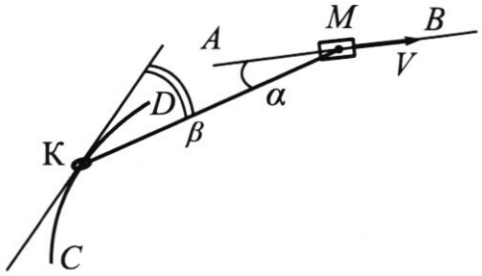
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-02

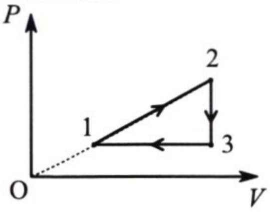
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вло

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.



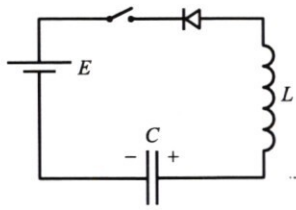
1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.
2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

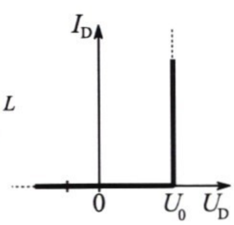
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между 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.

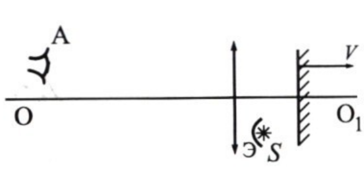
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0{,}2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.



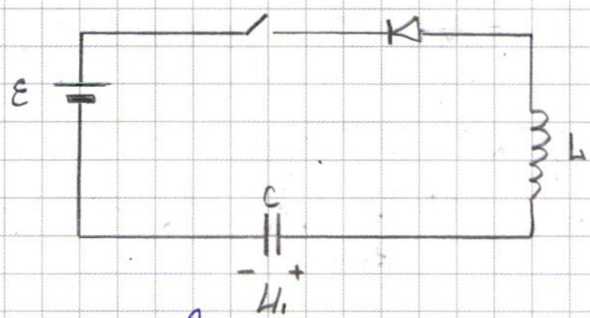
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
3) Найти скорость изображения в этот момент.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

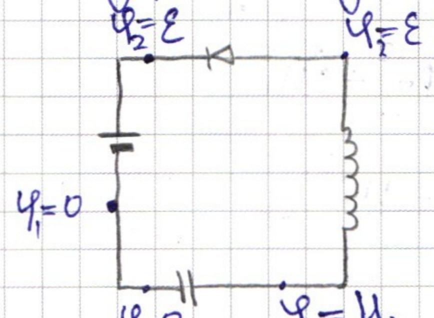
4.



1) В начальном сост. тока в цепи нет: она разомкнута. Ток на катушке скачком не изм. => сразу после замыкания тока в цепи не будет.

Вспомним, что U_L (напр. на катушке) $U_L = L\dot{I}$.

Изобр. схему в мом. сразу после замык.



выбир. точку нул. потенц. (см. рис)

И по методу потенц. рассм. схему. На диоде не происх. пад. напр.

Получаем, что $U_L = |\varphi_2 - \varphi_3| = |\mathcal{E} - U_1| = U_1 - \mathcal{E}$.

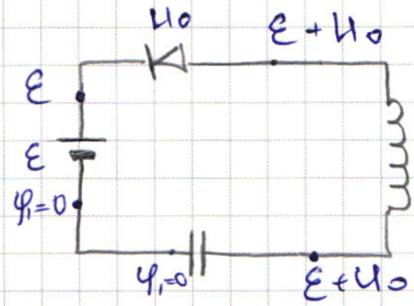
$U_L = \dot{I}L$; $\dot{I}$ — скорость возр. силы тока.

$$\dot{I} = \frac{U_L}{L} = \frac{U_1 - \mathcal{E}}{L};$$

$$\dot{I} = \frac{U_1 - \mathcal{E}}{L} = 15\ \text{А/с}.$$

2) Ток в цепи будет сущ. только если ~~U_D~~ U_0. $U_D = U_0$.

Учтём это, когда будем расст. потенциалы!



выб. точку нул. потенц. (прим. метод. потенц.).

