

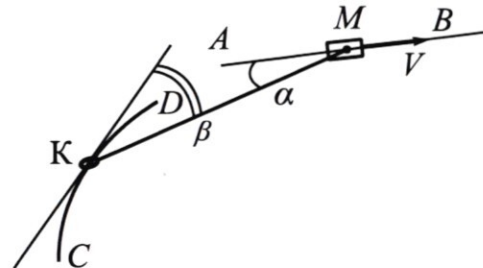
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-02

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка задания не принимаются.

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.



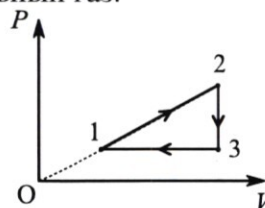
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.



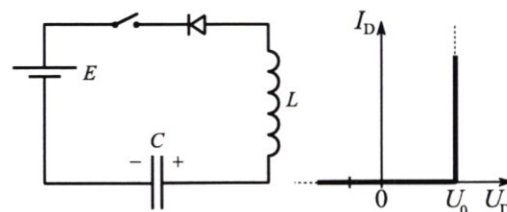
3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между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

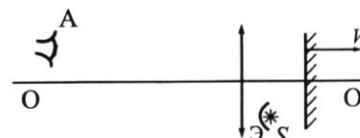


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана $\mathcal{E}$, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/3$ 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 A 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. U — искомая скорость кольца,

- 1) Заметим, что расстояние между муфтой и кольцом $= l$, пока трос натянут.

Т.е. проекции ~~скоростей~~ муфты и кольца на трос равны:

$$V \cdot \cos \alpha = U \cdot \cos \beta \Rightarrow U = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} =$$

$$= \frac{17}{8} \cdot \frac{3}{5} \cdot 40 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}},$$

- 2) Пусть U_1 — скорость кольца относительно муфты.

Тогда $U_1 = V \cdot \sin \alpha + U \sin \beta$ (т.к. их проекции на ось перпендикулярную тросу противоположны, а скорости по оси троса равны).

$$U_1 = 40 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{4}{5} + 51 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17} =$$

$$= 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}.$$

- 3) Сила инерции вследствие движения кольца по окружности: $F_{\text{и}} = \frac{U^2}{R} m$, а сила натяжения каната $T = F_{\text{и}} \cdot \sin \beta = \frac{U^2}{R} m \sin \beta = \frac{(0,51)^2}{1,7} \cdot \frac{15}{17} \text{ Н} =$
- $$= 135 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 0,135 \text{ мН}.$$

Ответ: $0,51 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $0,77 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $0,135 \text{ мН}$.

№2. T_1, T_2, T_3 - температуры в 1, 2, 3.

1) Понижение температуры происходит на участках $2 \rightarrow 3$ и $3 \rightarrow 1$. Пусть теплоёмкость на участке $2 \rightarrow 3$ - C_v , а на участке $3 \rightarrow 1$ - C_p . Тогда:

$$C_v = \frac{Q_{23}}{\nu(T_2 - T_3)} = \frac{\frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_3)}{\nu(T_2 - T_3)} = \frac{3}{2}R$$

$$C_p = \frac{Q_{31}}{\nu(T_3 - T_1)} = \frac{\frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + \nu R(T_3 - T_1)}{\nu(T_3 - T_1)} = \frac{5}{2}R$$

$$\text{Тогда } \frac{C_v}{C_p} = \frac{\frac{3}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5} = \boxed{0,6}$$

$$2) A_{12} = \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1) \quad (\text{работа газа на } 1 \rightarrow 2)$$

$$U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) \quad (\text{изменение внутренней энергии на } 1 \rightarrow 2)$$

Тогда по I началу термодинамики:

$$Q_{12} = A_{12} + U_{12} = 2\nu R(T_2 - T_1)$$

$$\text{и } \frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{2\nu R(T_2 - T_1)}{\frac{\nu R}{2}(T_2 - T_1)} = \boxed{4}$$

$$3) \text{ Лёгко получить теплоёмкость процесса } 1 \rightarrow 2: C_{12} = \frac{Q_{12}}{\nu(T_2 - T_1)} = 2R. \text{ Тогда КПД цикла: } \eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_H} = 1 - \frac{\frac{3}{2}R(T_2 - T_3) + \frac{5}{2}R(T_3 - T_1)}{2R(T_2 - T_1)}$$

