

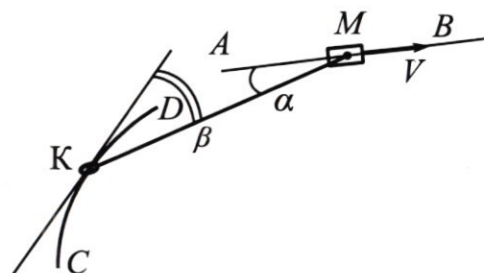
Олимпиада «Физтех» по физике, с

Вариант 11-02

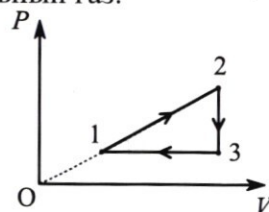
Класс 11

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

1. Муфту M двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K 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.



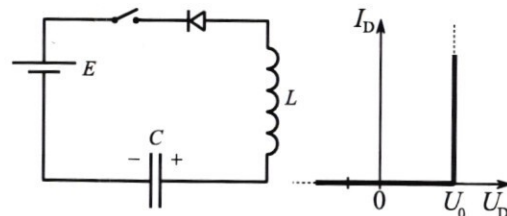
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
 - 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
 - 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.
2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). 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.

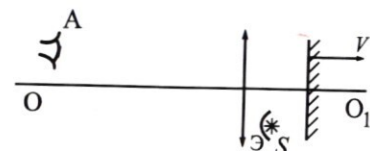
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

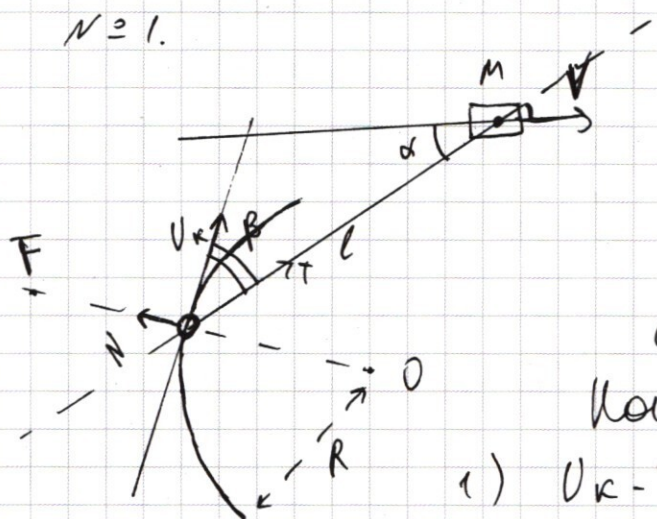
5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

$N \geq 1$.



Дано:

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

$$m = 1 \text{ кг}, R = 1,7 \text{ м}$$

$$l = 17 R / 15$$

$$\cos \alpha = 3/5, \cos \beta = 8/17.$$

Найти:

1) V_k - ? 2) $V_{отн}$ - ? 3) T - ?

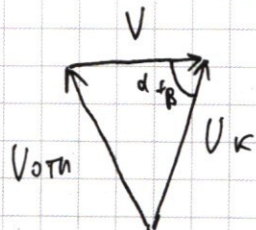
1. Направление скорости кольца совпадает с направлением движения кольца, т.е.

V_k составляет угол β с горизонт.

Трос нерастяжимый $\Rightarrow V_k \cos \beta = V \cdot \cos \alpha \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_k = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}. \quad V_k = 40 \text{ м/с} \cdot \frac{3}{5} : \frac{8}{17} = 51 \text{ м/с}.$$

2. $\vec{V}_k = \vec{V}_{отн} + \vec{V}$, упрям угол между $\vec{V}$ и $\vec{V}_k$ равен $\alpha + \beta$.



По теореме косинусов

$$V_{отн}^2 = V_k^2 + V^2 - 2 \cdot V_k \cdot V \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$\sin \alpha = 4/5, \sin \beta = 15/17 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cos(\alpha + \beta) = -36/85$$

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

Подставляя данные нам значения,
получаем $v_{огн} = 77 \text{ см/с}$

3. Перейдем в подвижную с.о., связанную с шнуром. Кольцо не может двигаться вдоль троса, т.к. тот нерастяжимый)
 $v_{огн}$ направлена по касательной к окр. с радиусом l и центром в шнуртл.