Ток макс. $\Rightarrow$

$U_L = 0$ т.к. $U_L = L\dot{I}\big|_{I_{max}} = L\cdot 0 = 0$.

$A_{ист} = \Delta W_L + \Delta W_C$.

Изн. на полож. обкл. конд. был заряд

$q_1 = CU_1$, а в мом., когда $I = I_{max}$

$q_2 = C(\mathcal{E}+U_0-\varphi_1) = C(\mathcal{E}+U_0)$.

$\Delta q = q_1 - q_2 = C(U_1-\mathcal{E}-U_0)$. Он прош. в против. напр. через ист. ЗСЭ: $W_C = \frac{q^2}{2C}$

$$-C(U_1-\mathcal{E}-U_0)\mathcal{E} = \left(\frac{I_{max}^2 L}{2} - 0\right) + \left(\frac{(C(\mathcal{E}+U_0))^2}{2C} - \frac{(CU_1)^2}{2C}\right) \quad \Big|\times 2C$$

$$2(U_0+\mathcal{E}-U_1)\mathcal{E}\cdot C^2 = I_{max}^2 LC + C^2(\mathcal{E}+U_0)^2 - (CU_1)^2$$

$$I_{max}^2 LC = 2(U_0+\mathcal{E}-U_1)\mathcal{E}C^2 - C^2(\mathcal{E}+U_0)^2 + C^2U_1^2$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{C(2(U_0+\mathcal{E}-U_1)\mathcal{E} - (\mathcal{E}+U_0)^2 + U_1^2)}{L}} =$$

$$= \sqrt{\frac{20\cdot 10^{-6}\cdot(2\cdot(-2)\cdot 3 - 4^2 + 36)}{0{,}2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{20\cdot 10^{-6}\cdot(8)}{0{,}2}} = \sqrt{100\cdot 8\cdot 10^{-6}} = 10\cdot 10^{-3}\cdot 2\sqrt{2} =$$

$$= 2\sqrt{2}\cdot 10^{-2}\,А \approx 2{,}8\cdot 10^{-2}\,А.$$

3) в уст. сост. тока нет, $U_L = 0$, $U_D \to U_0$

$\Rightarrow U_C = \mathcal{E} + U_0 = 4В$

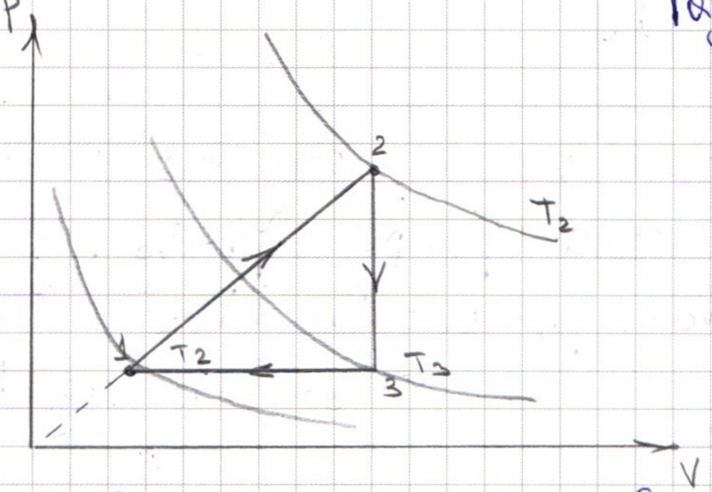
Ответ: $\frac{U_1-\mathcal{E}}{L} = 15$ А/с; $I = 2{,}8\cdot 10^{-2}$ А; $U_C = \mathcal{E}+U_0 = 4В$.

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2.

Газ одноат. => $i = 3$.



1) Чтобы понять где отвод тепла, нарис. семейство изотерм. Чем выше изот. на гр., тем выше т-ра. => $T_2 > T_3$ и $T_3 > T_1$.
Получ. что охл. идёт в проц. 2-3 и в 3-1.
Остаётся найти мол. теплоёмк. и сравн.

2-3 – изохора. ($A=0$). $Q_{23} = \Delta U + A = \Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T = C_{op}\nu\Delta T$

$C_{op} = \frac{3}{2}R$.