(где Q_x и Q_H - отведённая и подведённая энергии). Тогда для получения максимального КПД необходимо минимизировать $\frac{Q_x}{Q_H}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2. (продолжение)

Т.е. покажем, когда $\frac{Q_x}{Q_H}$ - минимально. Это достигается, когда T_3 почти равно T_1 . Тогда $\frac{Q_x}{Q_H} \approx \frac{\frac{3}{2}K(T_2 - T_3)}{2K(T_2 - T_1)} \approx$

$$\approx \frac{3}{4}. \text{ Тогда } \eta_{\max} = 1 - \frac{3}{4} = 0,25.$$

Т.е. максимальный КПД 25%.

Ответ: 0,6; 4; 0,25.

№3.

1) Найдем З.С.Э.:

$$\frac{m v_1^2}{2} = E q \cdot 0,8d$$

$$E = \frac{m v_1^2}{2q \cdot 0,8d}$$

Теперь найдем З.С.П. для

заряженной галочки: $E q T = m v_1 \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow T = \frac{m}{q} \cdot \frac{1,6dq}{m v_1} = \boxed{\frac{1,6d}{v_1}}$$

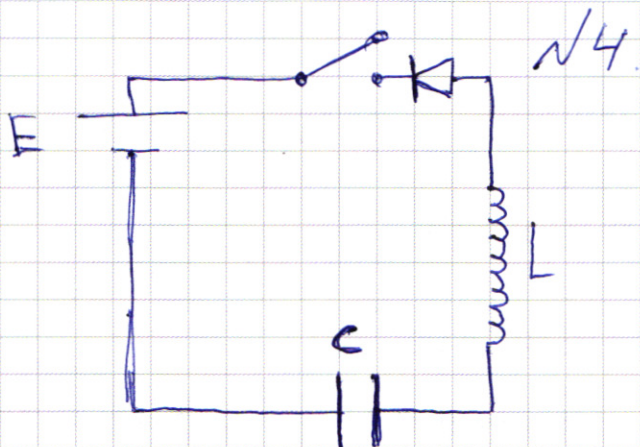
2) Напряжение на конденсаторе:

$$U = E \cdot d = \frac{10}{16} \frac{m v_1^2}{q} = \frac{10}{16} \cdot \frac{v_1^2}{8}$$

3) Так как конденсатор скрутили себя не создает, то $U_0 = U_1$.

E - поле внутри конденсатора.

$$\text{Ответ: } \frac{16}{10} \frac{d}{v_1}; \frac{10}{16} \frac{v_1^2}{8}; v_1.$$



1) В первый момент времени (по IIЗ. Кирхгофа):

$$E + U_0 + L \frac{dI}{dt} = U_1$$

$$L \frac{dI}{dt} = U_1 - E - U_0$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_1 - E - U_0}{L}$$

$$A \quad u = \frac{dI}{dt} = \frac{U_1 - E - U_0}{L} = \frac{2B}{0,2 \Gamma H} = 10 \frac{A}{C}$$

2) При максимальном токе напряжение на катушке $U_L = 0$.

Т.е. напряжение на конденсаторе

$$U_C = E + U_0 = 4B$$

Тогда по 3.С.Э:

$$\frac{CU_1^2}{2} - \frac{CU_C^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} + E \cdot C(U_1 - U_C)$$

$$I_{max} = \sqrt{\frac{C}{L} (U_1^2 - U_C^2 - 2E(U_1 - U_C))} = \sqrt{200 \cdot 8} A = 40 A$$

3) Тогда дальнейшее падение напряжений на конденсаторе невозможно из-за диода, а значит $U_2 = U_C = 4B$.

