

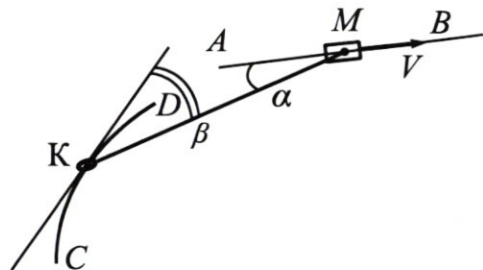
Олимпиада «Физтех» по физике, фс

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.



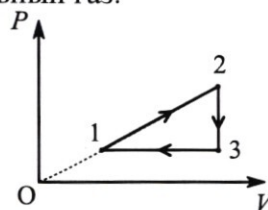
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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

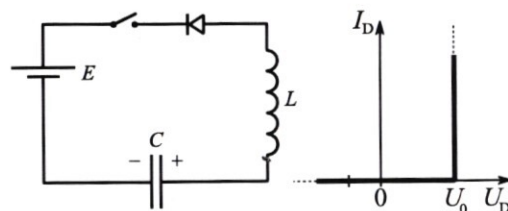
- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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.

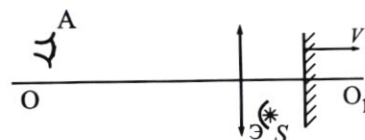


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

2.

1) $p = kV$ 3-й закон Менделеева-Клапейрона

$$P_2 V_2^2 = \nu R T_2$$

$$P_3 V_3^2 = \nu R T_3$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{3}{2} \frac{\nu R \Delta T_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{3}{2} R$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{\nu \Delta T_{31}}$$

по 1-му закону

$$Q_{31} = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} + P_3 (V_1 - V_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_1 - T_3)$$

по 3-му закону $P_3 (V_1 - V_3) = \nu R (T_1 - T_3)$

$$C_{31} = \frac{5}{2} \frac{\nu R (T_1 - T_3)}{\nu (T_1 - T_3)} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{2} R : \frac{5}{2} R = \frac{3}{5}$$

Ответ: 0,6.

2) $P_1 = kV_1^2$ $P_2 = kV_2^2$

3-й закон: $kV_1^2 = \nu R T_1$ $\nu R T_1$

по 1-му закону: $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{(P_1 + P_2)}{2} (V_2 - V_1)$

но $P_1 = kV_1^2$ $P_2 = kV_2^2$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{k(V_2^2 - V_1^2)}{2} = 2 \nu R (T_2 - T_1)$$

$$k(V_2^2 - V_1^2) = \nu R (T_2 - T_1)$$

$$A_{12} = \frac{\nu R (T_2 - T_1)}{2}$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4$$

Ответ: 4

3)

$$\eta = \frac{A_0}{Q_{\text{max}}}$$

$$A_0 = A_{12} - A_{31} \quad (A_{31} > 0)$$

$$A_0 = S_{12} - S_{31} \quad (\text{т.е. разность работ - разность мощностей при градиенте})$$

$$S_{12} - S_{31} = S_{23} - \text{мощность } \Delta\text{-ка.}$$

$$A_0 = S_{123} = \frac{(p_2 - p_3)(V_3 - V_1)}{2}$$

$$Q_{\text{max}} = Q_{12}, \text{ т.к. на } 2-3 \text{ и } 3-1 \text{ раз отдают тепло.}$$

$$\text{Значи: } \begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_2 V_2 = \nu R T_2 \\ p_3 V_3 = \nu R T_3 \\ V_2 = V_3 = V \\ p_1 = p_3 = p \end{cases} \quad \begin{cases} p V_1 = \nu R T_1 \\ p_2 V = \nu R T_2 \\ p V = \nu R T_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (p_2 - p_3) V = \nu R (T_2 - T_3) \\ (V_3 - V_1) p = \nu R (T_3 - T_1) \end{cases} \quad \begin{cases} p_2 - p_3 = \frac{\nu R (T_2 - T_3)}{V} \\ V_3 - V_1 = \frac{\nu R (T_3 - T_1)}{p} \end{cases}$$

$$A_0 = \frac{(\nu R)^2 (T_2 - T_3)(T_3 - T_1)}{p V} = \nu R \cdot \frac{(T_2 - T_3)(T_3 - T_1)}{T_3}$$

