

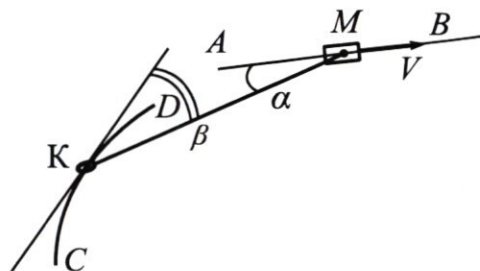
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

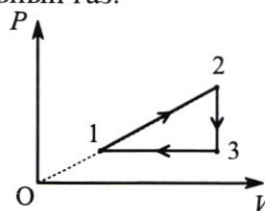
Вариант 11-02

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 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.



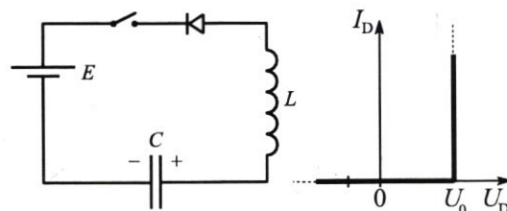
- 1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.
- 2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

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.

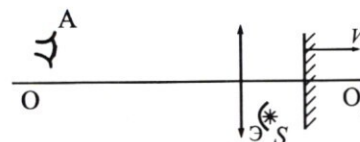
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.



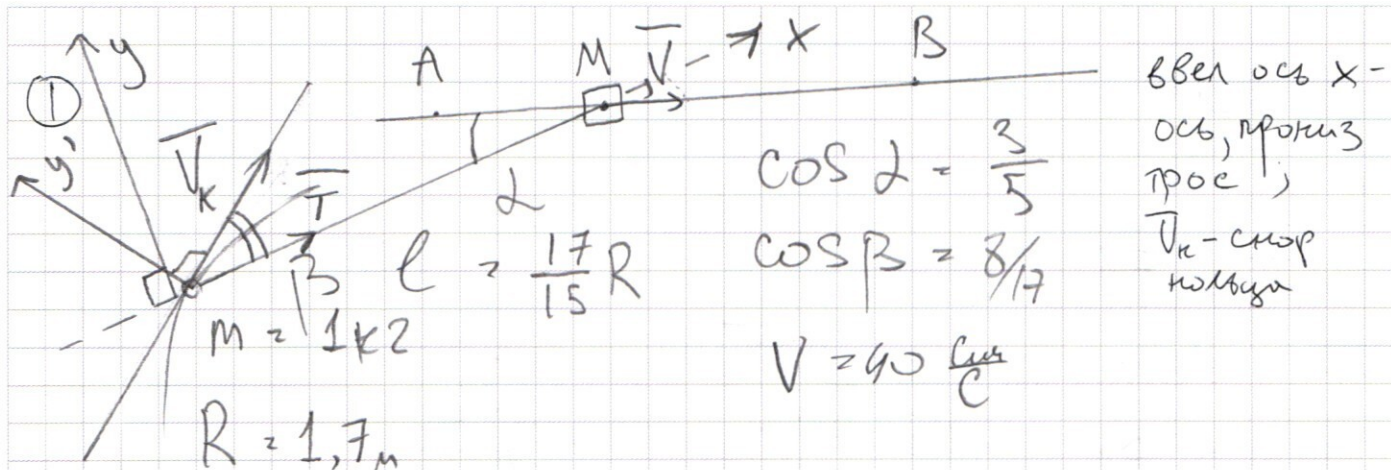
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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



ввел ось x -
ось, проеци-
рующая,
 V_k - скор
полюса

Решим:

1) Т.к. трек ~~не является~~ трек не постоянен,
то проекции скоростей V_k и V на трек
должны быть равны (и по модулю и по знаку):

$$V_k \cdot \cos \beta = V \cdot \cos \alpha \quad (\Rightarrow) \quad V_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$\Rightarrow V_k = \frac{40 \cdot 3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}} \quad \text{Ответ: } 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