по оси OF ($\vec{v}_k \perp OF$):

$$m \frac{v_k^2}{R} = T \cdot \sin \beta - N.$$

по оси, $\parallel$ тросу (с учетом, что $\vec{v}_{огн} \perp$ тросу)

$$m \frac{v_{огн}^2}{l} = T - N \cdot \sin \beta.$$

Выражая из первого N и подставляя во второе, получаем

$$m \frac{v_{огн}^2}{l} = T - T \cdot \sin^2 \beta + m \frac{v_k^2}{R} \cdot \sin \beta$$

$$T \cdot \cos^2 \beta = m \left(\frac{v_{огн}^2}{l} - \frac{v_k^2}{R} \cdot \sin \beta \right)$$

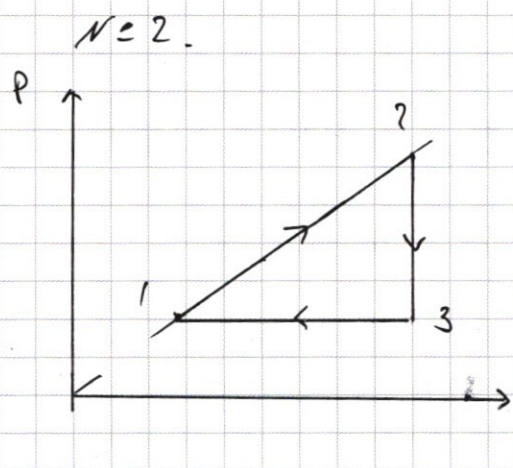
$$T \cdot \cos^2 \beta = m \left(\frac{V^2 \cos^2 \alpha}{l \cdot \cos^2 \beta} + \frac{V^2}{l} - \frac{2V^2 \cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta)}{l \cdot \cos \beta} - \frac{V^2 \cos^2 \alpha \cdot \sin \beta}{R \cdot \cos^2 \beta} \right)$$

$$T = \frac{V^2}{\cos^2 \beta} \cdot m \left(\frac{\cos^2 \alpha}{l \cdot \cos^2 \beta} + \frac{1}{l} - \frac{2 \cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta)}{l \cdot \cos \beta} - \frac{\cos^2 \alpha \cdot \sin \beta}{R \cdot \cos^2 \beta} \right).$$

Подставляя полученные значения $T = 0,78 \text{ Н}$

Ответ: 1) 5 см/с 2) 77 см/с 3) $0,78 \text{ Н}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Дано:

$$i = 3$$

Найти:

1) C_{23} / C_{31} 2) Q_{12} / A_{12}

3) $\eta_{\text{ПД max.}}$

1. Если нарисовать на данном графике изобразить через точки 1, 2, 3, то можно понять, что в процессах 2-3 и 3-1 T уменьшается, а в процессе 1-2 увеличивается.

В процессе 2-3 $A = 0 \Rightarrow Q = \Delta U$

$$\nu C_{23} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \Rightarrow C_{23} = \frac{3}{2} R.$$

В процессе 3-1 $A = P_1(V_1 - V_3) = \nu R T_1 - \nu R T_3$

$$Q = \nu C_{31} (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3)$$

$$C_{31} = \frac{5}{2} R$$

$$C_{23} : C_{31} = 3 : 5$$

2. В процессе 1-2 P линейно зависит от V , т.е. $P_1 = \alpha V_1$, $P_2 = \alpha V_2$.

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_1 + P_2)$$

$$A = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (P_1 + P_2) = \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$Q = \frac{3}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1) + \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) =$$

$$= \frac{3\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) + \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 2\alpha (V_2^2 - V_1^2)$$

$$Q : A = 2\alpha (V_2^2 - V_1^2) : \frac{\alpha}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 4 : 1$$

ответ: 1) 3:5 2) 4:1 3) 25% (решение по стр 7)

$N=3$.



Дано: d ; V_1 ; $0,2d$; $\frac{q}{m} = \gamma$

Найти:

1) T ? 2) V 3) V_0

1. Пусть поле внутри конденсатора равно E , тогда на частицу действует

сила $F = q \cdot E$, которая ее тормозит.