Ответ: $10 \frac{A}{C}$; $40 A$; $4 B$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

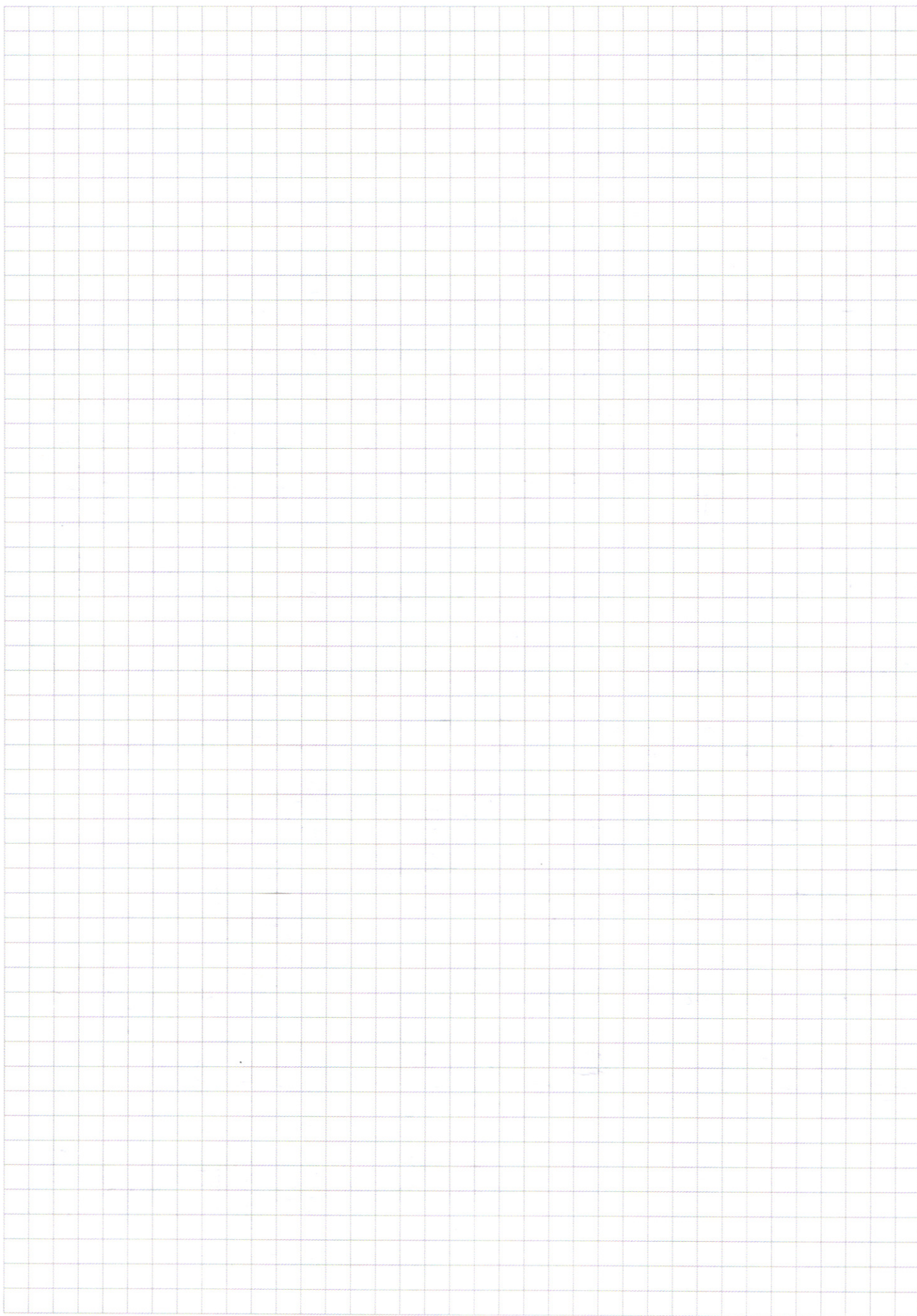
№5.

1) Зеркало даст нам изображение S' источника на расстоянии $\frac{5}{3}F$. Тогда B или b - расстояние от линзы до изображения, которое будет коэффициент S'' , то $\frac{1}{\frac{5}{3}F} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Leftrightarrow \frac{1}{b} = \frac{2}{5F} \Leftrightarrow \boxed{b = \frac{5}{2}F}$.

2) В этот момент увеличение $\Gamma = \frac{b}{a} = \frac{5}{2}$, тогда скорость изображения по оси O_1O_2 - $u_x = \Gamma^2 \cdot 2V = 12,5V$, соответственно по $\perp$ оси $u_y = \Gamma \cdot 2V = 5V$.
Тогда $\operatorname{tg} \alpha = \frac{u_y}{u_x} = \frac{\frac{25}{2}V}{5V} = \boxed{\frac{5}{2}}$.

