

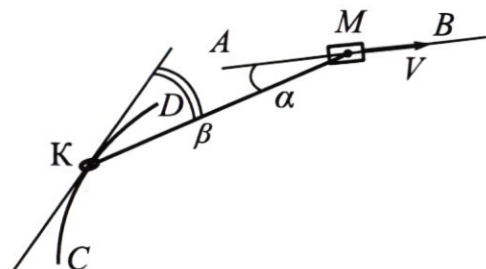
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 11

Вариант 11-03

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.



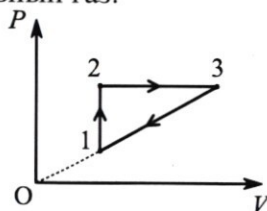
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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.

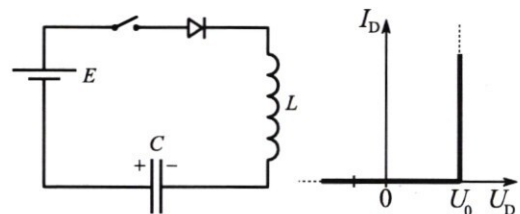
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке,

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.

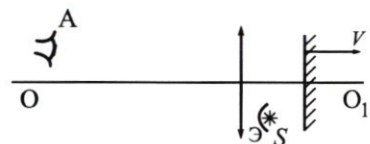


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

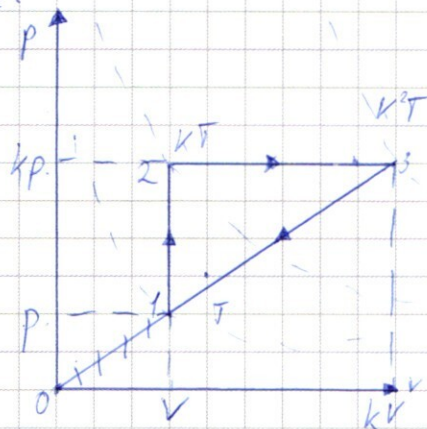
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2.



1) Чтобы понять, где произошло
повышение температуры, нарисовать
изотермы

Из этого построения изотермы
мы можем сделать вывод, что
 $T_1 < T_2$; $T_2 < T_3 \Rightarrow$ в процессе

1-2 и 2-3 температура
повышается.

2) Пусть за процесс 3-1 давление увеличилось в k раз,
то тогда и объем увеличится в k раз, $k > 1$.

3) Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для каждой
из точек.

$$① pV = \nu RT_1; \quad ② k p V = \nu RT_2; \quad ③ k^2 p V = \nu RT_3.$$

из этого можно сделать вывод, что $T_2 = kT_1$, $T_3 = k^2T_1$.

4) Обозначим $T_1 = T$, тогда $T_2 = kT$, $T_3 = k^2T$

5) По первому началу термодинамики $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12}$.

$$A_{12} = 0 \Rightarrow Q_{12} = \Delta U_{12}, \text{ где } \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R T (k-1)$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R T (k-1); \quad \left(\frac{3}{2} R = \frac{Q_{12}}{\nu \Delta T_{12}} = C_{12} \right)$$

6) По первому началу термодинамики $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$.