2) перейдем в инерциальную систему отсчета муфты, тогда
скорость колеса в этой СО будет:

$V_{km} = V_k - V$ по оси x проекции скоростей
равны $\Rightarrow$ нужно найти
исходная скор
по соотнос
скорости по оси y (y $\perp$ x см
рас)

$$V_y = -V \cdot \sin \alpha = -V \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = -40 \cdot \sqrt{1 - \frac{9}{25}} = -40 \cdot \frac{4}{5} = -32 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$V_{ky} = V_k \cdot \sin \beta = V_k \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = 51 \cdot \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = 51 \cdot \frac{3}{17} = 9 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$V_{кз} - V_3 = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Ответ: $77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

3) т.к. кольцо движ по окр, то выполн соотношение:

$$a_n = \frac{V_k^2}{R}$$

ИЗН:

$$\overline{m a_n} = \overline{T}$$

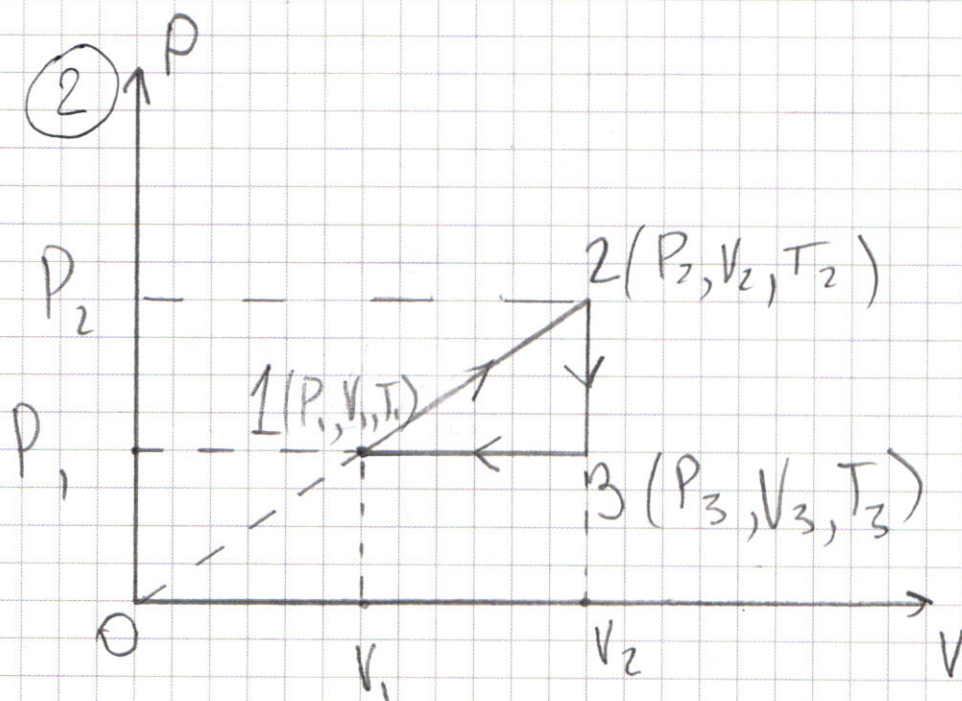
Введ ось $y' \perp \overline{V_k}$ (см рис)

$$y' : -m a_n = -T \sin \beta \Rightarrow T = \frac{m a_n}{\sin \beta}$$

т.о:

$$T = \frac{m V_k^2}{R \sin \beta} = \frac{1 \cdot (0,51)^2}{1,7 \cdot \sqrt{1 - \frac{269}{233}}} = \frac{0,51^2}{1,7 \cdot \frac{15}{17}} \approx \frac{0,25}{1,5} = \frac{1}{6} \approx 0,166 \text{ Н}$$

Ответ: $0,166 \text{ Н}$



$$V_2 = V_3 \quad (1)$$

$$P_3 = P_1 \quad (2)$$

Классическая механика:

$$PV = \nu RT \quad (3)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Из графика и ур-ния (3)