Сила постоянная $\Rightarrow F = ma$,

движение частицы равнозамедленное.

$$a = \gamma E. \quad S = \frac{v_0^2}{2a} \quad S = 0,2d, \quad v_0 = V_1$$

$$0,2d = \frac{V_1^2}{2\gamma E} \Rightarrow E = \frac{V_1^2}{0,4\gamma d}$$

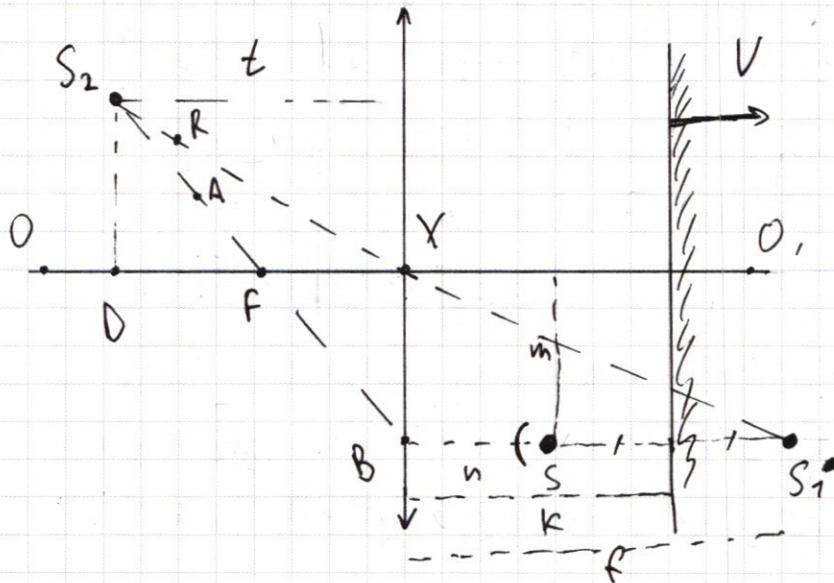
$$V_1 = a \cdot T \Rightarrow T = \frac{V_1}{\gamma \cdot E} = \frac{V_1 \cdot 0,4\gamma d}{\gamma \cdot V_1^2} = \frac{0,4d}{V_1}$$

$$2. \quad U = E \cdot d = \frac{V_1^2}{0,4\gamma}$$

3. Вне конденсатора поле нет $\Rightarrow F = 0$

ответ: 1) $\frac{0,4d}{V_1}$ 2) $\frac{V_1^2}{0,4\gamma}$ 3) V_1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$N = 5.$$


Дано:

$$F, m = 8F/15,$$

$$n = F/3, V,$$

$$k = F$$

How to:

1) $t - ?$

2) $L(V_{S2}, 00_1) - ?$

3) $V_{S_2} = ?$

1. Расстояние от зеркала до источника
равно $k - n = F - F/3 = \frac{2F}{3} \Rightarrow$

$\Rightarrow$ Изображение S_1 будет на расстоянии $2 \cdot \frac{2F}{3} + n = \frac{4F}{3} + \frac{F}{3} = \frac{5F}{3} = f$

от линзы. Используя формулу тонкой линзы, получаем

$$\frac{3}{5F} + \frac{1}{t} = \frac{1}{F} \Rightarrow t = \frac{5F}{2} = 2,5 F$$

2. Построим лучи, при пересечении которых и находится изображение S_2 . Это луч, проходящий через центр линзы, и луч,

излучений $\parallel$ оси OO_1 из точки B , а потом
 продолжений через фокус. На
 пересечении этих прямых (RX и AB) и
 находится изображение S_2 . Т.к.
 зеркало является $\parallel$ оси OO_1 , то
 S_1 находится всегда на одинаковом
 расстоянии от оси OO_1 , $\Rightarrow$ луч AB
 остается неизменным. По мере
 удаления от линзы S_1 изображение
 S_2 продолжается вдоль той прямой AB ,
 то постепенно приближается к фокусу $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ скорость S_2 всегда направлена по
 прямой AB .

$$DS_2 : BX = f : F = 3 : 2 \Rightarrow DF : FX = 3 : 2.$$

$$DF = f - F = \frac{3}{2} F.$$

$$DS_2 = \frac{3}{2} BX \quad BX = m = \frac{8F}{15} \Rightarrow DS_2 = \frac{4F}{5}.$$

$$\tan DFS_2 = \tan \angle (VS_2, OO_1) = DS_2 : DF = 8/15$$

3. Скорость $S_1 = 2V$

Поперечное увеличение $= 3 : 2$

(пусть у источника S есть какой-то
размер), тогда

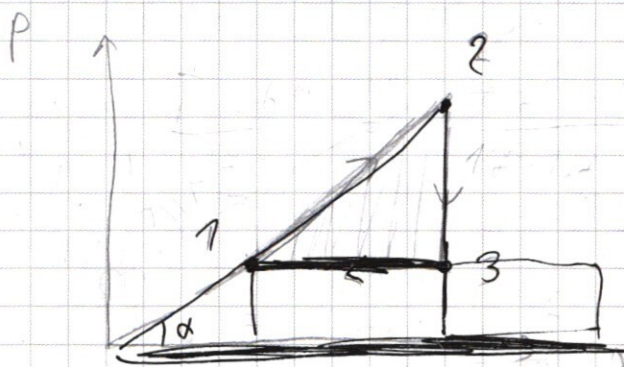
продольное увеличение $= 3 : 4$.

