

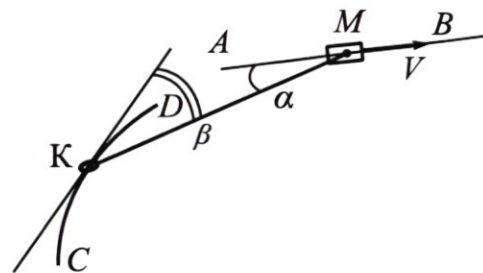
Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Класс 11

Вариант 11-02

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

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 α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



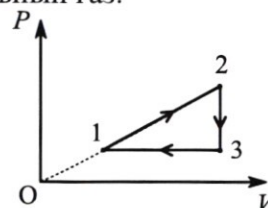
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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

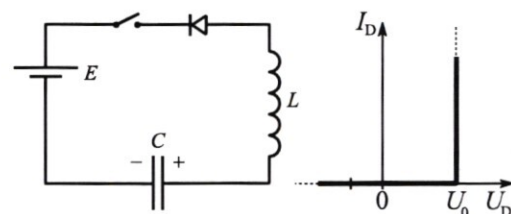
1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.

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.

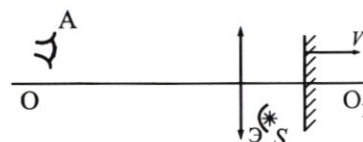
3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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

№1.

Дано:

$$V = 40 \text{ см/с} = 0,4 \text{ м/с}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$R = 1,7 \text{ м}$$

$$l = \frac{17}{15} R =$$

$$\cos \alpha = 3/5$$

$$\cos \beta = 8/17$$

Найти:

- 1) u - ? (скорость кольца с.о. Земли)
- 2) u' - ? (скорость кольца с.о. муфта)
- 3) T - ?

Решение:

- 1) Проекции скорости муфты и кольца на трос должны быть равны (он не растягивается и не сжимается), т.е.

$$V \cos \alpha = u \cos \beta$$

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

$$u = 0,4 \text{ м/с} \cdot \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = 0,51 \text{ м/с}$$

- 2) Перейдем в с.о. муфта. Теперь она покоится, а проволока вместе с муфтой движется от неё. Заметим, что относительная скорость u' кольца обязательно перпендикулярна тросу (он не растягивается и не сжимается)

$$\text{Пусть } \vec{u}' = \vec{u} - \vec{V}$$

$$u'^2 = V^2 + u^2 - 2Vu \cos(\alpha + \beta)$$

$$u'^2 = V^2 \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} \right) - 2 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} V^2 (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)$$

$$u'^2 = V^2 \left(1 + \frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \beta} - 2 \cos^2 \alpha + 2 \frac{\cos \alpha \sin \alpha \sin \beta}{\cos \beta} \right)$$

$$u'^2 = V^2 \left(1 + \right)$$

Из (1) мы знаем, что $V \cos \alpha = u \cos \beta$, придем угол α между $-\vec{V}$ и $\vec{u}' = \alpha + \beta$. Тогда в Δ , образованном этими векторами высота к $\vec{u}'$ делит угол $-\vec{V}$ и $\vec{u}'$ на α и β , т.е.

$$u' = V \sin \alpha + u \sin \beta = \frac{4}{5} \cdot 0,4 \text{ м/с} + \frac{85}{17} \cdot 0,51 \text{ м/с} = 0,32 \text{ м/с} + 0,25 \text{ м/с} = \boxed{0,77 \text{ м/с}}$$

Более того, поскольку "высота" $V \cos \alpha = u \cos \beta$ перпендикулярна тросу (см. рис.), $\vec{u}' \perp \text{тросу} \Rightarrow \vec{u}' = \vec{u}$.

н.т. (продолжение)
 3) ~~то~~ заметим, что в с.о. муфта колесно движется
 по окр-ти радиуса ℓ . Тогда $T = F_{ц.б.}$, т.е.

$$T = m \frac{v'^2}{\ell} = 1 \text{ кг} \cdot \frac{0,56^2 \text{ м}^2/\text{с}^2}{17^2 \text{ м}} = 1 \text{ кг} \cdot \frac{0,77^2 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot 150}{17^2 \text{ м}} \approx$$

$$\approx \frac{0,85^2 \cdot 150}{17^2} \text{ Н} = \frac{25 \cdot 150}{10000} \text{ Н} = \frac{3}{8} \text{ Н}$$

Ошибки:

- 1) 0,51 м/с
- 2) 0,77 м/с
- 3) $\approx 0,375 \text{ Н}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Понижение температуры
происходящее на участках 2-3
и 3-1.

