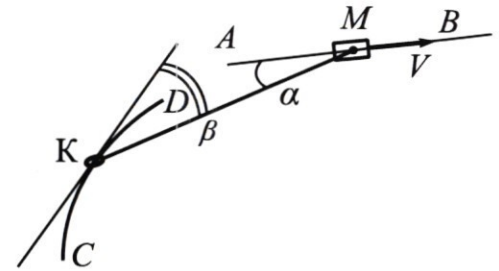


Олимпиада «Физтех» по физике, Вариант 11-03

Класс 11

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



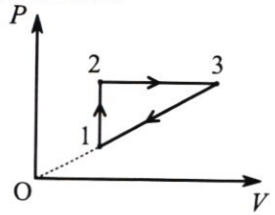
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

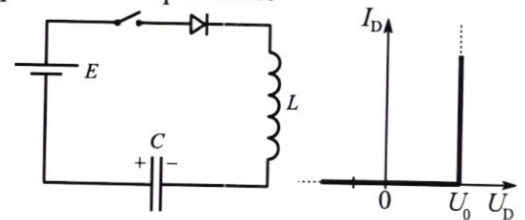
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ 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.

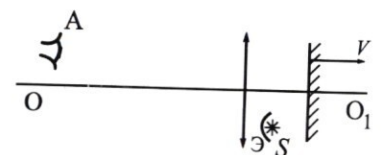


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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.

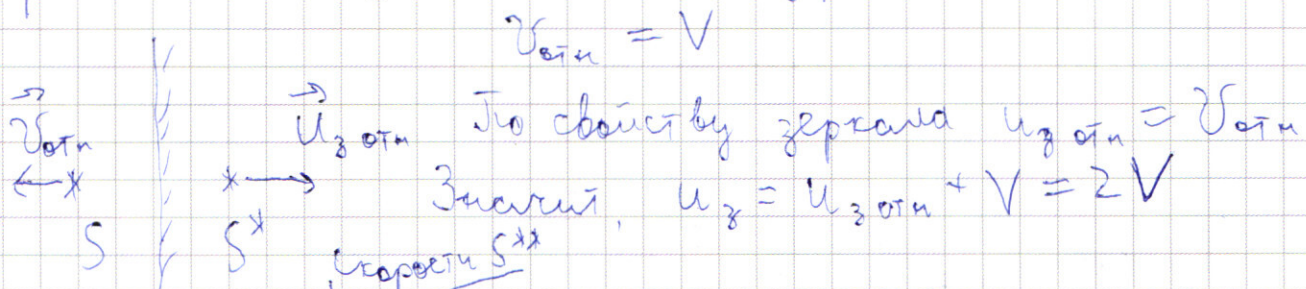


ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Решение:

1) Из рисунка видно, что $d_z = \frac{3}{4}F - \frac{1}{4}F = \frac{1}{2}F$,
где d_z — расстояние от источника S до зеркала.
 S — действительный предмет для зеркала, поэтому в зеркале образуется мнимое изображение S^* , находящееся на расстоянии $f_z = d_z = \frac{1}{2}F$ от зеркала.
 S^* становится действительным предметом для линзы, т.к. от S^* на линзу падает расходящийся пучок света. Расстояние от S^* до линзы равно $d_{uz} = \frac{3}{4}F + f_z = \frac{5}{4}F$
Т.к. $d_{uz} > F$, то изображение в системе \checkmark действительное, расстояние от него до линзы находится по формуле: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_{uz}} + \frac{1}{f_{uz}} \Rightarrow f_{uz} = \frac{d_{uz} F}{d_{uz} - F} = 5F$

2) Рассмотрим движение источника S и его изображение S^* от носителя зеркала:



Направление u_{uz} можно найти опираясь на тот факт, что u_z и u_{uz} пересекаются в одной точке на мизе.

u_z по формуле Треугольников найдем высоту h изображения S^* над осью OO_1 :

$$\frac{f_{uz}}{d_{uz}} = \frac{h}{\frac{3}{4}F} \Rightarrow h = \frac{3}{4}F \cdot \frac{f_{uz}}{d_{uz}} = \frac{3}{4}F \cdot \frac{5F}{\frac{5}{4}F} = 3F$$

$$\text{Тогда } \operatorname{tg} \alpha = \frac{h + \frac{3}{4}F}{f_{uz}} = \frac{15F}{5F} = \frac{3}{4}$$

3) Пусть $u_{uz||}$ — проекция скорости u_{uz} на ось OO_1 . $u_{uz||} = u_{uz} \cos \alpha$

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{9}{16}}} = \sqrt{\frac{16}{25}} = \frac{4}{5}$$