3) А полная скорость $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2} = \sqrt{\frac{25^2}{4} + 25^2} = 5 \frac{\sqrt{25}}{4} \approx \boxed{6,5V}$.

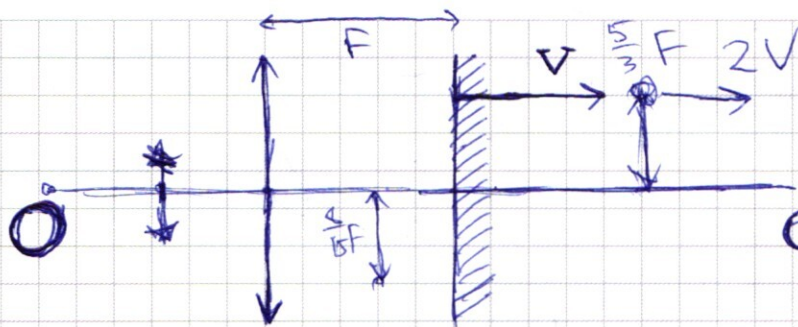
Ответ: $b = \frac{5}{2}F$; $\operatorname{tg} \alpha = \frac{5}{2}$,
 $u \approx 6,5V$.



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$-\frac{1}{\frac{5}{3}F} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

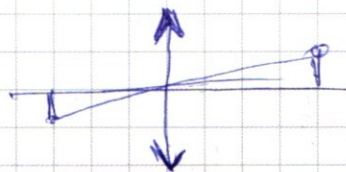
$$\frac{3}{5}F$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{3}{5F} + \frac{5}{5F} = \frac{8}{5F} \quad 1) \quad b = \frac{5}{8}F \quad \text{или} \quad a = \frac{5}{2}F$$

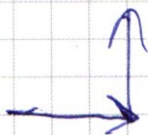
$$2) \quad \Gamma = \frac{b}{a} = \frac{\frac{5}{8}F}{\frac{5}{3}F} = \frac{3}{8}$$

$$U_x = \Gamma^2 \cdot 2V = \frac{9}{32}V$$



$$-\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2} = 0$$

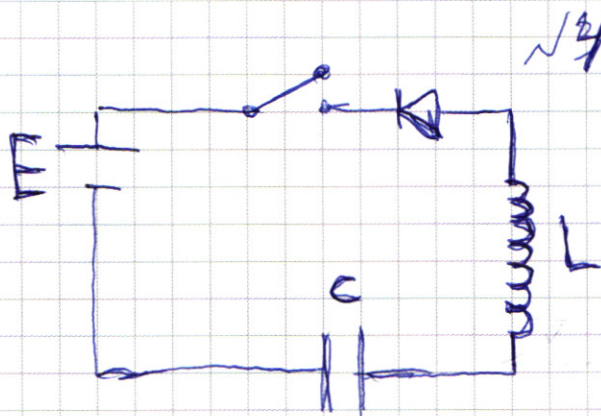
$$\frac{b^2}{a^2} = 1$$



$$\frac{1}{3F} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

$$b_1 = 3F \quad \Gamma_1 = 2$$

$$b_2 = \frac{3F}{2} \quad \Gamma_2 = \frac{1}{2}$$



1) $E = 3\text{В}$

$C = 20\text{мкФ}$

$U_1 = 6\text{В}$

$-L \frac{dI}{dt} + U_1 = E$

$\frac{U_1 - E}{L} = \frac{dI}{dt}$

2) $\frac{C U_2^2}{2} = \frac{L I^2}{2} + E \cdot q_1$

$q_1 = U_1 C - U_2 C = C(U_1 - U_2)$

$6CE$

$\frac{C U_2^2}{2} - CE(U_1 - U_2) = \frac{L I_{\max}^2}{2}$

$\frac{C U_2^2 - 2CE(U_1 - U_2)}{L} = I_{\max}^2$

309

39

$\frac{C(U_1^2 - U_2^2)}{2}$

4В

3В

$U_2 =$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1) Q_{23} = U_{23} + A_{23} = U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3)$$

$$C_V = \frac{Q_{23}}{\nu (T_2 - T_3)} = \frac{3}{2} R$$

$$\boxed{\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}}$$

$$C_P = \frac{\frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_1)}{\nu (T_3 - T_1)} = \frac{5}{2} R$$