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

2-3 : (200 3-к т.д.)

$$C dT = \frac{3}{2} \nu R dT$$

$$C_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R$$

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

3-1 :

$$C dT = \frac{3}{2} \nu R dT + P dV$$

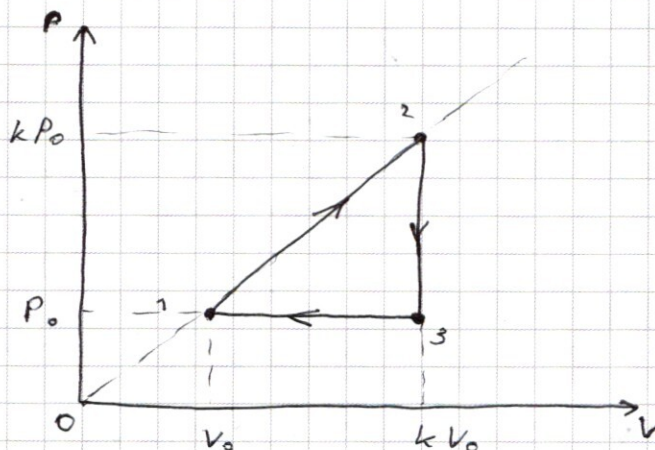
$$\nu R dT = d(PV) = dP V + P dV = P dV \quad (P = \text{const})$$

$$C dT = \nu R dT \left(\frac{3}{2} + 1 \right)$$

$$C = \frac{5}{2} \nu R$$

$$Q = \frac{5}{2} \nu R$$

$$\frac{C_{2-3}}{C_{3-1}} = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \frac{3}{5}$$



2) $Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \underbrace{P \Delta V}_{\text{площадь под графиком}}$

$$Q = \frac{3}{2} (k^2 P_0 V_0 - P_0 V_0) + \frac{P_0 + k P_0}{2} \cdot (k V_0 - V_0) =$$

$$= \frac{3}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1) + \frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1) = 2 P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

$$A = \frac{1}{2} P_0 V_0 (k^2 - 1)$$

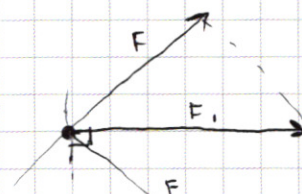
$$\frac{Q}{A} = 4$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_+}$ ← площадь т-р-ки

$$\eta = \frac{(k-1)^2 P_0 V_0}{4 P_0 V_0 (k^2 - 1)} = \frac{1}{4} \frac{k-1}{k+1} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{2}{k+1} \right)$$

При $k \rightarrow \infty$ $y \rightarrow \boxed{\frac{1}{4}}$. (Поскольку $k > 0$, в остальных случаях y меньше.)

Ответ: 1) $\frac{3}{5}$; 2) 4; 3) $\frac{1}{4}$



Дано:

d
 $s = 0,2 d$
 V_1
 $\gamma = \frac{q}{m}$

Решение:

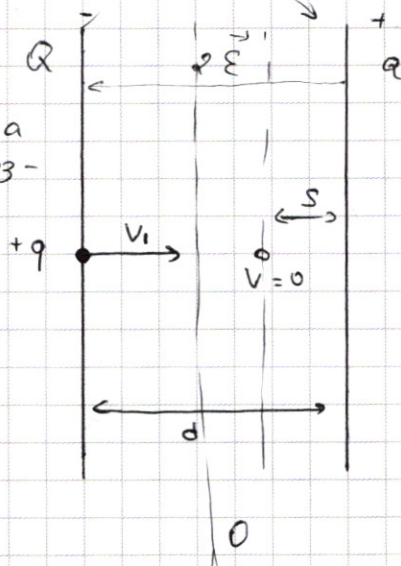
1) Внутри конденсатора каждая обкладка создает поле $\vec{E}$, где

$$E = \frac{Q}{2s\epsilon_0} \quad (1)$$

Запишем ЗСЭ:

$$\frac{mV_1^2}{2} = 2E \cdot 0,8d \cdot q$$

$$2E = \frac{V_1^2}{1,6 d \gamma}$$



Найти:

- 1) T - ?
- 2) u - ?
- 3) V_0 - ?