3-1 – изобара. $A = pV_2 - pV_1 = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R(T_2 - T_1) = \nu R\Delta T$.

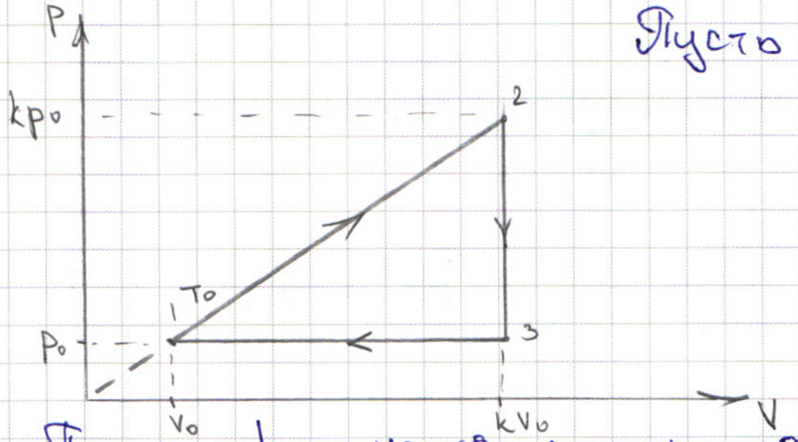
$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = C_{op}\nu\Delta T$.

$C_{op} = \frac{5}{2}R$.

$$\frac{C_{3-1}}{C_{2-3}} = \frac{C_{\nu p}}{C_{\nu v}} = \frac{5}{3}.$$

2) .

Пусть $T_1 = T_0$



Пусть tg угла накл. отр 1-2 на гр. $= k$. , тогда если $p_1 = p_0$ и $V_1 = V_0$,

$p_2 = kp_0$; $V_2 = kV_0$; $p_3 = p_0$; $V_3 = kV_0$, $T_2 = T_0 k^2$;

$T_3 = T_0 k$ из $\frac{pV}{T} = const$.

$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$.

A_{12} найд. как пл. под 1-2.

$$A_{12} = \frac{p_0 + kp_0}{2} \cdot (kV_0 - V_0) = \frac{p_0(k+1)(k-1)V_0}{2} =$$

$$= \frac{p_0V_0(k^2-1)}{2} = \frac{\nu RT_0(k^2-1)}{2}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu RT_2 - \frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}\nu R(T_0k^2 - T_0) = \frac{3}{2}\nu RT_0(k^2-1).$$

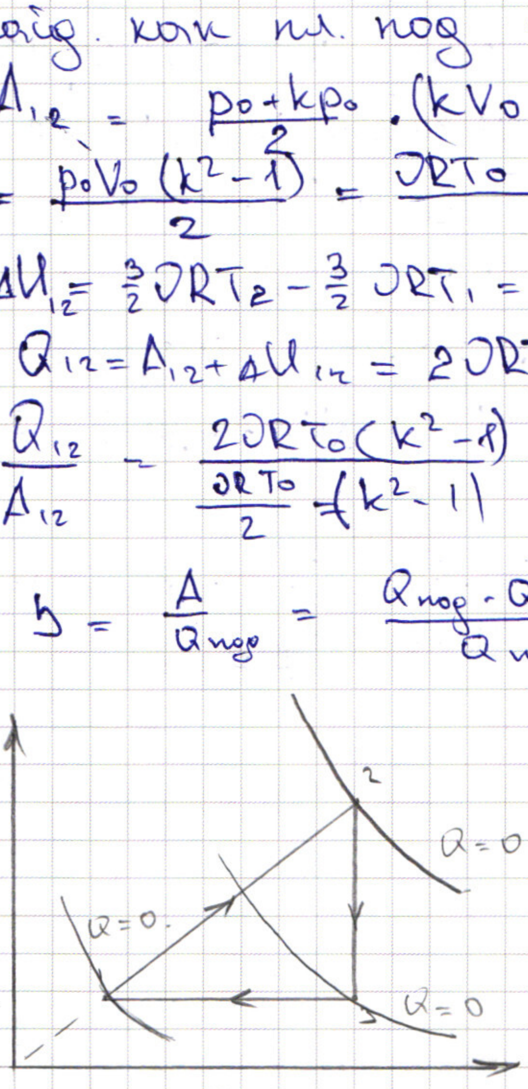
$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 2\nu RT_0(k^2-1).$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2\nu RT_0(k^2-1)}{\frac{\nu RT_0}{2}(k^2-1)} = \frac{2}{1/2} = 4.$$