$$2) A_{12} = \frac{1}{2} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R \frac{(P_2 V_2 - P_1 V_1)}{\nu R}$$

$$\frac{U_{12} + A_{12}}{A_{12}} = \frac{2}{\frac{1}{2}} = \boxed{4}$$

$$3) A_{12} = \frac{1}{2} \Delta P \Delta V$$

$$Q_H = C_{12} (T_2 - T_1)$$

$$Q_X = C_V (T_2 - T_3) + C_P (T_3 - T_1)$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}$$

$$\eta = 1 - \frac{\frac{3}{2} R (T_2 - T_3) + \frac{5}{2} R (T_3 - T_1)}{2 R (T_2 - T_1)}$$

$$\boxed{25\%}$$

$$Eq T = m v_1$$

$$\frac{m}{2} \cdot \frac{1,6 d g}{m v_1} = T$$

$$\frac{1,6 d}{v_1} = T$$

$$E = \frac{m v_1^2}{2 \cdot 0,8 d}$$

$$U = \frac{m v_1^2}{1,6 d}$$

$$\frac{m v_1^2}{2} = E q \cdot 0,8 d$$

c

$$1) V \cdot \cos \alpha = u \cdot \cos \beta$$

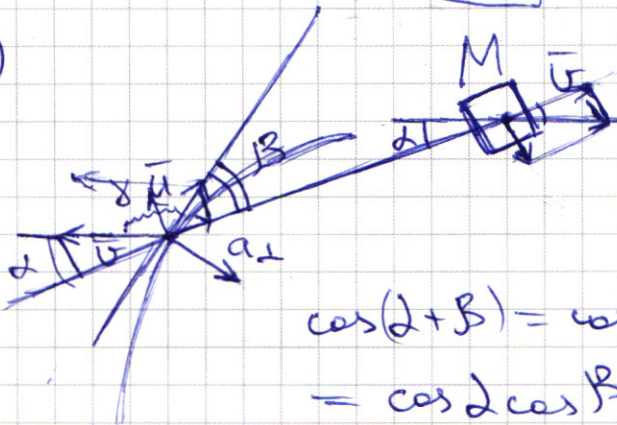
$$\frac{3}{5} \cdot 40 = u \cdot \frac{8}{17}$$

$$u = 17 \cdot \frac{3}{8} = \boxed{51 \frac{\text{cm}}{\text{c}}}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \boxed{\frac{4}{5}}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{8^2}{17^2}} = \sqrt{\frac{225}{289}} = \frac{15}{17}$$

2)



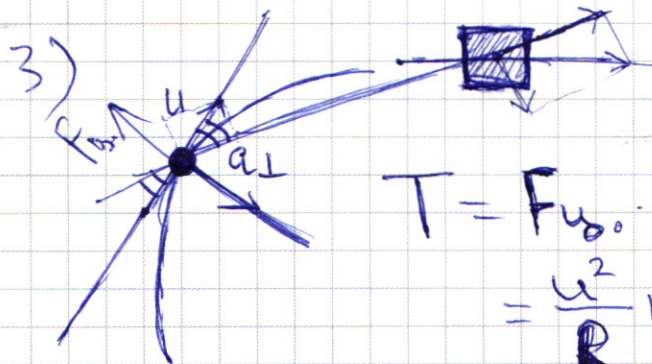
$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \cos \alpha \cos \beta - \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \sqrt{1 - \cos^2 \beta}$$

$$u_1^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos(\alpha + \beta) \neq u_1 = v \cdot \sin \alpha + u \sin \beta =$$

$$= 40 \cdot \frac{4}{5} + 51 \cdot \frac{15}{17} = 8 \cdot 4 + 3 \cdot 15 = 32 + 45 = \boxed{77} \frac{\text{cm}}{\text{c}}$$

$$\begin{array}{r} 17 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ + 17 \\ \hline 289 \\ - 64 \\ \hline 225 \end{array}$$



135 mH
0,135

$$T = F_{\text{г}} \cdot \sin \beta = \frac{u^2}{R} m \cdot \sin \beta =$$

$$= \frac{(0,51)^2}{\frac{17}{48}} \cdot 1 \cdot \frac{15}{17} = 9 \cdot 15 = 135 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \frac{m}{R} u^2 \cdot \sin \beta &= \\ &= \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{m}{R} \end{aligned}$$

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