Температура газа понижалась на участках:

$$2 \rightarrow 3 \quad (P \downarrow; V = \text{const}; \gamma = \text{const} \Rightarrow T \downarrow)$$

$$3 \rightarrow 1 \quad (V \downarrow; P = \text{const}; \gamma = \text{const} \Rightarrow T \downarrow)$$

а на участке $1 \rightarrow 2$ $T \uparrow$

~~Q_{23}~~ 2 законом термодинамики: $Q = \Delta U + A$ (5)

$$Q_{23} = C_{23} \cdot V \Delta T = \Delta U_{23} + A_{23} \quad (4)$$

↑ теплота пошла на $2 \rightarrow 3$ (или потер)

из (4) + $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{23}$ - формула из кн. Букст. Эн. где идеал отсюда

$$A_{23} = 0 \text{ т.к. } \Delta V_{23} = 0$$

$$C_{23} V \Delta T_{23} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{23} \Rightarrow C_{23} = \frac{3}{2} R$$

аналогично для $3 \rightarrow 1$:

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{31}$$

$$A_{31} = P_1 \Delta V_{31} \Rightarrow A_{31} = V R \Delta T_{31}$$

(3)

(2)

$$C_{31} V \Delta T_{31} = \frac{3}{2} V R \Delta T_{31} + V R \Delta T_{31} = \frac{5}{2} R$$

т.о.:

$$\frac{C_{31}}{C_{23}} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3} \approx 1,67 \quad \text{Ответ: } 1,67$$

2) а3 (5):

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} + A_{12}$$

т.к.

$P_{12} \sim V_{12}$, то $\int P_{12}$ зависит от P_{01} , поэтому а3 (3)

$$P_2 V_2 = \nu R T_2 = P_1 V_1 \cdot \kappa^2 = \nu R T_1 \cdot \kappa^2$$

т.о.:

$$\frac{T_2}{T_1} = \kappa^2 \Rightarrow \Delta T_{12} = (\kappa^2 - 1) T_1$$

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P_{12} dV_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \alpha V_{12} dV_{12} = \alpha \frac{V_{12}^2}{2} \Big|_{V_1}^{V_2} \quad (2)$$

α - коэффициент пропорциональности: $P_{12} = \alpha V_{12}$

$$(2) \frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{2} \alpha = \Delta V_{12} \cdot \frac{P_2 + P_1}{2} = \frac{(\kappa V_1 - V_1)(\kappa P_1 + P_1)}{2}$$

$$= \frac{(\kappa^2 - 1) V_1 P_1}{2} = \frac{(\kappa^2 - 1) \nu R T_1}{2}$$

т.о.:

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (\kappa^2 - 1) T_1 + \frac{(\kappa^2 - 1) \nu R T_1}{2} = (\kappa^2 - 1) T_1 (2 \nu R)$$

тогда:

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{(\cancel{\kappa^2 - 1}) T_1 (2 \nu R)}{(\cancel{\kappa^2 - 1}) \nu R T_1} = \frac{2}{\frac{1}{2}} = 4 \quad \text{Ответ: 4}$$

3) КПД тепловой машины с учетом

формулы:

$$\frac{Q^\downarrow - Q^\uparrow}{Q^\downarrow} = \frac{A_{123}}{Q^\downarrow} \quad \text{где } Q^\downarrow - \text{теплота сообщенная системе } (Q_{12})$$

$Q^\uparrow$ - теплота отведенная системой

A_{123} - полезная работа за цикл

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$A_{123} = \int_{123} (ошибочно доказ по ошибке с
подсчёт в п. 2)$

$$A_{123} = \int_{123} = \frac{P_1 \cdot (k-1) V_1 (k-1)}{2}$$

тогда:

$$\frac{A_{123}}{Q_{\downarrow}} = \frac{P_1 V_1 (k-1)^2}{2 (k^2-1) T_1 \cdot 2VR} = \frac{\sqrt{RT_1} (k-1)^2}{4 \sqrt{RT_1} (k^2-1)} = \frac{k-1}{4(k+1)} \quad (2)$$

$$= \frac{k^2 - 2k + 1}{k^2 - 1} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{4} \quad (2) \quad \frac{k+1-2}{k+1} \cdot \frac{1}{4} =$$

$$= \frac{1}{4} - \frac{2}{k+1} \cdot \frac{1}{4} = \eta$$

Т.О.