$$\begin{aligned} p V &= \nu R T_3 = \frac{\nu R}{T_3} (p_2 - p_3) V_3 \cdot \frac{(V_3 - V_1) p_1}{\nu R} = \\ &= p_3 V_3 (p_2 - p_3) V_3 \cdot (V_3 - V_1) p_1 = (p_3 V_3)^2 (p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = \\ p_3 &= p_1, V_2 = V_3 \quad = (p_3 V_3)^2 k (V_2 - V_1)^2 \end{aligned}$$

$$\sqrt{420} = 2\sqrt{105} = 4\sqrt{27} - 12\sqrt{3}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q = 2k(\sigma_2^2 - \sigma_1^2)$$

$$\frac{A}{a} = \frac{(\rho_2 \sigma_2)^2 k (\sigma_2^2 - \sigma_1^2)}{2k \omega_2^2 - \sigma_1^2 (\sigma_2^2 + \sigma_1^2)} = \frac{(\rho_2 \sigma_2)^2 \cdot (\sigma_2^2 - \sigma_1^2)}{2(\sigma_2^2 + \sigma_1^2)}$$

$$A_0 = \frac{(\rho_2 - \rho_1)(\sigma_2^2 - \sigma_1^2)}{2} = \frac{(\rho_2 - \rho_1)(\sigma_2^2 - \sigma_1^2)}{2} = k \frac{(\sigma_2^2 - \sigma_1^2)^2}{2}$$

$$\frac{a-b}{a+b} - \text{макс.}$$

3.

$$ma = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = k \frac{qQ}{(d-x)^2} - \frac{kqQ}{x^2}$$

$$= kqQ \left(\frac{x^2 - d^2 + 2dx - x^2}{x^2(d-x)^2} \right)$$

$$2 \cdot 0,8d = -\frac{\sigma_1^2}{a}$$

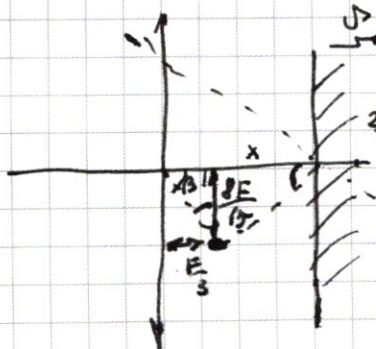
$$a = -\frac{\sigma_1^2}{1,6d}$$

$$u = \frac{Q}{C} = \frac{Qd}{\epsilon \epsilon_0} = \frac{\sigma d}{\epsilon_0}$$

$$u = -Ed$$

$$Eq = ma \quad E = \frac{mq}{q} \quad u = -\frac{ma}{q}d$$

5. 1)



$$\tan \alpha = \frac{F \cdot 15}{3 \cdot 8F} = \frac{5}{8}$$

$$x = \frac{8F}{15 \tan \alpha} = \frac{64F}{225}$$

$$x_0 = \frac{F - \frac{2F}{3}}{3}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{x} = \frac{1}{F} \quad d = F + \frac{2F}{3} = \frac{5F}{3}$$

$$f = \frac{\frac{F^2}{6} \cdot x \cdot F}{x - \frac{F}{3}}$$

f'

$$3) \quad \eta = \frac{A_0}{Q_{12}} \quad Q_{12} = Q_{12}(\text{м.к. на 2-3, 3-1 газ отдают})$$

$$A_0 = A_{12} - A_{31}, (A_{31} > 0)$$

$$A_0 = S_{12} - S_{31} \text{ (разница работ - разница } \int p \, dV \text{)}.$$

$$S_{12} - S_{31} = S_{123} - \text{мощность } \Delta \text{-ка.}$$

$$A_0 = S_{123} = \frac{(p_2 - p_3)(V_3 - V_1)}{2} = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{2} = \frac{(kV_2 - kV_1)(V_2 - V_1)}{2}$$