По свойству мизы $u_{uz||} = \Gamma^2 \cdot u_z$, где

$$\Gamma = \frac{f_z}{d_z} = \frac{5F}{\frac{5}{4}F} = 4 - \text{увеличение изображения } S^{**}$$

$$\text{Итого получаем: } u_{uz} = \frac{u_{uz||}}{\cos \alpha} = \frac{u_z \Gamma^2}{\cos \alpha} = \frac{2V \cdot 4^2}{\frac{4}{5}} = 40V$$

Ответ: 1) $f_{uz} = 5F$, 2) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4}$, 3) $u_{uz} = 40V$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано: C_{v12} , C_{v23} , ΔU_{23} , A_{23} , τ_{max}
 Решение:

1) Пусть ν — количество вещества данного газа. По уравнению Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$. Т.к. в процессе 3-1 p и V убывают, то для выполнения равенства T тоже должно убывать. Значит, нам необходимо найти $\frac{C_{v12}}{C_{v23}}$.

~~В процессе 1-2~~ Будем обозначать стрелочками \uparrow и \downarrow возрастание и убывание соответствующих величин. Используя уравнение Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ и первое начало термодинамики $Q = A_2 + \Delta U$ рассмотрим процессы:

1-2: $p = \text{const}$, $V = \text{const} \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow Q = \Delta U > 0$, $A = 0$

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

$$C_{v12} = \frac{Q_{12}}{\nu \Delta T_{12}} = \frac{3}{2} R$$

2-3: $p = \text{const}$, $V \uparrow \Rightarrow T \uparrow \Rightarrow \Delta U > 0$, $A > 0$, $Q = \Delta U + A > 0$

$$A_{23} = p \Delta V_{23} = \nu R \Delta T_{23} \text{ (т.к. изобарный процесс)}$$

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

$$\Rightarrow \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \sqrt{R \Delta T_{23}}}{\sqrt{R \Delta T_{23}}} = 1,5$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T_{23}}$$

$$C_{\sqrt{23}} = \frac{Q_{23}}{\sqrt{\Delta T_{23}}} = \frac{\frac{5}{2} \sqrt{R \Delta T_{23}}}{\sqrt{\Delta T_{23}}} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{\sqrt{12}}}{C_{\sqrt{23}}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6$$

3) $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_x}{T_H}$, где T_x — минимальная

температура в данном процессе, а T_H — максимальная температура

Ответ: 1) $\frac{C_{\sqrt{12}}}{C_{\sqrt{23}}} = 0,6$, 2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = 1,5$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$V = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

$$l = \frac{5R}{4}$$

$$\cos \alpha = \frac{15}{17}$$

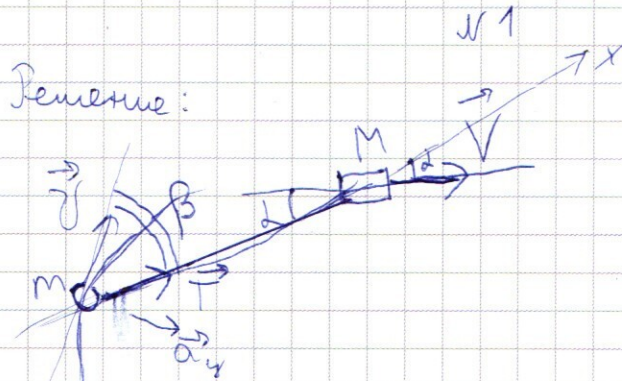
$$\cos \beta = \frac{3}{5}$$

$$1) \vec{v} \rightarrow$$

$$2) \vec{v}_{\text{отн}} \rightarrow$$

$$3) \vec{T} \rightarrow$$

Решение:



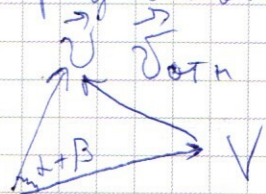
1) Свяжем ось x с нитью. Т.к. она нерастянжима и все время натянута, то скорости нити и кольца по оси x равны:

$$x: v \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$v = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \frac{\frac{15}{17}}{\frac{3}{5}} = V \frac{25}{17} = 34 \cdot \frac{25}{17} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

2) По определению $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v} - \vec{V}$. Построим

Треугольник скоростей:



$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \frac{4}{5}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15 \cdot 3 - 8 \cdot 4}{5 \cdot 17} = \frac{13}{5 \cdot 17}$$

По теореме косинусов:

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{v^2 + V^2 - 2vV \cos(\alpha + \beta)} = \sqrt{2500 + 1156 - \frac{100 \cdot 34 \cdot 13}{5 \cdot 17}}$$

$$= \sqrt{3656 - 40 \cdot 13} = \sqrt{3136} = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

