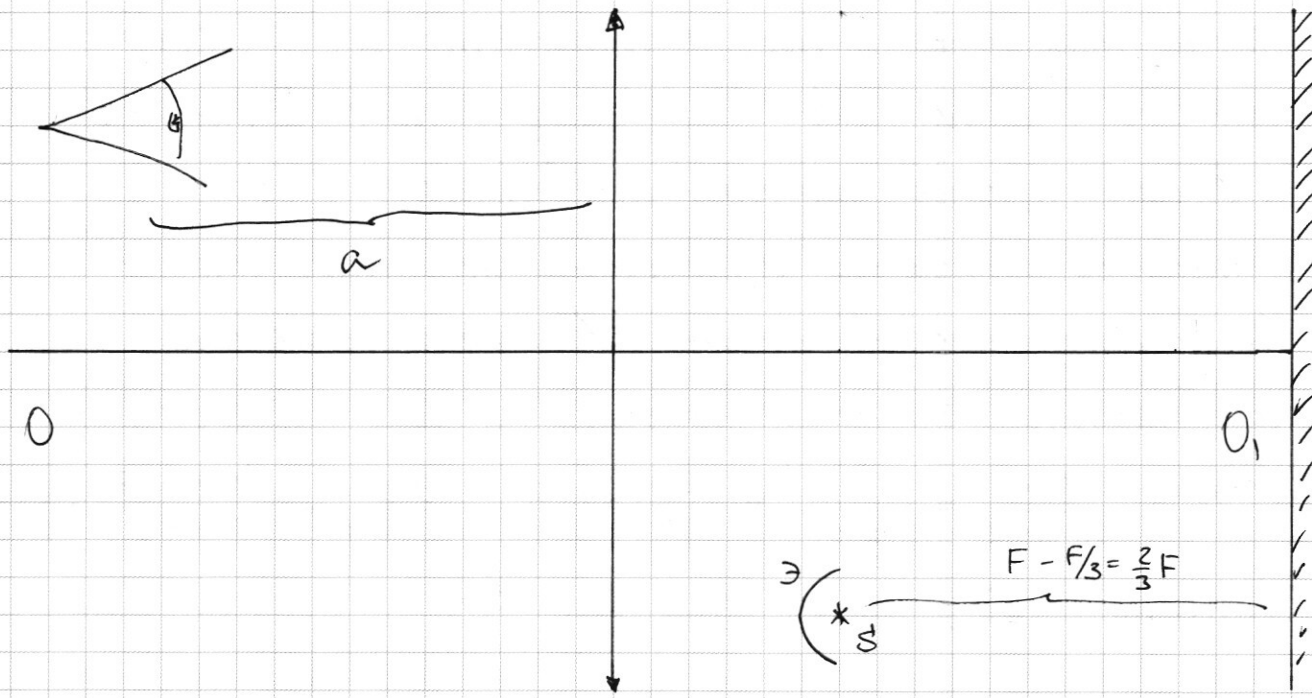
$$\cancel{\left(\frac{k-1}{k+1}\right)' = \frac{(k-1)'(k+1) - (k-1)(k+1)'}{(k+1)^2} =}$$

Тогда $\eta_{max} = \frac{1}{4}\cdot 1 = 0{,}25$

Ответы: 1) $n_1 = \frac{3}{5}$; 2) $n_2 = 4$; 3) $\eta_{max} = 0{,}25$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