$$\eta_{\max} = \frac{1}{4} \quad \text{Ответ: } \frac{1}{4}$$

③ $E = \frac{\partial}{2\epsilon\epsilon_0}$ — для однородного заряда с пов

ме-ю зар 0

для 2х пластин в цел действ
приближений поле в пр-ве вне пластин
нулевое т.е. $E_{\text{внеш}} = 0$

$$1) E_{\text{внут}} = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0} - \text{конкр. внут. поле (т.к. пласт 2)}$$

по 3УЭ:

$$\frac{mV_1^2}{2} = E_{\text{внут}} \cdot l \cdot q \quad (1)$$

l - путь прот $\Rightarrow l = 0,8d$ т.к. зор должен влететь со стороны "моста" и дойти до края

$$(2) \frac{mV_1^2}{2} = \frac{Q \cdot 0,8d \cdot q}{\epsilon \epsilon_0} \quad (2)$$

$$(2) Q = \frac{mV_1^2 \cdot \epsilon \epsilon_0}{2 \cdot 0,8 \cdot d \cdot q} = \frac{mV_1^2 \cdot \epsilon \epsilon_0}{1,6d \cdot q}$$

т.к. $E_{\text{внут}}$ не меняет, то

$$\left. \begin{array}{l} E_{\text{внут}} q = \text{const} = F_{\text{внут}} = ma \\ \uparrow \\ \text{II 3.К.} \\ a = \frac{V_1}{T} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1^2 \cdot \epsilon \epsilon_0}{1,6d \cdot q} \cdot q = m \frac{V_1}{T}$$

$$(2) \frac{V_1^2}{1,6d \cdot q} \cdot \frac{q}{m} = \frac{V_1}{T}$$

$$\text{т.о. } T = \frac{1}{\frac{V_1}{1,6d}} = \frac{1,6d}{V_1} \quad \text{Ответ: } \frac{1,6d}{V_1}$$

2) по Опр II - работа по перем. ед. на зор с одной обложки на зор, т.е. зор

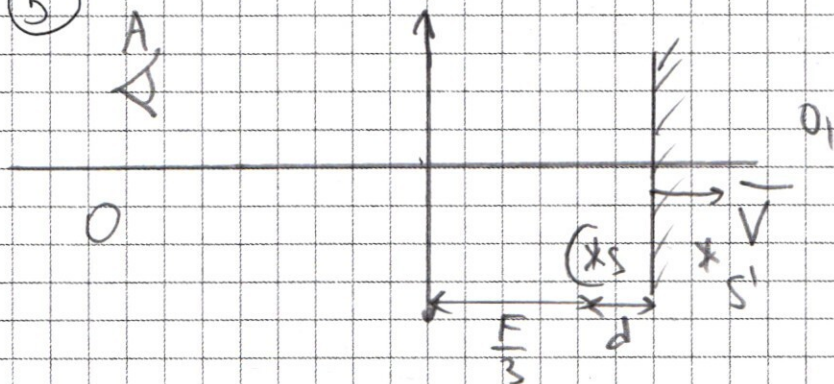
$$U = \frac{A_{\text{зор}}}{q} = \frac{\frac{mV_1^2}{2} \cdot \frac{1}{0,8}}{q} = \frac{V_1^2}{1,6 \cdot \frac{q}{m}} = \frac{V_1^2}{1,6 \cdot q} \quad \text{Ответ: } \frac{V_1^2}{1,6 \cdot q}$$