Внутри конденсатора частица движется с ускорением

$$a = \frac{q}{m} \cdot 2E = \frac{V_1^2}{1,6 d}$$

$$0,8d = V_1 T - \frac{a T^2}{2}$$

$$V_1 = aT$$

$$0,8d = \frac{aT^2}{2} \quad \Leftrightarrow \quad T^2 = \frac{1,6 d}{V_1^2} \cdot 1,6 d \quad \Leftrightarrow \quad T = \boxed{\frac{1,6 d}{V_1}}$$

2) Выразим Q из (1)

$$Q = 2s\epsilon_0 E = s\epsilon_0 \cdot \frac{V_1^2}{1,6 d \gamma}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$u = \frac{Q}{C} = \frac{s\epsilon_0 V_1^2 \cdot d}{1,6 d \gamma \cdot \epsilon_0 S} = \boxed{\frac{V_1^2}{1,6 \gamma}}$$

3) Заметим, что на оси симметрии O конденсатора везде один и тот же потенциал, т.к. сила, действ. на частицу всегда перп. её движению вдоль оси. Значит, можно записать ЗСЭ, где работа по перемещению заряда на ось симметрии конденсатора равна работе по его перемещению на бесконечно большое расстояние.

$$\frac{mV_1^2}{2} = 2E \cdot 0,5d \cdot q + \frac{mV_0^2}{2} \quad \Leftrightarrow \quad V_1^2 = 2Ed\gamma + V_0^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3 (продолжение)

$$V_0^2 = V_1^2 - 2 \int \varepsilon dx$$

$$V_0 = \sqrt{V_1^2 - 2 \int \varepsilon dx} = \sqrt{V_1^2 - \frac{V_1^2}{1,6 dx}} = V_1 \sqrt{1 - \frac{5}{8}} = \sqrt{\frac{3}{8}} V_1$$

Ответ: 1) $T = \frac{1,6 d}{V_1}$

2) $u = \frac{V_1^2}{1,6 dx}$

3) $V_0 = \sqrt{\frac{3}{8}} \cdot V_1$

Дано:

$\varepsilon = 3 \text{ В}$

$C = 20 \text{ мкФ}$

$u_1 = 6 \text{ В}$

$L = 0,2 \text{ Гн}$

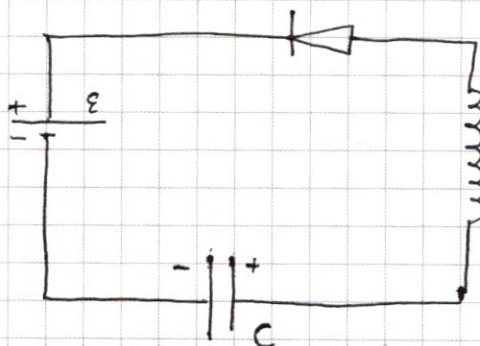
$u_0 = 1 \text{ В}$

Найти:

1) $|\dot{I}(0)| - ?$

2) $|I_{\max}| - ?$

3) $|u_2| - ?$



Решение:

1) $\varepsilon = u_0 + u_1 + L \dot{I}(0)$

$L \dot{I}(0) = \varepsilon - u_0 - u_1$

$\dot{I}(0) = \frac{\varepsilon - u_0 - u_1}{L} = \frac{3 \text{ В} - 1 \text{ В} - 6 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = -\frac{4 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = -20 \text{ А/с}$

2) $\varepsilon = u_0 + \dot{I}L + \frac{q}{C}$

$\ddot{q} = \frac{\varepsilon - u_0}{L} - \frac{q}{CL}$

Сделаем замену $y = q - C(\varepsilon - u_0)$

$\ddot{y} = -\frac{1}{CL} y$

$y = Y_0 \cos \omega_0 t$, где $\frac{1}{CL} = \omega_0^2$

$q = C(\varepsilon - u_0) + Y_0 \cos \omega_0 t$

Найдем Y_0 : $q(0) = C u_1 = C(\varepsilon - u_0) + Y_0 \Rightarrow Y_0 = C(u_1 + u_0 - \varepsilon)$

$$q = C(\varepsilon - u_0) + C(u_1 + u_0 - \varepsilon) \cos \omega_0 t$$

$$I = -\sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 + u_0 - \varepsilon) \sin \omega_0 t$$

↑ продифференцирова-
ли

$$\text{Отсюда } |I_{\max}| = \sqrt{\frac{C}{L}} (u_1 + u_0 - \varepsilon) = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-1}}} \cdot 4 =$$

$$= \boxed{0,04 \text{ A}}$$

в) Заметим, что ток не может течь в другую сторону из-за диода, поэтому через полупериода колебаний остановится. Т.е.

$$u_2 = \varepsilon q\left(\frac{T}{2}\right) = \varepsilon - u_0 - u_1 - u_0 + \varepsilon = 2\varepsilon - u_1 - 2u_0 =$$

$$= 6 - 6 - 2 \text{ В} = -2 \text{ В}$$

$$|u_2| = 2 \text{ В}.$$

Ответ: 1) 20 А/с

2) 0,04 А

3) 2 В.