3). $\eta = \frac{A}{Q_{подв}} = \frac{Q_{подв} - Q_{отв}}{Q_{подв}}$ Найдём, где теплоту подв. и где отвод.

Нарис. сем. адиабат. =>

Теплоту подв. только в 1-2.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Работа за цикл наход. как площ. цикл. на гр. $p(V)$.

$$A = \frac{1}{2}(p_0k - p_0)(V_0k - V_0) = \frac{1}{2}p_0V_0(k-1)(k-1) = \frac{1}{2}\nu RT_0(k-1)^2$$

Теплота подв. в 1-2 мы нашли в пункте 2).

$$Q_{12} = 2\nu RT_0(k^2-1).$$

η (кпд)

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{\frac{1}{2}\nu RT_0(k-1)^2}{2\nu RT_0(k^2-1)} = \frac{1}{4}\frac{(k-1)(\cancel{k-1})}{(k+1)(\cancel{k-1})} = \frac{1}{4}\frac{k-1}{k+1} =$$

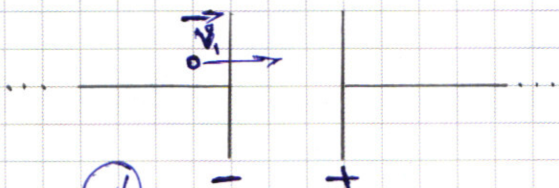
$$= \frac{1}{4}\cdot\frac{k+1-2}{k+1} = \frac{1}{4}\left(1-\frac{2}{k+1}\right).$$

Мы получ. завис. $\eta(k)$. Её анализ показ., что $\eta = \eta_{max}$ при $k \to \infty$.

$$\lim_{k\to\infty}\left(\frac{1}{4}\left(1-\frac{2}{k+1}\right)\right) = \frac{1}{4}. \qquad (25\%).$$

Ответ: $\frac{C_{\nu p}}{C_{\nu V}} = \frac{5}{3}$; $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$; $\eta_{max} = 25\%$.

3.



Для однородного поля справедливо.

$U = \Delta\varphi = E d$

Сила, действ. на заряд – сила Кулона.

$F_к = qE$.

Значит, на частицу д. пост. сила $F_к$.

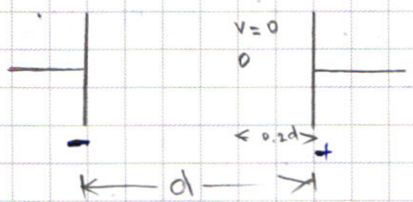
Значит, её движ. явл. равнозам.

1) Для равнозам. справедл.

$\frac{v_к^2 - v_н^2}{2a} = S$; где $v_к$ и $v_н$ – кон. и нач. ск. соотв., a – ускор., S – путь.

$v_к = 0$. $v_н = V_1$. ~~S=~~

Найдём путь.



$S = d - 0{,}2d = 0{,}8d$.

$\frac{v_к^2}{2a} = S$; $\frac{V_1^2}{2a} = 0{,}8d$.

Время до ост. $\tau_{ост} = \frac{V_1}{a}$;

$$\tau_{ост} = \frac{2\cdot(0{,}8d)}{V_1} = \frac{1{,}6d}{V_1} = \frac{8d}{5V_1}$$

$$\tau_{ост} = \frac{8d}{5V_1}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2). Для остановки частица прошла расстояние 0,8d.

$$\ell E = U$$

$$\frac{0{,}8d}{d} = \frac{U_x}{U} \quad \cancel{\frac{0{,}8d}{d} = \frac{U_x}{U}} \; ; \; U_x = \frac{4}{5}U.$$

ЗСЭ: для момента влёта в конд. и мом. ост.