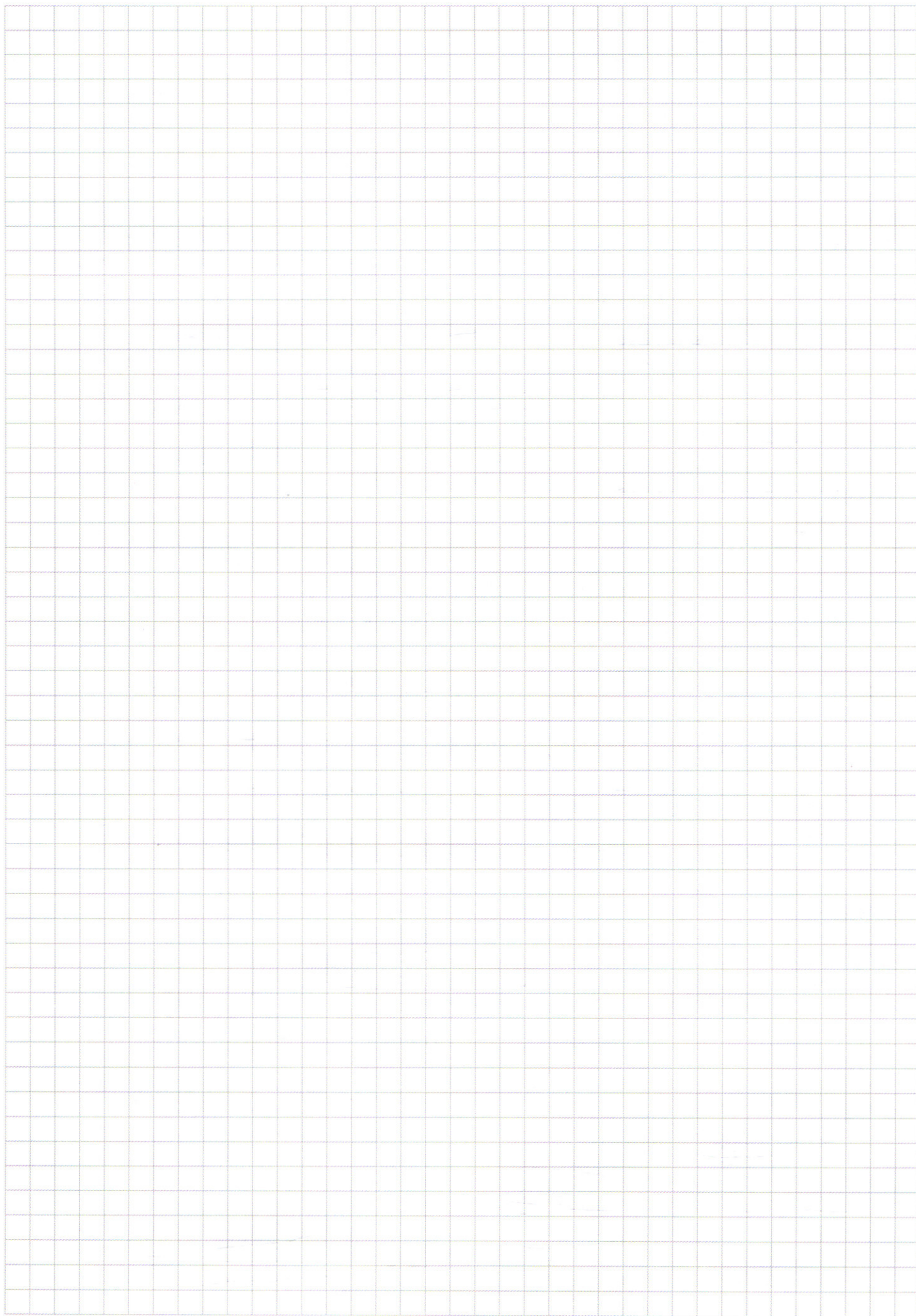
$$A_{23} = k p \cdot (kV - V) = k p V (k-1), \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R T \cdot k (k-1)$$

$$Q_{23} = k p V (k-1) + \frac{3}{2} \nu R T k (k-1), \text{ но } pV = \nu RT \Rightarrow Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R T k (k-1)$$

$$\left(\frac{5}{2} R = \frac{Q_{23}}{\nu \Delta T_{23}} = C_{23} \right)$$

$$7) \frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} \Rightarrow \left(\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5} \right)$$

$$8) \text{ Изобарный процесс - 23} \Rightarrow \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} \nu R T k (k-1)}{\nu R T k (k-1)} = \frac{3}{2}$$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$$

9) $\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_H}$, где $Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \sqrt{RT(k-1)} + \frac{5}{2} \sqrt{TR \cdot k(k-1)}$

$$Q_H = \frac{1}{2} \sqrt{RT(k-1)} (3 + 5k)$$

10) $A_{\Sigma} = A_{12} + A_{23} + A_{31}$

$$A_{31} = \frac{p \cdot p k}{2} \cdot (V - kV) = -\frac{1}{2} pV(k+1)(k-1) \Rightarrow A_{31} =$$

$$A_{\Sigma} = 0 + pV \cdot k(k-1) - \frac{1}{2} pV(k+1)(k-1) = pV(k-1)(k - \frac{1}{2}k - \frac{1}{2})$$

$$A_{\Sigma} = pV(k-1)(\frac{1}{2}k - \frac{1}{2}) = \frac{1}{2} pV(k-1)(k-1)$$

11) $\eta = \frac{\frac{1}{2} pV(k-1)(k-1)}{\frac{1}{2} \sqrt{RT(k-1)} (3 + 5k)}$; $pV = \sqrt{RT} \Rightarrow \eta = \frac{k-1}{3+5k}$