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

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

$$\eta = \frac{k(V_2^2 - V_1^2)}{2 Q_{12}}, \quad Q_{12} = 2 \nu R (T_2 - T_1) = 2 k (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\eta = \frac{V_2^2 - V_1^2}{4(V_2^2 + V_1^2)} = \frac{1}{4} \frac{V_2^2 - V_1^2}{V_2^2 + V_1^2} \text{ - макс.}$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{V_2^2 + V_1^2} \text{ - макс. при } V_1 = 0 \text{ (} V_1 \rightarrow 0 \text{ по предельное значение)}$$

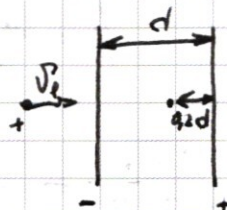
$$\text{при } V_1 = 0 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_2^2 - 0}{V_2^2 + 0} = \frac{1}{4} \quad \text{Ответ: } \frac{1}{4}.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. 1)

$$x = \frac{v_k^2 - v_k^2}{2a}$$

$$a = \frac{-v_1^2}{2(d - 0,2d)} = -\frac{v_1^2}{1,6d}$$



$$\vec{v}_k = \vec{v}_1 + \vec{a}t$$

$$t = \frac{\vec{v}_k - \vec{v}_1}{\vec{a}} = \frac{-v_1}{-\frac{v_1^2}{1,6d}} = \frac{1,6d}{v_1}$$

2) ~~$A = W_k - W_0 = -Uq$ 303:~~

~~$W_k = 0 \quad W_0 = \frac{mv_1^2}{2}$~~

~~$-\frac{mv_1^2}{2} = -Uq \quad U = \frac{m}{q} \cdot \frac{v_1^2}{2} = \frac{v_1^2}{2,8}$~~

3) ~~$v_0 = ?$~~

~~$A = W_k - W_0 = -Uq$~~

~~$W_0 = \frac{mv_0^2}{2} \quad W_k =$~~

2) $U = -Ed$

$$Eq = ma, \text{ где } a = -\frac{v_1^2}{1,6d}$$

$$E = \frac{ma}{q} \quad U = -\frac{maq}{q} = -\frac{v_1^2}{1,6}$$

Ответ: $\frac{v_1^2}{1,6}$

3) $A = W_k - W_0 = -Uq$

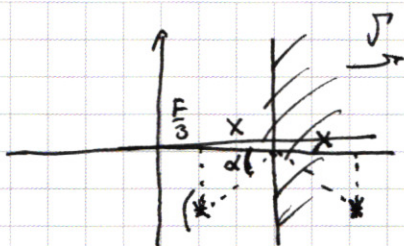
$$\frac{mv_0^2}{2} = Uq \quad U = \frac{v_1^2}{1,6}$$

$$v_0^2 = 2 \cdot \frac{v_1^2}{1,6} \cdot 1,6 = \frac{v_1^2}{0,8} = \frac{10}{8} v_1^2$$

$$v_0 = \frac{\sqrt{5}}{2} v_1$$

Ответ: $\frac{\sqrt{5}}{2} v_1$

5. 1)



$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \text{ но при } q \text{е тонкой линзы}$$

$$d = \frac{F}{3} + 2x \quad d_0 = \frac{5F}{3}$$

$$x_0 = F - \frac{F}{3} = \frac{2F}{3}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{d_0 - F}{d_0 F} \quad f = \frac{d_0 F}{d_0 - F} = \frac{5F^2}{3(\frac{5F}{3} - F)} = 4.5F$$

Ответ: $2.5F$

$$2) \quad \tan \alpha = \frac{8F}{15x_0} = \frac{8F \cdot 3}{15 \cdot 2F} = \frac{4}{5}$$

$$3) \quad f = \frac{dF}{d-F} = \frac{(\frac{F}{3} + 2x)F}{\frac{F}{3} + 2x - F} = \frac{\frac{F^2}{3} + 2xF}{2x - \frac{2F}{3}} \quad \text{Ответ: } \alpha = \arctan \frac{4}{5}$$

$$f' = \frac{2F(2x - \frac{2F}{3}) - 2(\frac{F^2}{3} + 2xF)}{4(x - \frac{F}{3})^2} = \frac{Fx - \frac{F^2}{3} - \frac{F^2}{6} - xF}{(x - \frac{F}{3})^2} =$$

$$f = \frac{dF}{d-F} \quad d = \frac{F}{3} + 2x = \frac{F}{3} + 2\sqrt{x} \quad x_1 = \frac{2F}{3}$$

$$f(x) = \frac{(\frac{F}{3} + 2\sqrt{x})F}{\frac{F}{3} + 2\sqrt{x} - F} = \frac{\frac{F^2}{6} + \sqrt{x}F}{\sqrt{x} - \frac{F}{3}}$$

$$f'(x) = \frac{\sqrt{x}F(\sqrt{x} - \frac{F}{3}) - \sqrt{x}(\frac{F^2}{6} + \sqrt{x}F)}{(\sqrt{x} - \frac{F}{3})^2}$$