н5.

Дано:

$$x_0 = F/3$$

$$y_0 = \frac{8F}{15}$$

V

$$S_0 = F$$

Найти:

1) b_0 - ?

2) d - ?

3) λ - ?

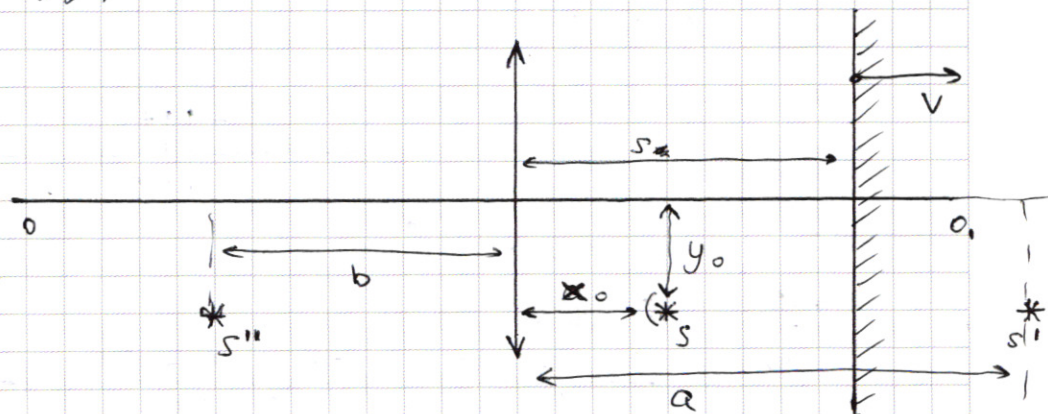
Решение:

1) Отражённый источник S' будет находиться на расстоянии a_0 (обозн.) $= S_0 + S_0 - x_0 = \frac{5}{3} F$.

Для точной интерференции выполн. соотнош.

$$\frac{1}{b_0} + \frac{1}{a_0} = \frac{1}{F} \Leftrightarrow \frac{1}{b_0} = \frac{1}{F} \left(1 - \frac{3}{5} \right) = \frac{2}{5F}$$

$$\boxed{b_0 = 2,5 F}$$



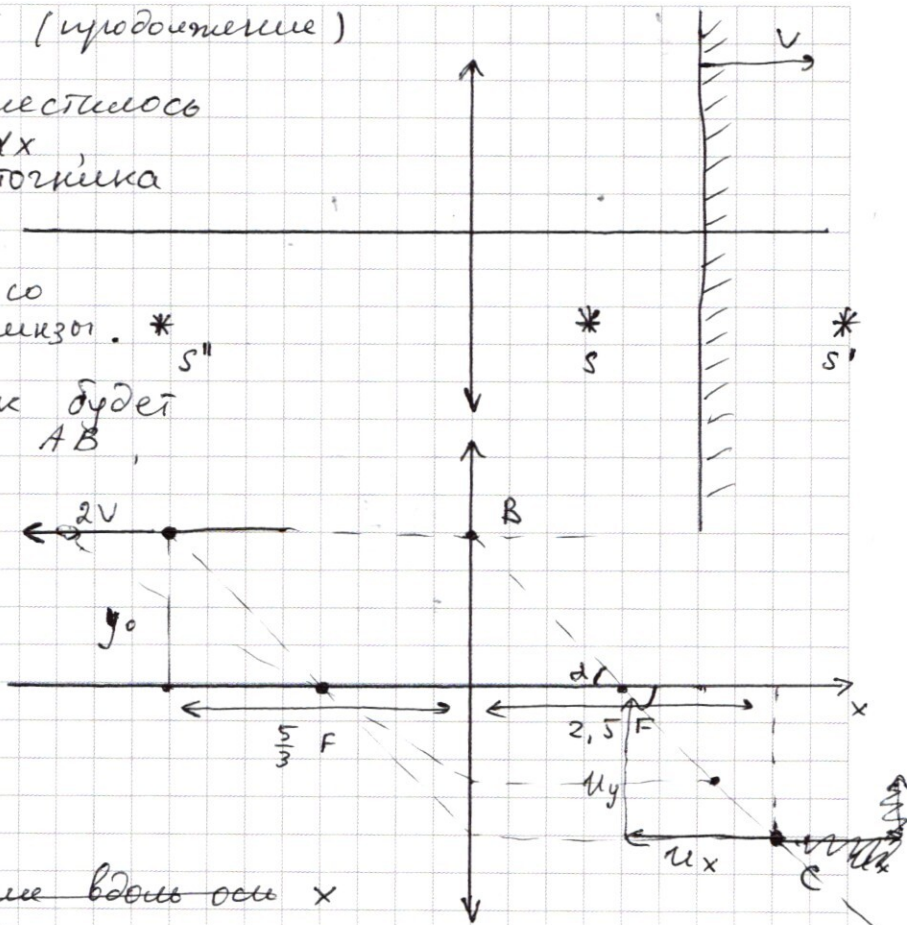
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