т.к. сила не измен, а работа на 0,8 пути соот $\frac{mV_1^2}{2}$

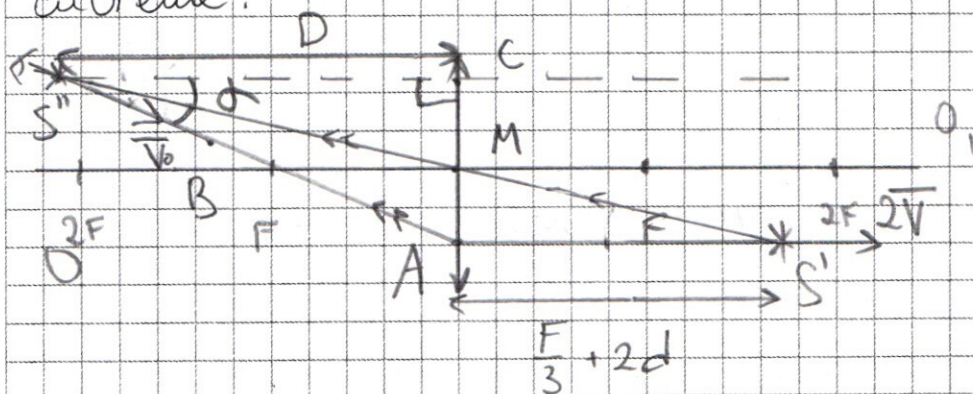
3) как и уже писал $E_{\text{внут}}$ равно 0, тогда $V_0 = V_1$ Ответ: V_1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5



по формуле это от ис-ма эквив
системе:



1) Зерно на расст F от линзы, тогда
 $d = \frac{2}{3} F$ тогда расст от S' до линзы
равно $r = 1\frac{2}{3} F$

Наблюдатель может увидеть S' только
если лучи будут расхож т.е. на расст $\geq d$

по ф-ле тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{r} + \frac{1}{D} \Rightarrow D = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{r}} = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{F}} = \frac{1}{\frac{2}{5} \cdot \frac{1}{F}} = 2,5 F$$

Ответ: 2,5F

2) и 3) V_0 — истинный скор
 2) γ — неизвестное приращение времени Δt ,
 которое повлечёт за собой след измен.

И измен увел на $2V\Delta t$ $n_1 = n + 2V\Delta t$

Тогда D измен и имеет право D_1 ,

$$\Delta D = D_1 - D = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{n_1}} - \frac{5}{2}F =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{\frac{5}{3}F + 2V\Delta t}} - \frac{5}{2}F = \frac{1}{\frac{5F + 2V\Delta t - F}{3}} - \frac{5}{2}F =$$

$$= \frac{\frac{5}{3}F^2 + 2V\Delta t F}{\frac{5}{3}F^2 - \frac{5}{3}F^2 - 5FV\Delta t + 2V\Delta t F} - \frac{5}{2}F = \frac{\frac{5}{3}F^2 + 2V\Delta t F}{\frac{2}{3}F + 2V\Delta t} - \frac{5}{2}F$$

$$= \frac{-3VF\Delta t}{\frac{2}{3}F} = -4,5V\Delta t$$

Тогда скор по оси OO_1 равен $-4,5V$

теперь найду полн скор:

скорост в изобр всегда попр по ВА (т.к.

одни из лучей (луч 11 ГОО) всегда падает через

фокус)

$\angle$ — истинный угол тогда $\tan \angle = \frac{CA}{D}$ (см рисун)

$$\tan \angle = \frac{CM + MA}{2,5F} = \frac{MA(1 + \frac{5}{2})}{2,5F} = \frac{\frac{8F}{15} \cdot \frac{7}{2}}{2,5F} = \frac{8}{15} \cdot \frac{1}{2} = \frac{4}{15} = 0,267$$

тогда

$$V_0 = \sqrt{(4,5V)^2 + (4,5V \cdot \frac{8}{15})^2} = 4,5V \cdot \sqrt{1 + \frac{64}{225}} = 4,5V \cdot \frac{17}{15} =$$

$$= 5,1V$$

Ответ: $\tan \angle = 0,267$; $V_0 = 5,1V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

④ 1) $\cancel{IR} = U_1 - E - LI$ - ЗК Ома для цепи

R - сопр цепи ≈ 0

тогда:

$$LI = U_1 - E \Rightarrow \dot{I} = \frac{U_1 - E}{L} = \frac{3}{0,2} = 15 \text{ A} = \frac{3}{0,2} = 15 \text{ A}$$

Ответ: $\dot{I} = 15 \text{ A}$

2) max ток будет в момент:

$E = U_c - 1$, где U_c - комп на комп т.н.