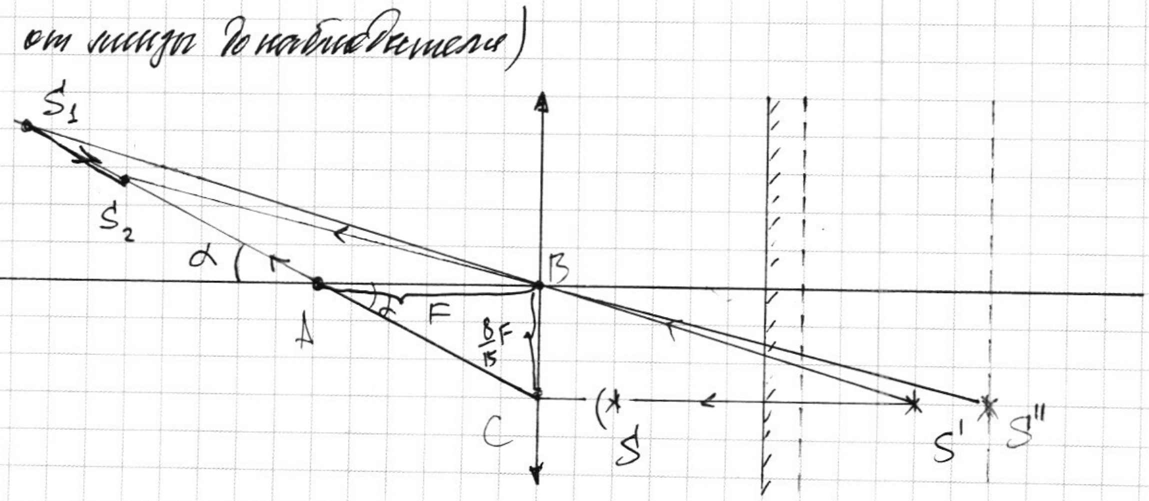
№5



1) Заметим, что вместо источника S мы можем рассматривать его отраженный в зеркале аналог S'. Тогда он находится на расстоянии $\frac{F}{3} + \left(\frac{2}{3}F\right)\cdot 2 = \frac{5}{3}F$ от плоскости линзы $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ по ф-ле линзы $\frac{1}{a} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F} \Rightarrow a = \frac{5F}{2}$ (a – расстояние от линзы до наблюдателя)

2)



Рассмотрим сдвиг зеркала на малой Δx. Заметим, что ~~изображение~~ отражение тогда сдвинулось на $2\Delta x$. Построим изображение. Заметим, что при движении отражения есть один нужный луч — $\parallel OO_1$ и проходящий через фокус. Изображение движется вдоль него $\Rightarrow$ осталось найти угол α. Для этого можно рассмотреть ΔABC, в котором $\angle BAC = \alpha$. Тогда $tg\,\alpha = \frac{\frac{8}{15}F}{F} = \frac{8}{15} \Rightarrow \sin\alpha = \frac{8}{17}$; $\cos\alpha = \frac{15}{17}$.

3) Заметим, что скорость изображения $\parallel OO_1$ относится к скорости отражения источника как Γ^2, где Γ — поперечное увеличение. Обозначим скорость изображения за $u \Rightarrow$ её составл. $\parallel OO_1$ — $u\cdot\cos\alpha$

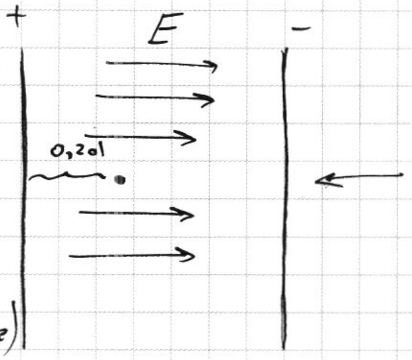
Тогда $\frac{2v}{u\cdot\cos\alpha} = \left(\frac{\frac{5}{3}F}{\frac{5}{2}F}\right)^2 = \frac{4}{9} \Rightarrow u = \frac{9v}{2\cos\alpha} = \frac{\cancel{9}^{3}\cdot v\cdot 17}{2\cdot \cancel{15}_{5}} = \frac{51}{10}v$

Ответы: $\frac{5F}{2}$; $\cos\alpha = \frac{15}{17}$; $u = 5{,}1v$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №3



1) ЗСЭ для момента влёта и остановки:

$\frac{mv_1^2}{2} = qE \cdot (d - 0{,}2d)$ (E - напр. электр. поля внутри конд.)

$E = \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 a^2}{d}$ (a - сторона квадрата)

$v_1^2 = 2\gamma \varepsilon_0 a^2 \cdot 0{,}8 \Rightarrow a^2 = \frac{5v_1^2}{8\gamma\varepsilon_0}$

На частицу действует постоянная сила $F = qE$ на протяжении всего движения в конденсаторе => по II з-ну Ньютона $F = ma_{зам} \Rightarrow a_{зам} = \gamma E$. Тогда время до полной остановки $T = \frac{v_1}{a_{зам}} = \frac{v_1}{\gamma E} = \frac{dv_1}{\gamma \varepsilon_0 a^2} =$

$= \frac{v_1 d}{\cancel{\gamma \varepsilon_0} \cdot \frac{5v_1^2}{8\cancel{\gamma\varepsilon}}} = \frac{8}{5}\frac{d}{v_1} = 1{,}6\frac{d}{v_1}$

2) $U = E \cdot d = \varepsilon_0 a^2 = \frac{5v_1^2}{8\gamma}$

3) ~~Заметим, что конденсатор пропускает поле сквозь себя. На бесконечности он кажется точечным зарядом-ком =>~~ ~~ЗСЭ:~~ $\cancel{\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + W}$, ~~где W - энергия, потраченная на полет к конденсатору.~~ $\cancel{\left(W(r) = \frac{kq^2}{r} \right) \Rightarrow}$

$\cancel{\Rightarrow W = \int_\infty^0 \frac{kq^2}{r} dr = kq^2 \cdot \int_\infty^0 \frac{1}{r} dr = kq^2 \cdot \ln r \Big|_\infty^0 =}$

3) Считаем, что на бесконечности потенциал 0.