$$\frac{mV_1^2}{2} = qU_x \; ; \; U_x = \frac{4}{5}U = \frac{m}{q}\frac{V_1^2}{2} =$$

$$= \left\{\frac{q}{m} = \gamma\right\} = \frac{4}{5}U = \frac{V_1^2}{2\gamma}$$

$$U = \frac{5V_1^2}{8\gamma}.$$

3) ЗСЭ: На бескон. потенц. равен нулю.

$$\cancel{q \cdot 0{,}8U = \frac{mv_\infty^2}{2} \; ; \; v_\infty = \sqrt{\frac{1{,}6Uq}{m}} = \sqrt{1{,}6 \cdot \frac{5V_1^2}{8\gamma}\gamma}}$$

Предст. конд. как две пласт. с потенц. $-\frac{U}{2}$ и $\frac{U}{2}$.

Тогда мом. „влета" и на беск. ЗСЭ:

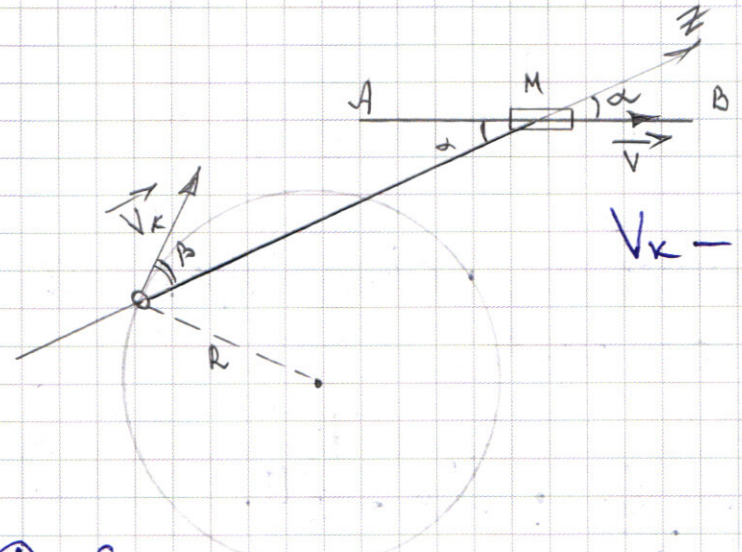
$$\frac{mv_\infty^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} - \frac{qU}{2} \; ; \; v_\infty^2 = V_1^2 - \frac{q}{m}\cdot U =$$

$$= V_1^2 - \gamma \cdot \frac{5}{8}\frac{v_1^2}{\gamma} = \sqrt{\frac{3}{8}v_1^2} =$$

$$= v_1\sqrt{\frac{3}{8}}.$$

Ответ: $\frac{8d}{5V_1}$; $\frac{5v_1^2}{8\gamma}$; $v_1\sqrt{\frac{3}{8}}$.

1.



V_K — искомое.

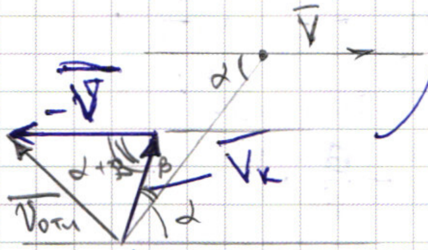
1) Проведём ось Z так, чтобы в д. мом. трос лежал на оси. Длина троса постоянная. => $V_{K_z} = V_z$ (1) при рассмотр малого пром. времени. Спроец. на O_z (1):

$$V_K \cdot \cos\beta = V \cos\alpha$$

$$V_K \cdot \frac{8}{17} = V \cdot \frac{3}{5}; \quad V_K = 40 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{17}{8} = 51 \text{ см/с}.$$

$V_K = 51$ см/с.

2. Для ответа на вопрос перейдём в СО, св. с Муфтой. Отнимем от вектор $\vec{V_K}$ вектор $\vec{V}$.