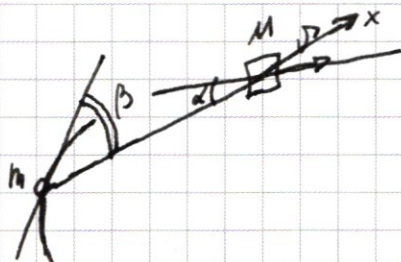
$$\begin{aligned} v_{uz} = f'(x_1) &= \frac{\sqrt{x_1}F \cdot \frac{F}{3} - \sqrt{x_1}(\frac{F^2}{6} + \frac{2F^2}{3})}{\frac{F^2}{9}} = \frac{\frac{\sqrt{x_1}F^2}{3} - \frac{5\sqrt{x_1}F^2}{6}}{\frac{F^2}{9}} = \frac{-\frac{3\sqrt{x_1}F^2}{6}}{\frac{F^2}{9}} = \\ &= -\frac{9}{2}\sqrt{x_1} \end{aligned}$$

$v_{uz} < 0$, т.к. O_x сонаправлена с v

Ответ: $v_{uz} = -\frac{9}{2}\sqrt{x_1}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. 1)



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

ЗСД:

O_x :

$$m v^2 \cos \alpha = m u \cos \beta$$

$$u = \frac{m v^2 \cos \alpha}{m \cos \beta}$$

$$\frac{(m+M) v_{\text{цм}}^2}{2} = \frac{m u^2}{2} + \frac{M v^2}{2}$$

$$(m+M) v_{\text{цм}}^2 = m u^2 + M v^2$$

$$v_{\text{цм}} = \frac{m v^2 + M u}{m+M} \quad \frac{m v^2 \cos \alpha + M u \cos \beta}{m+M}$$

Потому что процесс керастансний

O_x : $v \cos \alpha = u \cos \beta$

$$u = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \frac{51}{40} \text{ км} = 0,51 \text{ км/с}$$

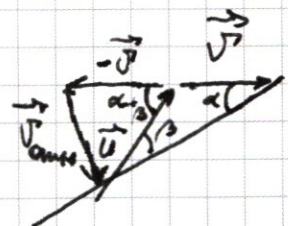
2)

$$\vec{v}_{\text{адс}} = \vec{v}_{\text{св}} + \vec{v}_{\text{отк}}$$

$$\vec{v}_{\text{отк}} = \vec{v}_{\text{адс}} - \vec{v}_{\text{св}}$$

O_x : $u_x = v \cos \alpha = u \cos \beta$

$$\vec{v}_{\text{отк}} = \vec{u} - \vec{v} = \vec{u} + (-\vec{v})$$



$$|\vec{v}_{\text{отк}}|^2 = |\vec{v}|^2 + |\vec{u}|^2 - 2|\vec{v}| \cdot |\vec{u}| \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{4}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{24 - 60}{85} = -\frac{36}{85}$$

$$|\vec{v}_{\text{отк}}| = \sqrt{0,16 + 0,51^2 - 2 \cdot 0,4 \cdot 0,51 \cdot \frac{36}{85}} = \frac{\sqrt{346243}}{\sqrt{85} \cdot 100}$$

3)

$$\frac{(m+M) v_{\text{цм}}^2}{2} = \frac{m u^2}{2} + \frac{M v^2}{2} + T l$$

$$v_{\text{цм}} = \frac{m u + M v}{m+M} = \frac{u+v}{2}$$

$$\frac{(u+v)^2}{4} = \frac{u^2}{2} + \frac{v^2}{2} + T l$$

$$m u \cos \beta = M v \cos \alpha$$

$$u = \frac{51 \cdot 8 \cdot 5}{40 \cdot 17 \cdot 3} = 1$$

$$T = \frac{\frac{(u+v)^2}{4} - \frac{u^2+v^2}{2}}{l} = \frac{\frac{v^2}{4} - \frac{u^2+v^2}{4}}{l}$$