Возьмем производную $\eta = \eta(k) = \frac{(3+5k) - (k-1) \cdot 5}{(3+5k)^2} = \frac{3+5k-5k+5}{(3+5k)^2}$

$\eta'(k) = \frac{8}{(3+5k)^2}$, максимум $\eta(k)$ при $\eta'(k) = 0$, но $\eta'(k) \neq 0$

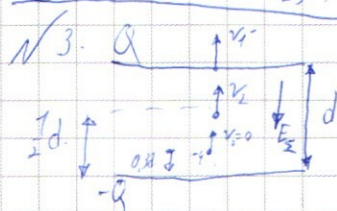
$4k+8=0 \Rightarrow k = -2$, но $k \geq 1$ — не подходит

график $\eta = \frac{k-1}{3+5k}$ — гиперболы с вертикальной асимптотой $k = -\frac{3}{5}$.

Перепишем $\eta = \frac{k-1}{3+5k}$ отн. η .

$k = \frac{3\eta+1}{1-5\eta}$, тогда $\eta = 0,2$ — горизонтальная асимптота и предельное значение η .

Ответ: $\frac{3}{5} = \frac{C_{12}}{C_{23}} \cdot \frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$; $\eta = 0,2$.



1) Пусть Q_1 — заряд обкладки, тогда

$$E_{\Sigma} = \frac{Q}{2\epsilon_0 S} + \frac{Q}{2\epsilon_0 S} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

2) Сила взаимодействия на 1-й пластине равна F

$F = E_{\Sigma} q$, но модуль $ma = E_{\Sigma} q$ $a = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \gamma$, где $\gamma = \frac{1}{m}$.

3) По 3С7 $U = U_1 + U_2 + U_3$, где U_1 — скорость заряда q , U_2 и U_3 потенциалы в центре.

и конце соот.

$$\varphi_2 - \varphi_3 = E_{\Sigma} \cdot 0,5d$$

$$E_{\Sigma} \cdot 0,5d \cdot q = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_3^2}{2}, \quad \frac{mv_3^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{Q}{2\epsilon_0 S} \cdot \frac{1}{2}d \cdot q \quad (1)$$

4) По ЗОЗ из начального положения в конечном.

$$\varphi_1 q = \frac{mv_1^2}{2} + \varphi_2 q, \quad \text{где} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = E_{\Sigma} \cdot 0,7d$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = E_{\Sigma} \cdot \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{7}{10}d \cdot q, \quad \text{подставим в (1); } v_1^2 = \frac{14 Q d q}{10 m \cdot \epsilon_0 S}$$

$$\frac{mv_3^2}{2} = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{7}{10}d \cdot q - \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{1}{2}d \cdot q = \frac{Q}{\epsilon_0 S} d q \left(\frac{7}{10} - \frac{1}{2} \right)$$

$$\frac{mv_3^2}{2} = \frac{Q d q}{5 \epsilon_0 S}; \quad v_3^2 = \frac{2 Q d q}{5 \epsilon_0 S}$$

5) По формулам кинематики $0,2d = \frac{a T^2}{2}; \quad \text{где} \quad a = \frac{0,4d}{T^2}$

6) По формулам кинематики $2a \cdot 0,2d = v_3^2$

$$2 \cdot \frac{0,4d}{T^2} \cdot 0,2d = 2 \cdot \frac{Q \cdot d \cdot q}{5 \epsilon_0 S} \quad \frac{0,4d}{T^2} = \frac{Q q}{\epsilon_0 S} \quad (2)$$

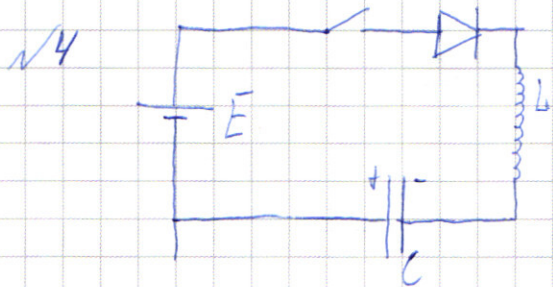
$$v_1^2 = \frac{14 Q d q}{10 \epsilon_0 S}; \quad \frac{Q q}{\epsilon_0 S} = \frac{10 v_1^2}{14d}, \quad \text{подставим в (2)}$$

$$\frac{0,4d}{T^2} = \frac{10 v_1^2}{14d}, \quad \text{откуда} \quad T^2 = \frac{0,4 \cdot 14d^2}{10 v_1^2} \Rightarrow T = \frac{d}{v_1} \sqrt{5,6}$$