3)

Ответ: 1) $v = 50 \frac{cm}{c}$, 2) $v_{max} = 56 \frac{cm}{c}$

№ 3

Дано:

d, S

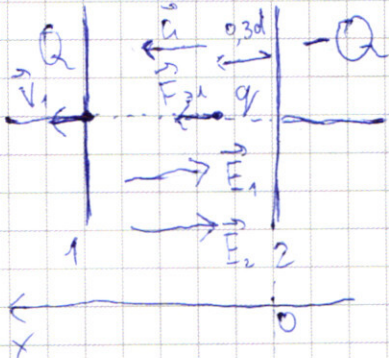
$0,3d$

V_1

$q_1 < 0$

$\frac{|q_1|}{m} = \gamma$

Решение:



1) Т.к. поле однородно, то $F_{эл} = const \Rightarrow a = const$

Ускорение можно найти по формуле:

$$a = \frac{V_1^2}{2(d - 0,3d)} = \frac{V_1^2}{1,4d}$$

Следовательно, $0,5d = 0,3d + \frac{aT^2}{2}$

$$T = \sqrt{\frac{0,2d}{a}} = \sqrt{\frac{0,28d^2}{V_1^2}} = \frac{d}{5V_1} \sqrt{14}$$

2) $E_1 = E_2 = \frac{Q}{2\epsilon_0 S}$

$$F_{эл} = (E_1 + E_2) \cdot q = \frac{Qq}{\epsilon_0 S}$$

По закону Ньютона: $F_{эл} = ma$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{Q \cdot \gamma}{\epsilon_0 S} = ma \Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0 S a}{\gamma} = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{1,4 d \gamma}$$

3) Т.к. вне конденсатора поля нет, то на частицу не будут действовать никакие силы вне его. Следовательно, на бесконечности скорость частицы останется такой же: $V_2 = V_1$.

Ответ: 1) $T = \frac{d\sqrt{14}}{5V_1}$, 2) $Q = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{1,4 d \gamma}$, 3) $V_2 = V_1$

и/и

Дано:

$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 2 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

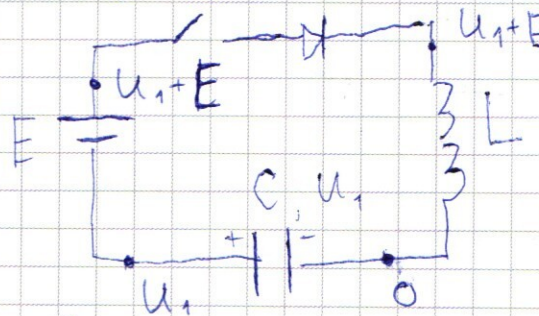
$$U_0 = 1 \text{ В}$$

$$I_{\text{н}} = ?$$

$$I_{\text{макс}} = ?$$

$$U_2 = ?$$

Решение:



метод потенциалов
для момента сразу
после замыкания
ключа

1) Ток через катушку не может изме-

ниться мгновенно. Следовательно, сразу

после замыкания ключа ток в цепи

не идёт. Пусть потенциал на правой

обкладке конденсатора равен 0. Тогда рас-

ставим потенциалы в остальных частях цепи,

учитывая, что $U_{\text{пл}} = 0$ (тока нет)

Из ~~рисунка~~ рисунка видно, что $U_{L1} = U_1 + E = 8 \text{ В}$
с другой стороны, $U_{L1} = \frac{L \Delta I_{L1}}{\Delta t} = L I_{L1}'$

Значит, $I_{L1}' = \frac{U_{L1}}{L} = 80 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

2) Рассмотрим произвольный момент времени, пусть за это время ушел заряд q .

$A_{ист} = qE$ — работа источника за всё время

$W_{нач} = \frac{CU_1^2}{2} = 80 \text{ мДж}$ — энергия системы в началь-

ный момент времени.

$W_{кон} = \frac{(CU_1 - q)^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}$ — энергия системы в дан-

ный момент времени, где I — ток в цепи.