найдём по теор. косин.

$$\cos(\alpha+\beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta = \frac{3}{5}\cdot\frac{8}{17} - \frac{4}{5}\cdot\frac{15}{17} = \frac{24-60}{5\cdot17} = \frac{-36}{5\cdot17}$$

$$V_{отн} = \sqrt{40^2 + 51^2 - 2\cdot51\cdot40\cdot\left(-\frac{36}{5\cdot17}\right)} =$$

$$= \sqrt{1600+2601+1728} = \sqrt{5929} = 77 \text{ см/с}.$$

Ответ: 51 см/с; 77 см/с.

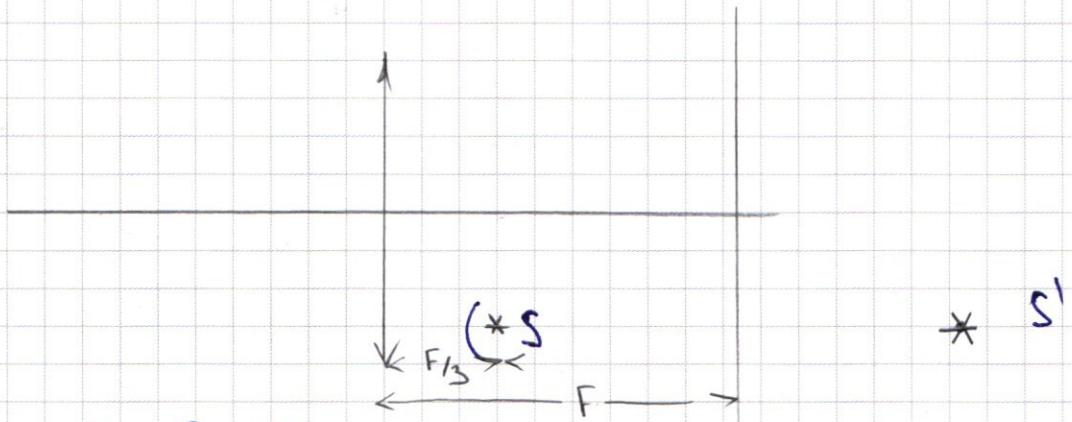
☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

3).

$\cancel{a_y = a_x}$

$\cancel{a_x =}$

5.



$F - \frac{F}{3} = \frac{2F}{3}$ ← X →

$$X = F + F - \frac{F}{3} = \frac{5}{3}F.$$

Линза собир. предм - мним. изобр - действ.

$$\frac{1}{F} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{d+F}{Fd};$$

$$f = \frac{Fd}{d+F} = \frac{F \cdot x}{x+F} =$$

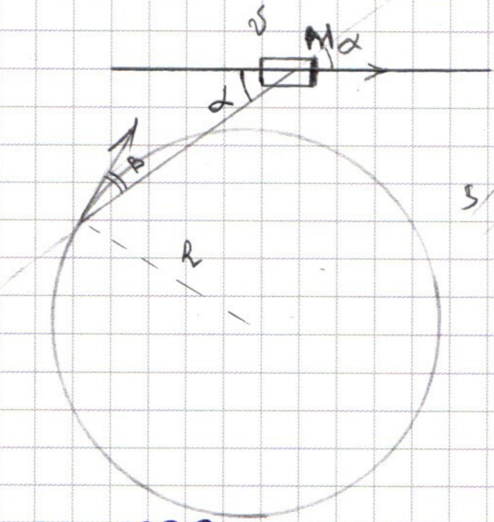
$$= \frac{F \cdot \frac{5}{3}F}{F + \frac{5}{3}F} = \frac{\frac{5}{3}F^2}{\frac{8}{3}F} = \frac{5}{8}F.$$

Ответ: $\frac{5}{8}F$.