в этот момент цепь размыкается, тогда $U_c = 4 \text{ В} \leq U_c$ в мом разм.

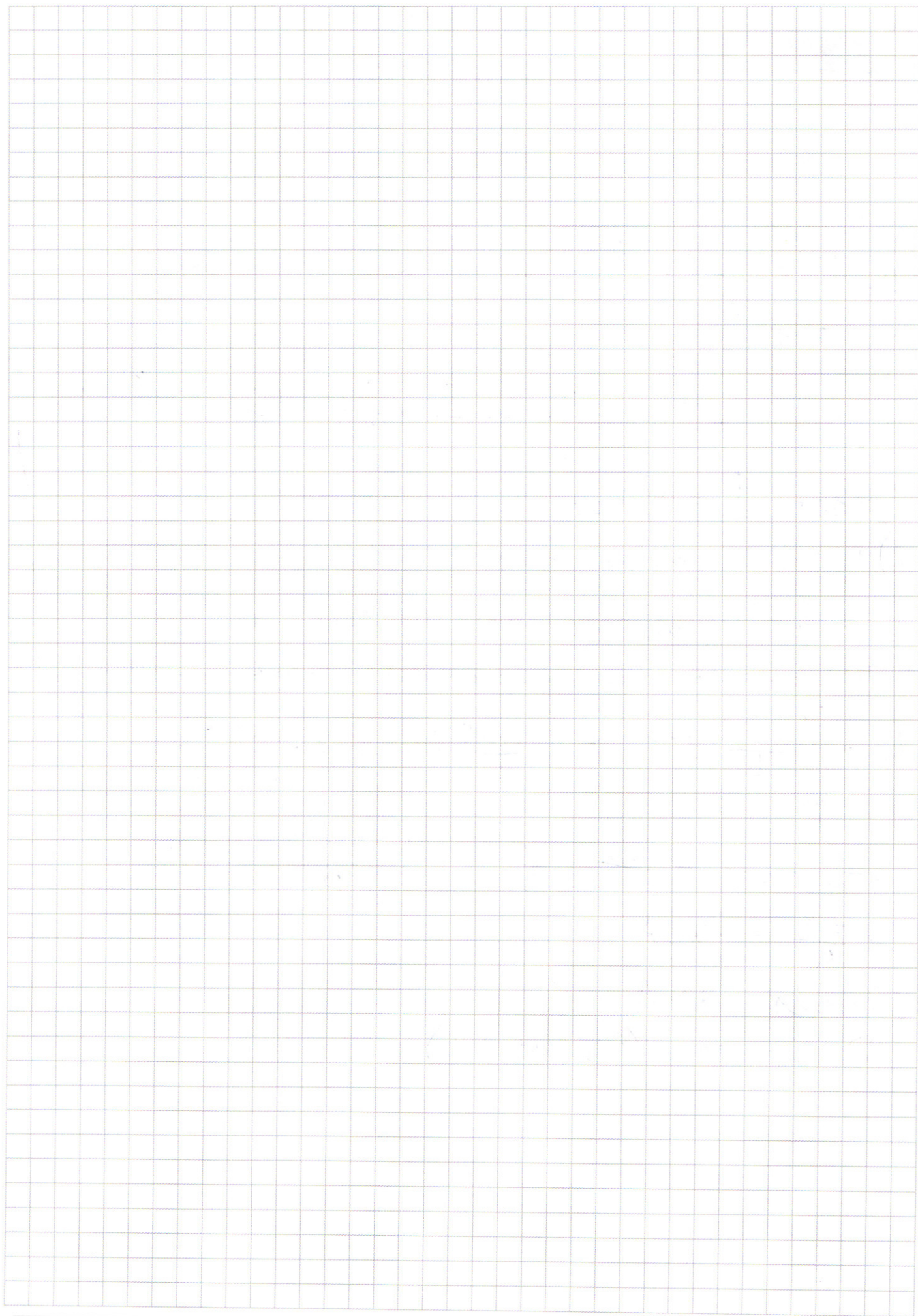
$$I_m = \int_{t_1}^{t_2} \frac{U_c - E}{L} dt = \int_{U_1}^{U_c} \frac{U_c - E}{L} dU_c = \frac{U_c^2}{2L} - \frac{U_c E}{L} \Big|_6$$