4. 2)

$$\frac{CU_1^2}{2} + \varepsilon_{4q} = \frac{LI^2}{2}$$

$$\begin{array}{r} \times 3909 \\ 85 \\ \hline 19505 \\ 312020 \\ \hline 331585 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 51 \times 408 \\ 36 \\ \hline + 2448 \\ 12240 \\ \hline 14688 \end{array}$$

$$\frac{16}{100} + \frac{51^2}{10000} + 2 \cdot \frac{4}{10} \cdot \frac{51}{100} \cdot \frac{36}{85} = \frac{(1600 + 2301) \cdot 85 + 2 \cdot 51 \cdot 36 \cdot 10}{85 \cdot 10^4}$$

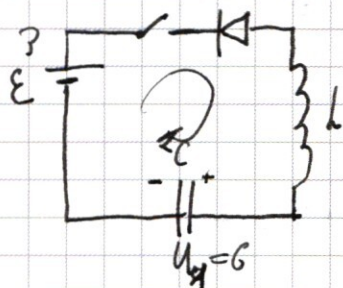
$$= \frac{331585 + 14688}{85 \cdot 10^4} = \frac{346273}{85 \cdot 10^4}$$

$$\begin{array}{r} 111 \\ 331585 \\ + 14688 \\ \hline 346273 \end{array}$$

4.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4.



1) I через катушку равен нулю
 $b \neq 0$.

$$E + L \dot{I} = U_c$$

$$E + L \dot{I}_1 - U_c = IR = 0$$

$$I_1 = \frac{U_c - E}{L} = \frac{6 - 3}{0,2} = 15$$

2) Конденсатор будет разряжаться, а потом перезарядится.

$I_{\max}$ будет в момент, когда конденсатор разряжен

$$\frac{CU_1^2}{2} + \frac{(E - U_0) \Delta q}{2} = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$\Delta q = q_c - 0 \quad q_c = CU_1$$

$$\Delta q = q_c = CU_1$$

$$\frac{CU_1^2}{2} + E CU_1 = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$CU_1 \left(E + \frac{U_0}{2} \right) = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$I_{\max}^2 = \frac{CU_1 (2E + U_0)}{L} = \frac{20 \cdot 6 \cdot (6 + 6)}{0,2} = 720$$

$$\Delta q = 0 - q_c \quad q_c = CU_1$$

$$\Delta q = -q_c = -CU_1$$

$$\frac{CU_1^2}{2} - E CU_1 = \frac{L I_{\max}^2}{2}$$

$$I_{\max}^2 = \frac{CU_1 (2E - U_0)}{L}$$

$$\Delta q = q_c - 0 \quad q_c = cU_1$$

$$\Delta q = q_c = cU_1$$

$$cU_1(2\varepsilon + U_1) = h I_{\max}^2$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{cU_1(2\varepsilon + U_1)}{h}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 6}{0,2}} = 120,5 \text{ A} \quad \text{Ответ: } 120,5$$

3) $\frac{3}{2}h$

$$cU_1(2\varepsilon - 2U_0 + U_1) = h I_{\max}^2$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{cU_1(2\varepsilon - 2U_0 + U_1)}{h}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 6 \cdot (6 + 6 - 2)}{0,2}} =$$

$$\frac{cU_1^2}{2} + (\varepsilon - U_0)\Delta q = \frac{h I_{\max}^2}{2}$$

$$\Delta q = 0 - q_c \quad \Delta q = q_c = -cU_1$$

$$cU_1(2U_0 - 2\varepsilon + U_1) = h I_{\max}^2$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{cU_1(2U_0 + U_1 - 2\varepsilon)}{h}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 6 \cdot (2 + 6 - 6)}{0,2}} = \sqrt{1200} = 20\sqrt{3} \text{ A}$$

Ответ: $20\sqrt{3}$.

$$3) \quad U_2 = \varepsilon - U_0 = 2$$

Ответ: 2В.