7) $Q = \frac{10 v_1^2 \epsilon_0 S}{q \cdot 14d}$

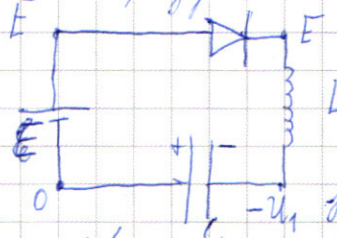
8) Вил конденсатора пока нет $\Rightarrow v_1 = v_2$

Ответ: $T = \frac{d}{v_1} \sqrt{5,6}; \quad Q = \frac{10 v_1^2 \cdot \epsilon_0 S}{q \cdot 14d}; \quad v_1 = v_2$



Метод потенциалов

1) Рассмотрим ситуацию сразу после замыкания ключа



Ток в цепи нет, т.к. ток на конденсаторе скачком не может измениться.

Напряжение на конденсаторе U_C , т.к.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

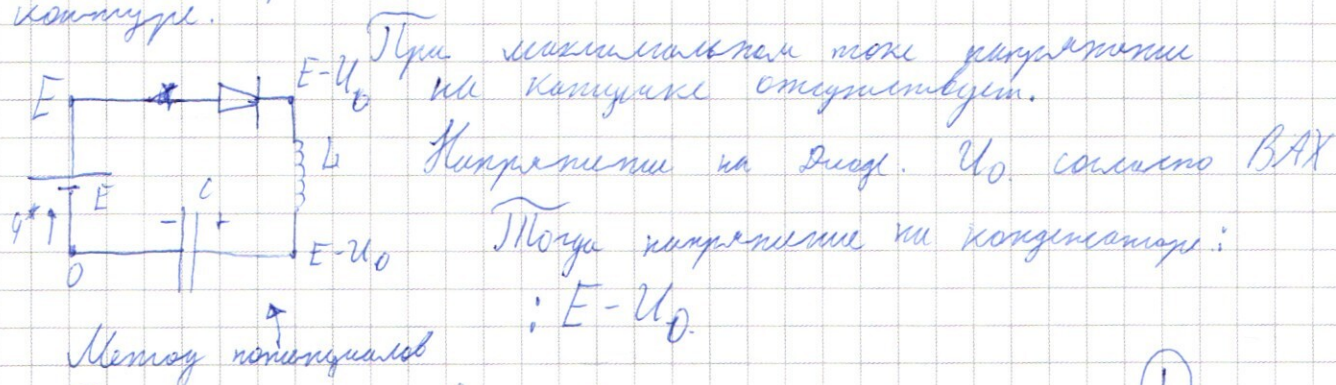
Заряд на конденсаторе скачком не меняется.

Напряжение на диоде отсутствует, т.к. согласно ВАХ $I_D = 0 \Rightarrow U_D = 0$.

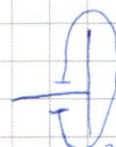
$$E - |U_1| = U_L = L \cdot \dot{I} \quad ; \quad L \cdot \dot{I} = E + U_1$$

$$\dot{I} = \frac{E + U_1}{L} = \frac{6B + 2B}{0,1 \Gamma_n} = 80 \frac{A}{c}$$

2) Рассмотрим момент максимального тока в контуре.



3) Рассмотрим левую обкладку конденсатора.