$$= \frac{16}{0,4} - \frac{4 \cdot 3}{0,2} = \frac{36}{0,4} + \frac{6 \cdot 3}{0,2} = \frac{16 - 24 - 36 + 36}{0,4}$$

$$= \frac{-8}{0,4} = -20 \text{ A}$$

Ответ: 20 A

3) Ответ: 4 В (см п.2)



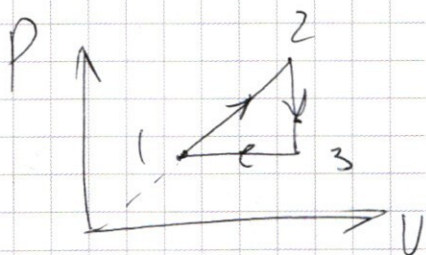
☐ черновик ☒ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 10
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{array}{r} 4 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ + 170 \\ \hline 289 \\ - 64 \\ \hline 225 \end{array}$$

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



$$PV = \nu RT$$

$$\begin{array}{l} 1 \rightarrow 2 \quad T \uparrow \\ 2 \rightarrow 3 \quad T \downarrow \\ 3 \rightarrow 1 \quad T \downarrow \end{array}$$

① +

$$2 \rightarrow 3 \quad A = 0 \quad \text{т.к. } \Delta V = 0$$

$$3 \rightarrow 1 \quad A \neq 0 \quad \text{т.к. } \Delta V \neq 0$$

$$A = P \Delta V$$

$$\frac{Q_{23}}{Q_{31}} = \frac{C_{23} \nu R \Delta T}{C_{31} \nu R \Delta T} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T}{\frac{3}{2} \nu R \Delta T + P \Delta V}$$

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

$$C_{31} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + P \Delta V = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{Q_{\downarrow} - Q_{\uparrow}}{Q_{\downarrow}} =$$

$$\int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} a V dV = a \frac{V^2}{2} \Big|_{V_1}^{V_2} = \frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{2} a = \Delta V \cdot \frac{(V_1 + V_2)}{2} \cdot a = \Delta V \cdot \frac{P_1 + P_2}{2}$$

$$\Delta T_{12} = (\beta^2 - 1) T_1$$

$$\Delta U_{12} = (\beta - 1) V_1 \left| \frac{P_1 + P_2}{2} = (\beta + 1) \frac{P_1}{2} \right. \Rightarrow \Delta U_{12} \cdot \frac{P_1 + P_2}{2} = (\beta^2 - 1) \frac{U_1 P_1}{2} =$$

$$= \frac{(\beta^2 - 1)}{2} \cdot \gamma R T_1$$

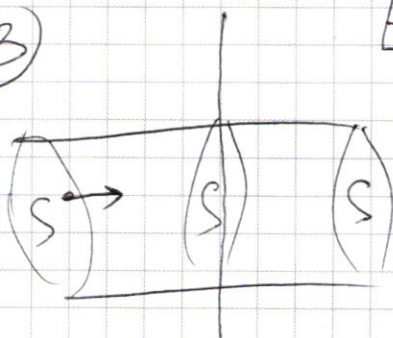
КПД:

$$\frac{Q^\uparrow - Q^\downarrow}{Q^\downarrow}$$

$$\frac{P_1 (\kappa - 1) V_1 (\kappa - 1)}{(\kappa^2 - 1) T_1 2 \gamma R} = \frac{\gamma R T_1 (\kappa - 1)^2}{(\kappa^2 - 1) 2 \gamma R T_1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\kappa^2 - 2\kappa + 1}{\kappa^2 - 1} =$$

$$= \frac{1}{2} - 2 \frac{\kappa + 1}{\kappa^2 - 1} = \frac{1}{2} - 2 \frac{1}{\kappa - 1}$$