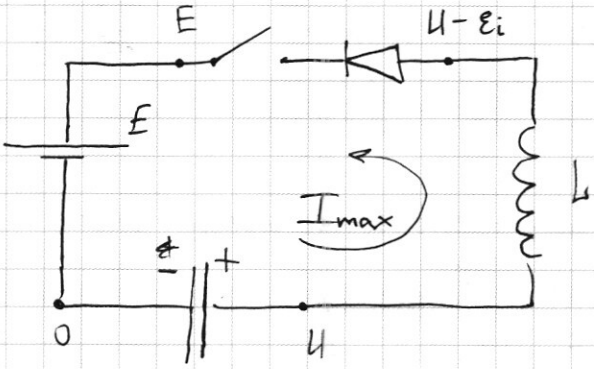
Тогда частица пролетела от потенциала 0 до потенциала $+\frac{U}{2} = +\frac{5v_1^2}{16\gamma}$ => ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = +q\cdot\frac{U}{2} + \frac{mv_1^2}{2}$ =>

=> $v_0^2 = +\gamma U + v_1^2 = \frac{13}{8}v_1^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{13}{8}}\,v_1$

Ответы: $\frac{8}{5}\frac{d}{v_1}$; $\frac{5v_1^2}{8\gamma}$; $\sqrt{\frac{13}{8}}\,v_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №1



1) ~~Заметим, что батарейка и конденсатор поставлены сонаправленно =>~~

Расставим потенциалы.

Заметим, что диод откроется только в случае

$U_1 - \varepsilon_i \geq E + U_0$. ε_i - ЭДС самоиндукции - $L\dot{I}$

В тот момент, когда ключ замкнули можно считать, что заряд на конденсаторе еще не уменьшился =>

$\Rightarrow U_1 - \varepsilon_i = E + U_0 \Rightarrow \dot{I} = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = 10\ \frac{A}{c}$.

Как мы видим условие открытого диода выполнено.

2) Обозначим максимальный ток в цепи за I_{max}. Пусть в момент его протекания на конденсаторе было напряжение U_c. Тогда разность потенциалов на диоде: $U_c - \varepsilon_{I_{max}} = E + U_0 \Rightarrow U_c = E + U_0$.

Заряд, протекший через источник $\Delta q = C(U_1 - U_c) = C(U_1 - E - U_0)$.

Заметим, что заряд протекал в отрицательном направлении батарей. ЗСЭ:

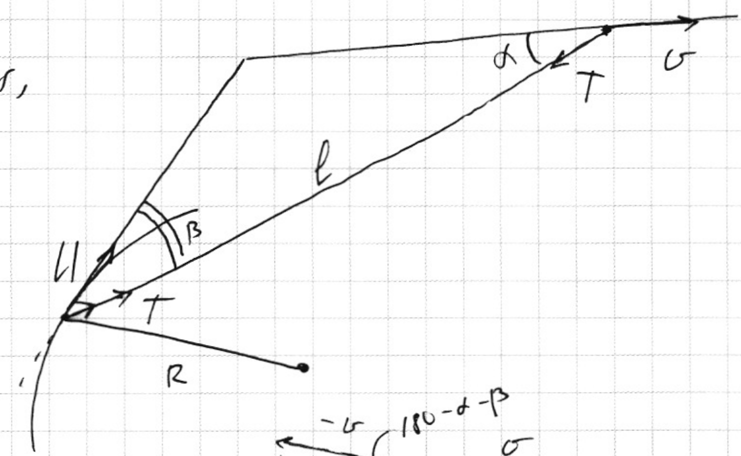
$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{CU_c^2}{2} + \frac{LI_{max}^2}{2} - \Delta q \cdot E$$