Пусть q^* - заряд $\pi/2$ батарейки

$$q^* = C U_1 + C (E - U_0)$$

$$\text{По 3 СЗ: } \Delta S = \Delta W + Q_{\text{ст}} \cdot 0$$

$$W(t) = \frac{1}{2} C U_1^2$$

$$W_f = \frac{1}{2} C (E - U_0)^2 + \frac{1}{2} L \cdot I_m^2, \text{ где } I_m = \text{максимальный ток.}$$

$$E (C U_1 + C (E - U_0)) = \frac{1}{2} C (E - U_0)^2 + \frac{1}{2} L I_m^2 - \frac{1}{2} C U_1^2$$

$$\frac{1}{2} L I_m^2 = E (C U_1 + C (E - U_0)) + \frac{1}{2} C U_1^2 - \frac{1}{2} C (E - U_0)^2$$

$$I_m = \sqrt{\frac{2 E (C U_1 + C (E - U_0)) + \frac{C}{L} U_1^2 - \frac{C}{L} (E - U_0)^2}{L}}$$

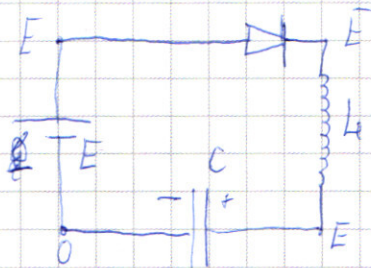
$$I_m \approx 5$$

$$I_m = \sqrt{\frac{2 \cdot 6140 \cdot 10^{-9} \cdot 2B \cdot \varphi + 40 \cdot 10^{-9} (5B - 1B) B}{0,1 F_n}} + \frac{40 \cdot 10^{-9} \cdot 4B \cdot \varphi \cdot \frac{1}{F_n}}{0,1} - \frac{4 \cdot 10^{-9}}{0,1} \cdot 25 B^2$$

$$I_m = \sqrt{128140 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 5 + 16 \cdot 10^{-7} - 10 \cdot 10^{-7}} A = \sqrt{288 + 6 \cdot 10^{-2}}$$

$$I_m = \sqrt{294 \cdot 10^{-7}} A$$

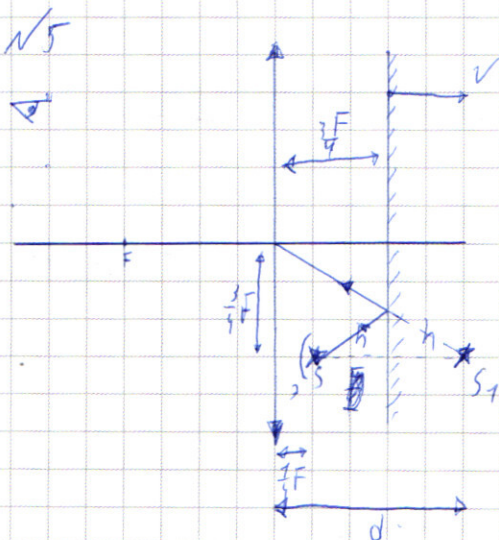
4) Рассчитаем сопротивление при котором на конденсаторе установленное сопротивление U_2 .



В установленном сопротивлении ток не течет.
 Если в цепи ток не течет, то со-
 уществует равенство $0 \Rightarrow$ напряжение на конденсаторе равно нулю.
 Если ток не течет, то $U_2 = 0$.

$$U_2 = E = 6 B$$

Ответ: $I = \frac{E + U_2}{L} = 80$; $I_m = \sqrt{\frac{2E(U_2 + C(E - U_2))}{L} + \frac{C}{L} U_2^2 - \frac{C}{L} (E - U_2)^2}$
 $I_m = \sqrt{294 \cdot 10^{-7}}$; $U_2 = E = 6$.



1) Построим изображение S_1 в зеркале предмета S

Рассчитаем M/H предмета и
 зеркалом $\frac{3F}{4} - \frac{F}{4} = \frac{1}{2} F = h$.

2) Построим изображение S_2 предмета S в линзе.

$$d = \frac{1}{4} F + 2h = \frac{1}{4} F + F = \frac{5}{4} F$$

По формуле тонкой линзы.

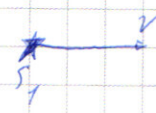
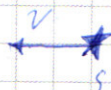
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{4}{5F} \Rightarrow f = 5F$$

3) Перейдем в СО ~~от~~ зеркалом.

По закону сложения скоростей

S движется влево со скоростью v ,
 а значит S_1 вправо со скоростью v .