(3)

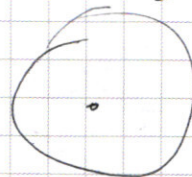


$$E \cdot S = Q = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$E \cdot 2S = \frac{Q \cdot 2}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{2\epsilon \epsilon_0 S}$$

$$S = 4\pi R^2$$



$$E \cdot S = E \cdot 4\pi R^2 = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi R^2 \epsilon \epsilon_0} = \kappa \frac{Q}{R^2 \epsilon}$$

$$\frac{mv^2}{2} = E \cdot 0,8d \cdot q = \frac{Q \cdot 0,8d \cdot \gamma}{2\epsilon \epsilon_0} q$$

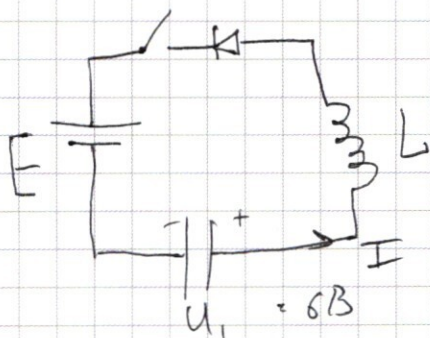
$$\frac{mv^2}{2} = \frac{Q \cdot 0,8d \cdot q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$Q = \frac{mv^2 \cdot \epsilon \epsilon_0}{2 \cdot 0,8d \cdot q}$$

$$C = \frac{Q}{U} \quad W_c = \frac{Q^2}{2C}$$

$$C = \frac{Q}{U} \quad U = \frac{Q}{C}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



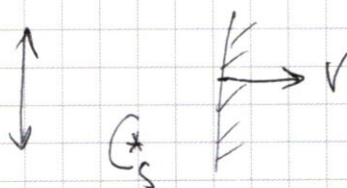
$$\frac{8}{15} - \frac{8}{16} = \frac{8 \cdot 16 - 8 \cdot 15}{15 \cdot 16} = \frac{1}{30}$$

$$I = \frac{U_{od}}{Z}$$

$$\Delta U = U_c - E = \frac{g_c}{C} - E = \frac{g_c}{C} - \frac{g_n}{2C} = \frac{2g_c - g_n}{2C}$$

$$\Delta g = 2g_c - g_n$$

5



$$2) 2V \Delta t$$

$$r = 2V \Delta t + \frac{2}{3} F$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{2V \Delta t + \frac{2}{3} F}} = \frac{1}{\frac{2V \Delta t + \frac{2}{3} F - F}{(2V \Delta t + \frac{2}{3} F) F}} \\ &= \frac{2V \Delta t + \frac{2}{3} F}{2V \Delta t + \frac{2}{3} F} - \frac{SF}{2} = \frac{2V \Delta t + \frac{2}{3} F - 5V \Delta t F - \frac{5}{3} F^2}{2V \Delta t + \frac{2}{3} F} = \frac{-3V \Delta t F}{2V \Delta t + \frac{2}{3} F} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{n^2} - \frac{1}{(n+d)^2} = \frac{(n+d)^2 - n^2}{n^2(n+d)^2} = \frac{2nd + d^2}{n^2(n+d)^2} \approx \frac{2d}{n^3}$$

$$\frac{2d}{n^3}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}_{\text{сум}} - LI}{R}$$

$$\cancel{IR} + L\dot{I} = \mathcal{E}_{\text{сум}}$$