$$CU_1^2 = C(E+U_0)^2 + LI_{max}^2 - 2(U_1 - E - U_0)EC$$

$$I_{max}^2 = \frac{CU_1^2 - C(E+U_0)^2 + 2(U_1 - E - U_0)EC}{L} = 32 \cdot 10^{-4}\ A^2$$

$$\Rightarrow I_{max} = \sqrt{32} \cdot 10^{-2}\ A$$

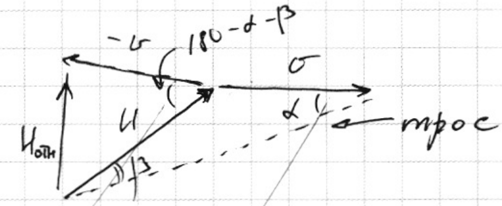
Задача №1



1) Т.к. трос нерастяжим, то для него выполнен закон палочки =>

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

$\Rightarrow u = v\dfrac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \dfrac{51}{40}v$



2) $u_{отн}$ – скорость кольца отн. муфты. Запишем теор. косин.:

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

$$-\sin\alpha\sin\beta)uv = v^2+u^2+2\left(\frac{3}{5}\cdot\frac{8}{17}-\frac{4}{5}\cdot\frac{15}{17}\right)uv =$$

$$= u^2+v^2-\frac{2\cdot 36}{5\cdot 17}\cdot uv = \cancel{v^2\left(\frac{51^2}{40^2}+\frac{40^2}{40^2}-\frac{72}{85}\right)}$$

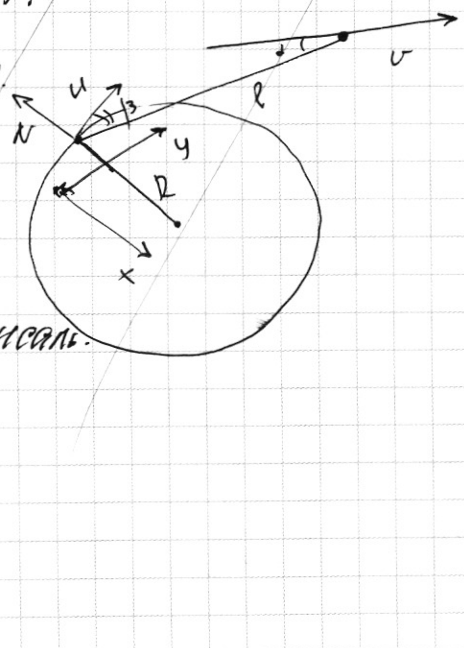
$$= \left(\left(\frac{51}{40}\right)^2+1-\frac{2\cdot 36\cdot 51}{5\cdot 17\cdot 40}\right)v^2 = \left(\frac{2601+1600-1728}{1600}\right)v^2 = \frac{2473}{1600}v^2$$

$$u_{отн} \approx \frac{50}{40}v \approx \frac{5}{4}v$$

3) Сила натяжения троса – T.

N – сила реакции опоры на кольцо.

II з-н Ньютона на Ox и Oy



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

$T\cos\beta = ma$, где a – тангенциальное ускорение.

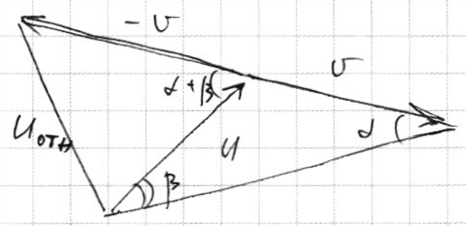
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) Заметим, что установившийся режим наступит при условии, что диод закрыт => U_2 нач $\leq U_0 + E$ =>
=> $U_2 = 4В$.

2) Теорема косинусов:

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

$$= v^2\left(\left(\frac{51}{40}\right)^2+1+\frac{2\cdot 36\cdot 3}{8\cdot 40}\right) =$$



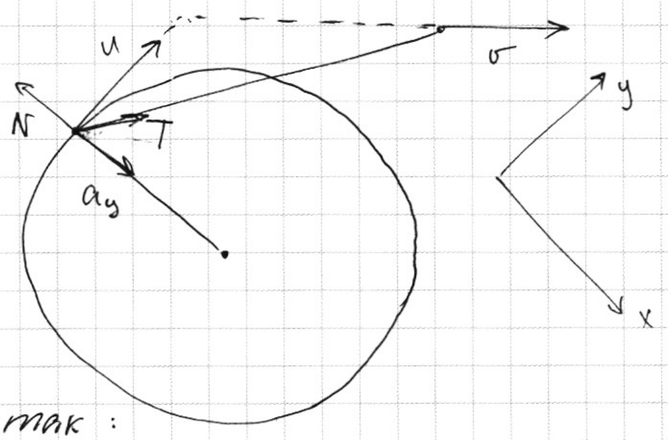
$$= v^2\left(\frac{4201+1728}{1600}\right) = v^2\cdot\frac{5929}{(40)^2} = \left(\frac{53}{40}\right)^2\cdot v^2$$