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4) Перейдем в СО движущуюся

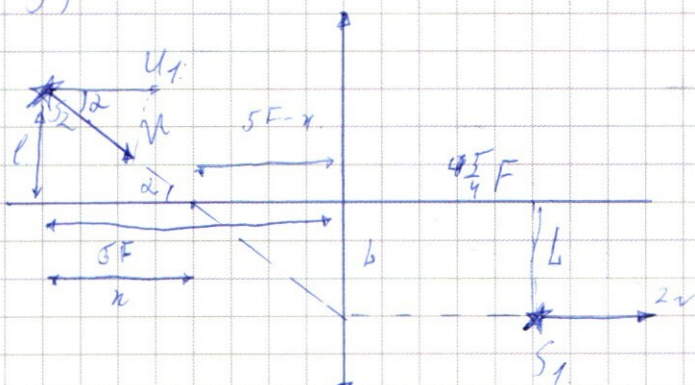
По закону сложения скоростей

$$\vec{v}_{\text{ито}} = \vec{v}_{\text{пер}} + \vec{v}_{\text{отн}}$$

S_1 движется вправо со скоростью $2v$.



5).



Скорости изображений S_2 и предмета S_1 пересекаются в одной точке на линии.

S_2 движется $3F$ вправо м.к. при $2v$ и v будет $\frac{3F}{4} + t$.

$$6) \frac{L}{L} = \Gamma; \Gamma = \frac{5F}{\frac{5F}{4}} = 4; L = \frac{3F}{4} \Rightarrow l = 3F$$

$$2) \text{tg } \alpha = \frac{v}{2v} = \frac{L}{5Ft} \quad \frac{3F}{4} = \frac{3F}{5Ft}$$

$$15F - 3x = \frac{3}{4}x \quad 15F = \frac{3}{4}x + 3x \quad 15F = \frac{15}{4}x$$

$$x = 4F, \text{ тогда } \text{tg } \alpha = \frac{3F}{4F} = \frac{3}{4}$$

8) Пусть U_1 - горизонтальная составляющая U .
Горизонтальная составляющая скорости как Γ^2 .

$$\Gamma^2 = \frac{U_1}{2v} \quad U_1 = \Gamma^2 \cdot 2v \Rightarrow U_1 = 16 \cdot 2v = 32v$$

$$9) 1 + \text{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad 1 + \frac{9}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow \cos^2 \alpha = \frac{16}{25}$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{5}$$

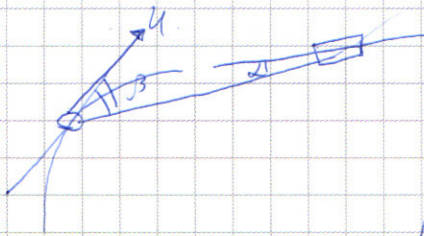
$$\frac{U_1}{U} = \frac{4}{5}$$

$$\frac{32v \cdot 5}{4} = U \quad U = 80v$$

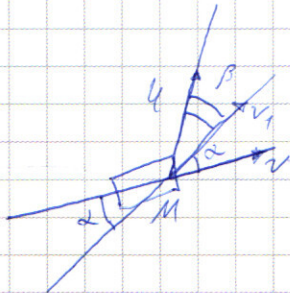
$$\text{Ответ: } t = 5F; \text{tg } \alpha = \frac{3}{4}; U = 40v$$

№1.

- 1) Колесо движется по окружности $\Rightarrow$ скорость направлена по касательной к окружности.



Путь простирается $\Rightarrow$ в направлении касательной к окружности скорость равна.

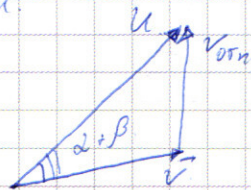
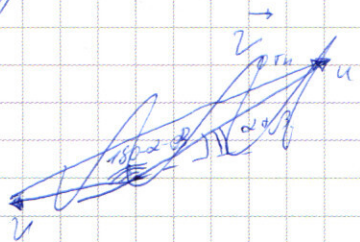


$$2) v_1 = v \cos \alpha$$

$$u = v_1 \cos \beta \Rightarrow u = v \cos \alpha \cos \beta$$

$$u = 34 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{13}{17} \cdot \frac{3}{5} = 2.9 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