По закону сохранения энергии:

$A_{ист} = W_{кон} - W_{нач}$

$qE = \frac{CU_1^2}{2C} - qU_1 + \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} + \frac{CU_1^2}{2}$

$\frac{LI^2}{2} = q(E + U_1) - ~~CU_1^2~~ - \frac{q^2}{2C}$

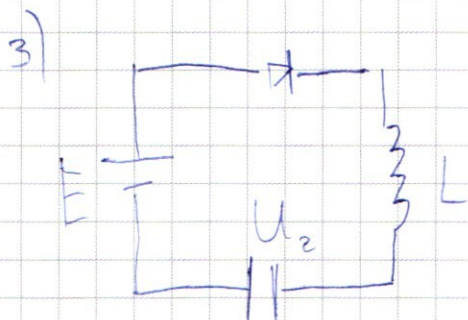
$\left(\frac{LI^2}{2}\right)' = E + U_1 - \frac{q}{C}$

$\frac{LI^2}{2} = \text{max}$ при $E + U_1 - \frac{q}{C} = 0 \Rightarrow q = \frac{(E + U_1)C}{\sqrt{2}}$

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

$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{(E + U_1)^2 C - 2CU_1^2}{L}} = \sqrt{0,02 \cdot 56} \approx 0,15 \text{ А}$

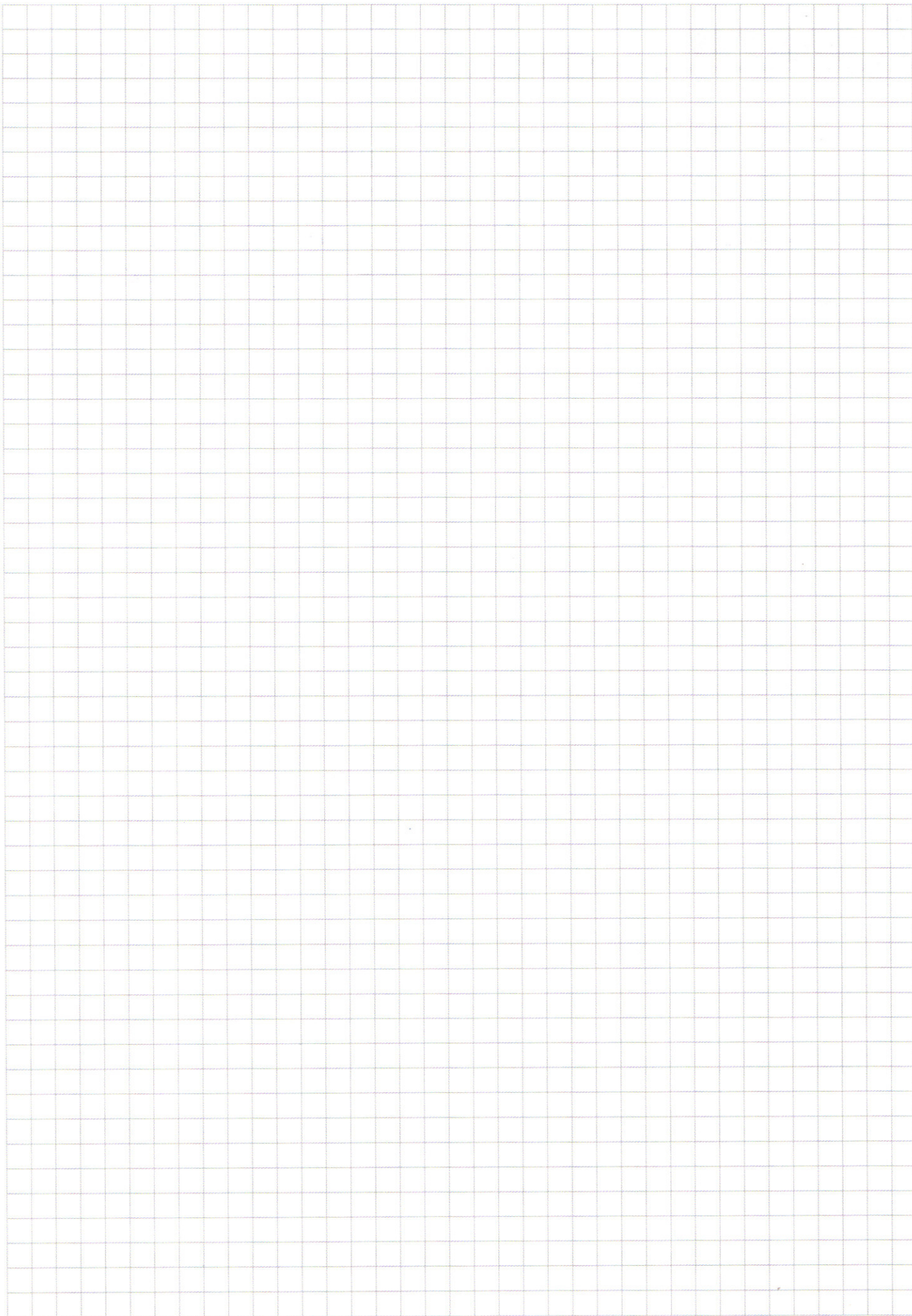
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