$$u_{отн} = \frac{53}{40}v$$

3) II з-н Ньютона на Ox и Oy:

$$\frac{mu^2}{R} = T\cdot\sin\beta - N$$

$$ma_\tau = T\cos\beta$$



Перейдём в ИСО муфты.
заметим, что сила T при этом не поменяется
В данной с.о. движение так:
окружность уезжает от точки подвеса - муфты

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N2

$p = kV \Rightarrow kV^2 = \nu RT$

$E = \frac{\varepsilon_0 S'}{d}$

$\frac{mv_1^2}{2} = qE \cdot 0{,}8d$

$v\cos\alpha = v$

$\frac{\sin^2\alpha}{1-\sin^2\alpha} = \frac{64}{225}$

$225 \sin^2\alpha = 64 - 64\sin^2\alpha$

$289 \sin^2\alpha = 64 \Rightarrow \sin\alpha = \frac{8}{17}$; $\cos\alpha = \frac{15}{17}$

$1\to2$: $C_+\Delta T = \frac{3}{2}R\cdot\Delta T + \left(\frac{p_1+p_2}{2}\right)\cdot(V_2 - V_1)$

$\Delta T = \frac{p_2V_2}{R} - \frac{p_1V_1}{R}$

$C = \frac{3}{2}R + \frac{p_1V_2 - p_1V_1 + p_2V_2 - p_2V_1}{2p_2V_2 - 2p_1V_1}\cdot R =$

$= \frac{3}{2}R + \frac{kp_1V_1 - p_1V_1 + k^2p_1V_1 - kp_1V_1}{2(k^2p_1V_1 - p_1V_1)}R =$

$\frac{k^2-1}{2\,k^2-1} = 2R$

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

$p_2 = kp_1$

$pV_2 = kp_2$

$\varepsilon + U_1 = U_0 + L\dot{I}$

$\dot{I} = \frac{\varepsilon + U_1}{L_0}$

$U - \varepsilon i = U_0 + \varepsilon$

$\dot{I}\varepsilon_1 = \frac{U - \varepsilon - U_0}{L} =$

$=$

0

-1

13

E $\quad U - \varepsilon i$

$\frac{mv^2}{R}$

$\frac{u18m\alpha}{\varepsilon}\quad \frac{0}{48m\alpha}$

$\frac{17^2\cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 17}{4201 \cdot 85} - \frac{3\cdot 12\cdot 40^2}{72\cdot 40^2}$

$v^2\left(\frac{4201}{40^2}\right)$

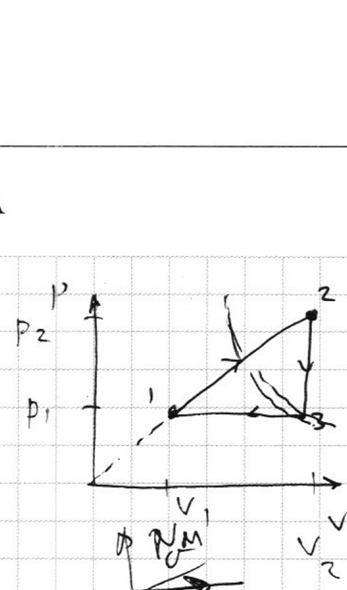
277085, 115200, 161785, 1600

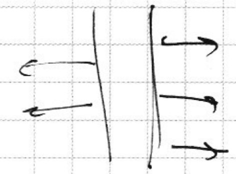
$\frac{51^2}{40^2} + \frac{13}{85}$

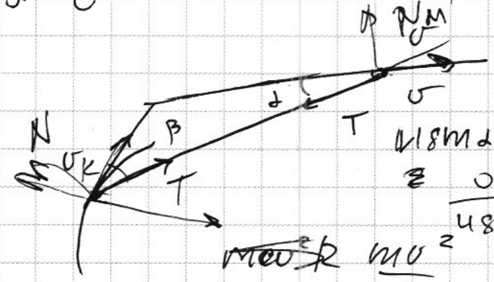
51 × 51 = 2601; 4201 × 85 = 21005 + 33608 = 357085