- 3) По закону сложения скоростей $\vec{u} = \vec{v} + \vec{v}_{\text{отн}}$



$$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{u} - \vec{v}$$

По теореме косинусов

$$v_{\text{отн}}^2 = v^2 + u^2 - 2 \cdot v \cdot u \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 34^2 + 18^2 - 2 \cdot 34 \cdot 18 \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta)$$

$$\sin \alpha = \frac{8}{17}; \sin \beta = \frac{4}{5}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 1156 + 324 - 2 \cdot 34 \cdot 18 \left(\frac{13}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} \right)$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 1480 - 2 \cdot 34 \cdot 18 \cdot \frac{13}{17} \cdot \frac{3}{5} + 2 \cdot 34 \cdot 18 \cdot \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 1480 - 4 \cdot 18 \cdot 9 + 16 \cdot 18 \cdot 8$$

$$v_{\text{отн}}^2 = 1480 - 648 + 2304 = 3036$$

$$v_{\text{отн}} = \sqrt{3036} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

- 4) Раз колесо движется по окружности то ему сообщают центростремительное ускорение.
Рассчитаем или действующее на тело



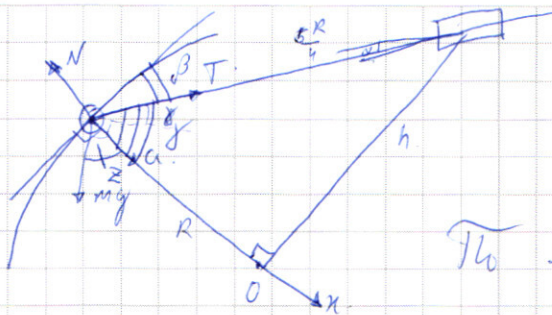
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



По м. Путь

$$\cos \gamma = \frac{4}{5}$$

$$\frac{25R^2}{16} = R^2 + h^2$$

$$h^2 = \frac{9R^2}{16}; h = \frac{3R}{4}$$

По 2-й. на ос - $N + T \cos \gamma - mg \cos \alpha = ma$

$$a = \frac{v^2}{R}$$

$E_z = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$
 $q_1 - q_2 = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d$
 $q_1 q_2 = \frac{m v_1^2}{2} + q_2 (-q)$

$\frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot 0,7d (-q) = \frac{m v_1^2}{2}$

$\frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot q = m a$

$0,7d = \frac{Q Y}{\epsilon_0 S} t^2$

$t_1^2 = \dots$

$\frac{0,7d}{t^2} = \frac{Q Y}{\epsilon_0 S}$

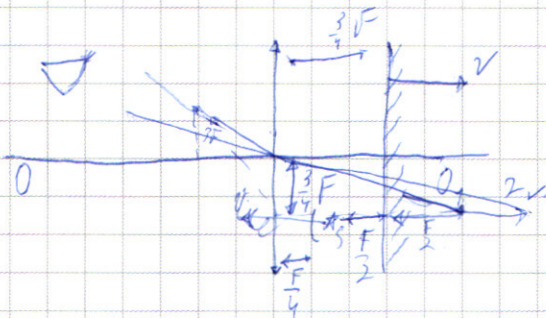
$t_1^2 = \frac{0,7d \cdot 1,4d}{v_1^2} = \frac{0,7^2 d^2 \cdot 2}{v_1^2}$

$E = 6B$
 $C = 40 \mu F$
 $U_1 = 2B$
 $L = 0,1 \Gamma H$

$E - U_1 = L \cdot I$

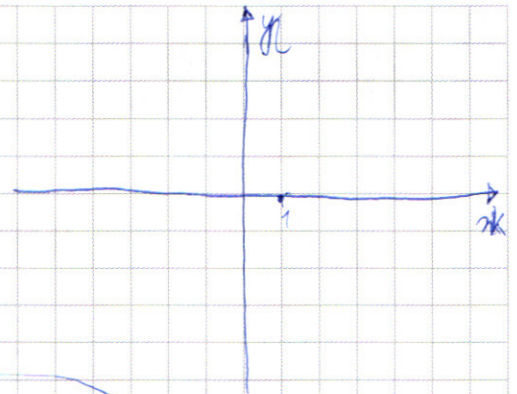
$E - U_1 = L \cdot I$

$I = \frac{E - U_1}{L}$



$\frac{1}{F} = \frac{1}{\frac{5F}{4}} + \frac{1}{F}$

$\Gamma = 4$



$3\eta + 5k\eta = k - 1$

$\frac{0,7d}{t^2} = \frac{Q Y}{\epsilon_0 S}$

$3\eta + 1 = k - 5k\eta$

$k = \frac{3\eta + 1}{1 - 5\eta}$

$1 - 5\eta \neq 0$
 $1 = 5\eta$

$\eta \neq 0,2$