к5 (продолжение)

2) Пусть зеркало сместилось на расстояние Δx , тогда отражение источника S' сместилось на расстояние $2\Delta x$. Значит S' движется со скоростью $2V$ от линзы. *

Заметим, что источник будет двигаться по линии АВ, тогда изображение может находиться А только на линии ВС. Значит, его скорость направлена вдоль этой линии.

$$= \boxed{\frac{8}{15}}$$



3) Скорость изображения вдоль оси x

$$\text{равна } |U_{\text{ext}}| = I \cdot 2V = \frac{25 \cdot 9}{4 \cdot 25} \cdot 2V = \frac{9}{2} V = 4,5 V$$

~~$$U_{gy} = U_x \cdot \tan \alpha = 4,5 \text{ V} \cdot \frac{8}{15} = 2,4 \text{ V}$$~~

Послекал скорость и равна:

$$\begin{aligned}
 \text{GE} &= \sqrt{4x^2 + 2y^2} = V \cdot \sqrt{\frac{81}{4} + \frac{144}{25}} = \frac{V}{10} \sqrt{81 \cdot 25 + 144 \cdot 4} = \\
 &= \frac{V}{10} \sqrt{15^2 + 24^2}
 \end{aligned}$$

~~Скорость изобретения вдоль оси x равна~~

~~$|x| = \sqrt{20} = \frac{3}{2}$~~

№ 5 (продолжение)

3) Скорость изобращения вдоль оси x

$$|u_x| = \Gamma^2 \cdot 2V = \frac{9}{2} V$$

Площа

$$|u_y| = \frac{8}{15} \cdot \frac{9}{2} V = \frac{12}{5} V$$

Полная скорость

$$u = \frac{V}{10} \sqrt{45^2 + 24^2} = \frac{V}{10} \cdot 3 \sqrt{225 + 64} = \frac{V}{10} \cdot 3 \cdot 17 = 5,1 V$$

Дивен:

1) 2,5 F

2) $\frac{8}{15} = \operatorname{tg} \alpha$

3) $\frac{V}{10} \sqrt{45^2 + 24^2} = 5,1 V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$0,4 = \frac{1,6}{5} = \frac{3,2}{10} = 0,32 \left(1 - \frac{3}{5}\right) F = \frac{2}{5} F$
 $68 + 17 = 85 = 5 \cdot 17$

$V_{\text{cord}} = u \cos \beta$
 $\sin \alpha = \frac{4}{5}$
 $\sin \beta = \frac{13}{17}$

$u_1^2 = \left(\frac{3}{5}\right)^2$
 $\frac{3}{17}$
 $75 + 16 = 91$

$\frac{5}{2} \cdot \frac{3}{5} = \left(\frac{3}{2}\right) v$
 $90 - \alpha + \beta - 90 = (\beta - \alpha)$

$25 \cdot 9$
 $289 - 64 = 225 = 15^2$

$\frac{16}{25} + \frac{9 \cdot 289}{25 \cdot 64} - 2 \cdot \frac{9}{25} + 2 \cdot \frac{3 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 17}{25 \cdot 17 \cdot 8}$
 $\frac{9}{4} + \frac{16}{25} = 225 + 64 =$

$= \frac{25 \cdot 64 + 9 \cdot 289 - 18 \cdot 64 + 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 15 \cdot 8}{25 \cdot 64}$
 $= 15 \cdot 3 = 45$

$$10^{-5+1} = 10^{-4}$$