$$\frac{3}{4} = VS_2 x : VS_1 = VS_2 \cdot \cos \arctan \frac{8}{15} : 2V$$

$$\cos \arctan \frac{8}{15} = \frac{15}{17} \quad VS_2 = \frac{3}{4} \cdot 2V \cdot \frac{17}{15} = 5,1V.$$

Ответ: 1) $2,5 F$ ~~2) $\arctan \frac{8}{15}$~~ 2) $\arctan \frac{8}{15}$ 3) $5,1 V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{C}{C} \quad Q = 2\alpha(V_2^2 - V_1^2)$$

$$C_{13} = \frac{5}{2}R$$

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

$$= \frac{1}{2}(P_2 - P_3)(V_1 - V_3) \sim \frac{1}{2}(P_2 - P_1)(V_1 - V_2)$$

$$V_3 = V_2 \quad P_3 = P_1 \quad P_1 = \nu R T_3 = \nu R T_1$$

$$= \frac{1}{2}(\alpha V_2 - \alpha V_1)(V_1 - V_2) =$$

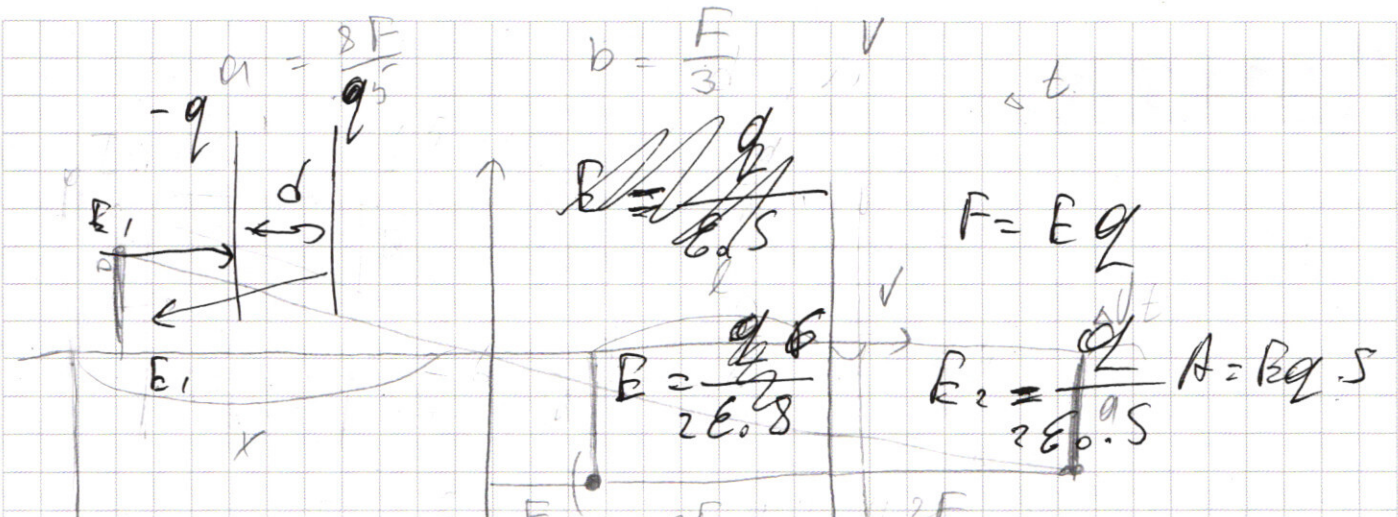
$$= \frac{\alpha}{2}(V_2 - V_1)^2(V_2 + V_1)(P_1 - P_2) =$$

$$\frac{\alpha(V_2 - V_1)^2 \alpha V_1}{2 \cdot 2\alpha(V_2 - V_1)(V_2^2 + V_1^2) \alpha V_2} = \frac{V_2 - V_1}{4(V_2 + V_1)^2}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}(P V_2 - P V_1) =$$