В установившемся состоянии
тока нет $\Rightarrow U_{L2} = 0$, $U_{D2} \ll U_0$

$$U_2 = U_0 + E \approx E + U_0 = 8 \text{ В}$$

Ответ: 1) $I_{L1} = 80 \frac{\text{А}}{\text{с}}$, 2) $I_{\text{max}} \approx 0,15 \text{ А}$, 3) $U_2 = 8 \text{ В}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1) \quad 1-2: \quad Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}$$

$$C_{V12} = \frac{Q}{\nu \Delta T_{12}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12}}{\nu \Delta T_{12}} = \frac{3}{2} R$$

$$2-3: \quad Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = p_2 \Delta V_{23} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{23}$$

$$C_{V23} = \frac{Q}{\nu \Delta T_{23}} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{V12}}{C_{V23}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$2) \quad \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}}{\nu R \Delta T_{23}} = 1,5$$

$$3) \quad \eta = 1 - \frac{T_x}{T_H} =$$

$$1-2: \quad Q_{12} = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} (V_2 - V_1) p_2$$

$$A_{цикл} = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_3 - V_1) =$$

$$\frac{p_2}{V_3} = \frac{p_1}{V_1} \Rightarrow \frac{1}{2} (p_2 V_3 - p_1 V_3 - p_2 V_1 + p_1 V_1)$$

$$p_2 V_1 = p_1 V_3$$

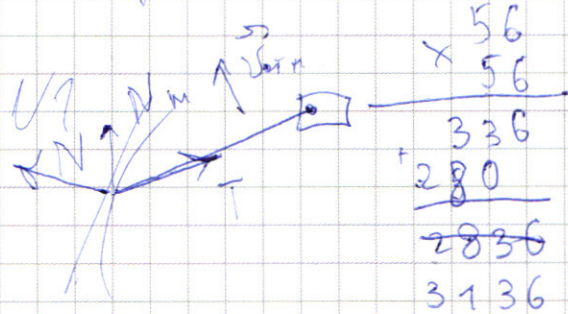
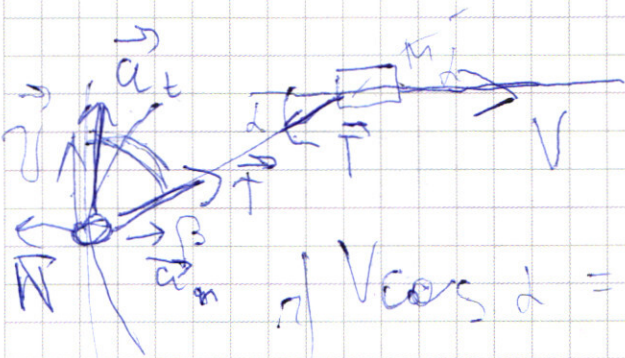
$$0,02 \sqrt{64 - 48} = 0,02 \sqrt{16}$$

$$\begin{array}{r} \times 58 \\ 58 \\ \hline 464 \\ 0 \end{array}$$

$$Q_{\text{sum}} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1 + \frac{5}{2} (V_3 - V_1) p_2 =$$

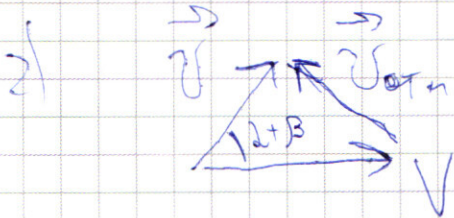
$$= \frac{3}{2} p_2 V_1 - \frac{3}{2} p_1 V_1 + \frac{5}{2} p_2 V_3 - \frac{5}{2} p_2 V_1 =$$

$$= \frac{5}{2} p_2 V_3 - \frac{3}{2} p_1 V_1 - p_2 V_1$$



$$V \cos \alpha = U \cos \beta$$

$$U = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = V \frac{\frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} = V \frac{25}{17} = 50$$

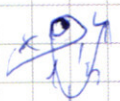


$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{\sqrt{289^2 - 225^2}}{289} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta =$$

$$= \frac{15 \cdot 3 - 8 \cdot 4}{17 \cdot 5} = \frac{13}{17 \cdot 5}$$



$$\begin{array}{r} \times 4 \\ 0.56 \\ \hline 1.56 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 34 \\ 736 \\ \hline 202 \\ \hline 1156 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 289 \\ 1156 \\ \hline 3136 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 36 \\ 216 \\ \hline 108 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 13 \\ 520 \end{array}$$

$$3136$$