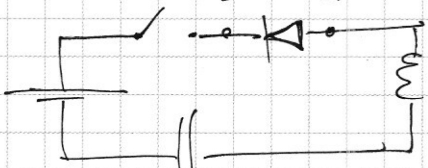
72 × 16 = 432 + 72 = 1152 (115200)

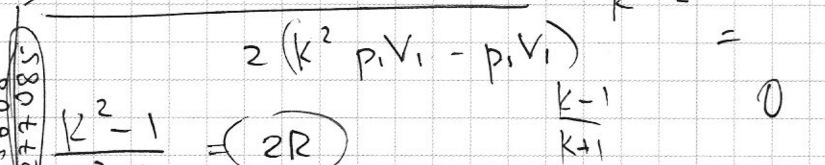
45 × 45; 5929 / 53; 4201 + 1728; 83 × 83; 77 × 77











☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F} \Rightarrow \frac{ab}{a+b}=F \qquad \frac{a}{b}=\frac{v}{u}$$

$$\frac{1}{a-v\Delta t}+\frac{1}{b+u\Delta t}=\frac{1}{F}$$

$$\frac{(a-v\Delta t)(b+u\Delta t)}{a+b-v\Delta t+u\Delta t}=F=\frac{ab}{a+b} \qquad 0\to\frac{\varphi}{2}$$

$$\frac{ab-bv\Delta t+au\Delta t-vu\Delta t}{a+b-v\Delta t+u\Delta t}=\frac{ab}{a+b}$$

$$1-\frac{v\Delta t}{a}+\frac{u\Delta t}{b}-\frac{vu}{ab}\Delta t$$

$$\frac{(a+v\Delta t)(b+u\Delta t)}{a+b+(v+u)\Delta t}=\frac{ab}{a+b}$$

$$\frac{ab+au\Delta t+bv\Delta t+vu\Delta t^2}{a+b+(v+u)\Delta t}=\frac{ab}{a+b}$$

$$\cancel{ab(a+b)}+(au\Delta t+bv\Delta t)(a+b)+vu\Delta t^2(a+b)=\cancel{ab(a+b)}+(v+u)\Delta t\, ab \quad :b^2$$

$$(\Gamma\cdot u+v)(\Gamma+1)+\cancel{\frac{vu\Delta t}{b^2}}=(v+u)\Gamma \quad |:u$$

$$(\Gamma+k)(\Gamma+1)=(k+1)\Gamma$$

$$\Gamma^2+\cancel{\Gamma}+\cancel{k\Gamma}+k=\cancel{k\Gamma}+\cancel{\Gamma}\to k=\Gamma^2$$

$$\left(\frac{51}{40}\right)^2+1+\frac{\cancel{2}\cdot\cancel{36}\cdot\cancel{51}}{\cancel{17}\cdot\cancel{40}}=$$

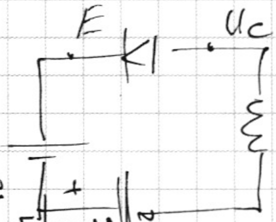
$$=\frac{51^2}{40^2}+1+\frac{27}{10}$$

$$q\cdot\frac{\varphi}{2}= \qquad \frac{\varphi}{2}=\frac{5}{16}\frac{v_1^2}{\gamma} \qquad q\cdot\frac{5}{16}\frac{v_1^2}{\gamma}$$

$$U_C=E+U_0$$

$$\frac{6-3-1}{0,2}=\frac{2}{0,2}$$

2601 + 4320 + 1600 = 8521; 8521/1600



$$20\cdot10^{-6}\cdot36-20\cdot10^{-6}\cdot16+\frac{2\cdot3}{20\cdot10^{-6}}$$

$$=\frac{72\cdot10^{-5}-32\cdot10^{-5}+\frac{3}{10^{-5}}}{0,2}=\left(40\cdot10^{-5}+\frac{3}{10^{-5}}\right)5=$$

$$\frac{2\cdot10^{-3}+\frac{15}{10^{-5}}}{0,2} \qquad 10000($$

$$\frac{20\cdot10^{-6}}{0,2}\;10^{-4}\cdot(36-16+2\cdot2\cdot3)$$

$$C(36-16+2\cdot3\cdot2$$

$$C\left(U_1^2-(E+U_0)^2+2(U_1-E-U_0)E\right)=$$

51 × 51 = 2601; 27 × 16 = 432; 1728; 2601 − 1728; 473