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

48×36: 288, 144, 1728



$v_1 \cos\alpha = v_2 \cos\beta$

$40 \cdot \frac{3}{5} = x \cdot \frac{8}{18}$

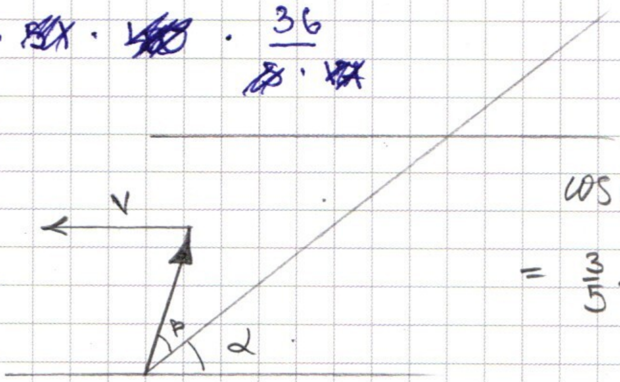
$x = 54$

48×36: 288, +144, 1728

51×51: 51, 255, 2601

$50 \cdot 51 + 51 = 2550$

$8 \cdot 3 \cdot 2 \cdot \cancel{51} \cdot \cancel{40} \cdot \frac{36}{\cancel{5} \cdot \cancel{17}}$



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

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

$2 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 36$

$40^2 + 51^2 + 2 \cdot 40 \cdot 51 \cdot \frac{36}{\cancel{5} \cdot \cancel{17}}$

$1600 + 2601 + 1728 = 5929$

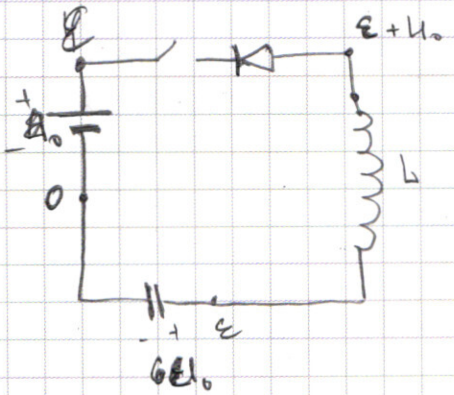
76×76: 456, 532, 5776

77×77: 539, 539, 5929

53×53: 159, 265, 2719

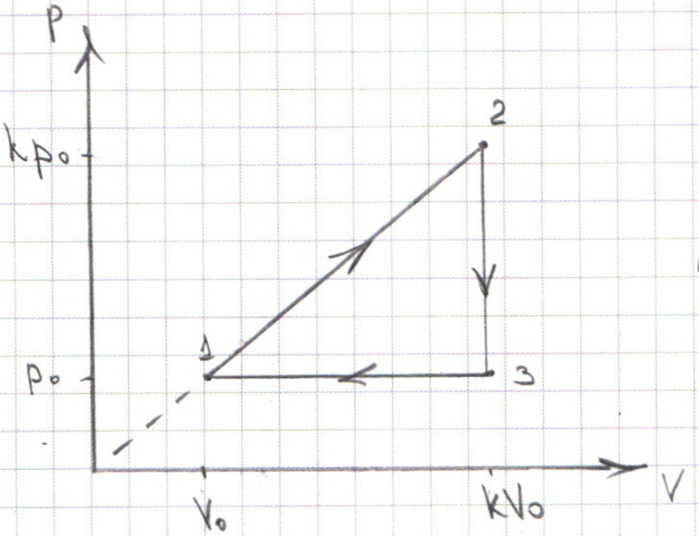
73×73: 219, +511, 5329

4.



$U_L = \dot{J}L = 0$

$A_{ист} = \Delta W_c + \Delta W_L$



$p_0V_0 = \nu RT$

$k^2 p_0 V_0 = \nu R T_x$

$T_x = T \cdot k^2$

$A_{12} = \frac{p_0 + kp_0}{2} \cdot V_0(k-1) =$

$= p_0V_0 = \frac{(k+1)(k-1)}{2} =$

$= \frac{p_0V_0(k^2-1)}{2} =$

$= \frac{\nu RT(k^2-1)}{2}$

$\frac{V^2}{2a} = 0{,}8 \qquad 0{,}84q = \frac{mv^2}{2}$

$\frac{V}{a} = \frac{1{,}6d}{V}$

$51 \cdot 50 + 51 = 2550 = 2601.$

$0{,}8\,qU = \frac{mv^2}{2}.$

$v = \sqrt{\frac{1{,}6\,qU}{m}} = \sqrt{1{,}6\,\cancel{g}\,\frac{q}{m}}.$

$-0{,}5\,qU + \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$

☐ черновик ☐ чистовик Страница №__

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