$$= \frac{V_2 + V_1 - 2V_1}{V_2 + V_1} = 1 - \frac{2V_1}{V_2 + V_1} =$$

$$= 1 - \frac{2}{\frac{V_2}{V_1} + 1}$$



$$\varphi = \frac{6}{2\epsilon} \cdot \left(x + d\right) + \frac{5}{2\epsilon} \cdot x =$$

$$= Ex + \frac{E}{2} d, \quad E = \frac{kq}{R^2}$$

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{x} = \frac{1}{F}$$

$$A = \varphi q = Eq \left(x + \frac{d}{2}\right)$$

$$\varphi = E \cdot x$$

$$\frac{a}{b} = \frac{5F}{3} \cdot \frac{2}{5F} = \frac{2}{3}$$

$$x = \frac{5F}{2}$$

$$b = \frac{3a}{2} = \frac{4 \cdot 8 \cdot F \cdot 8}{5 \cdot 15 \cdot 2} = \frac{4F}{5}$$

$$l = \frac{2F}{3} + V_{\Delta} t$$

$$m = \frac{F}{3} + \frac{4F}{3} - 2V_{\Delta} t$$

$$= \frac{5F}{3} + 2V_{\Delta} t$$

$$\frac{1}{m} + \frac{1}{x} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{3}{5F + 6V_{\Delta} t} + \frac{2}{5F + 2V_{\Delta} t} = \frac{1}{F}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. В начальный момент времени конденсатор можно рассматривать как ЭДС с напряжением V_1 , тогда

$$L \frac{\Delta I}{\Delta t} = E + V_1, \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = V_L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_L = \frac{E + V_1}{L}. \quad V_L = \frac{6\text{В} + 3\text{В}}{0,2\text{Гн}} = 45 \text{ А/с}$$

2. $q_0 = CV_1$ — начальный заряд

$$\frac{CV_1^2}{2} = \frac{(q_0 - q)^2}{2C} + E \cdot q + \frac{LI^2}{2},$$

где q — протекающий через ЭДС заряд.

$I_{\max}$ достигается при $q = 0$

$$\frac{CV_1^2}{2} = \frac{LI^2}{2} \Rightarrow I_{\max} = V_1 \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$I_{\max} = 6$$

$$N = 2.$$

$$3. \quad \eta = \frac{A}{Q_n} \cdot 100\%$$

$$Q_n = Q_{12}. \quad A = \frac{1}{2} (V_3 - V_1) (P_2 - P_3).$$

$$Q_{12} = 2\alpha (V_2^2 - V_1^2) = 2\alpha (V_2 - V_1) (V_2 + V_1)$$

$$P_3 = P_1 = \alpha V_1. \quad V_3 = V_2 \Rightarrow A = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (\alpha V_2 - \alpha V_1)$$

$$A = \frac{\alpha}{2} (V_2 - V_1)^2$$

$$\eta = \frac{\alpha (V_2 - V_1)^2 \cdot 100\%}{2 \cdot 2\alpha (V_2 - V_1) (V_2 + V_1)} = \frac{V_2 - V_1}{4(V_2 + V_1)} \cdot 100\%$$

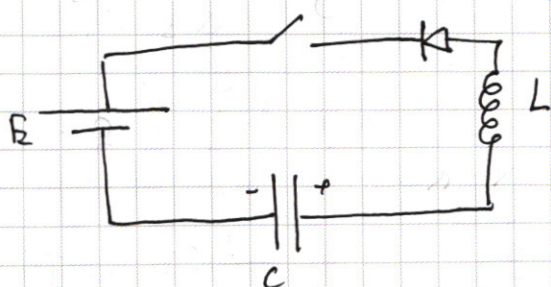
$$\frac{\eta}{100\%} = \frac{V_2 + V_1 - 2V_1}{V_2 + V_1} = 1 - \frac{2}{\frac{V_2}{V_1} + 1}$$

$$\eta = \frac{100\%}{4} \left(1 - \frac{2}{\frac{V_2}{V_1} + 1} \right).$$

$$\text{при } V_2 \gg V_1, \quad \frac{2}{\frac{V_2}{V_1} + 1} \approx 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta_{\max} = 25\%.$$

Реш.



Дано:

$$E = 3 \text{ В}, \quad C = 20 \text{ мкФ}$$

$$V_1 = 6 \text{ В}, \quad L = 0,2 \text{ Гн}$$

$$V_0 = 1 \text{ В}.$$

Найти:

$$1) \quad V_1 - ? \quad 2) \quad I_{\max} - ? \quad 3) \quad V_2 - ?$$