

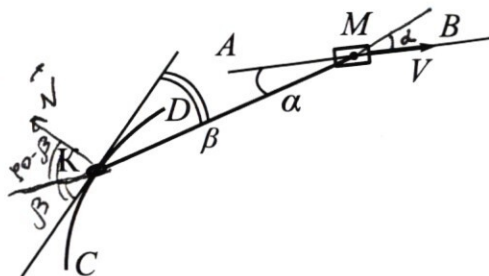
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

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.



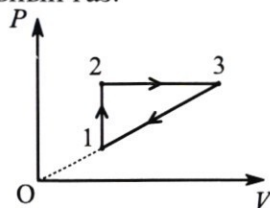
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 $\frac{|q|}{m} = \gamma$. *S - дано*

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?

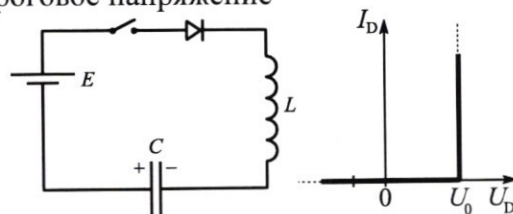
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

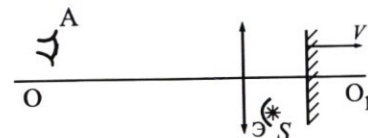


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

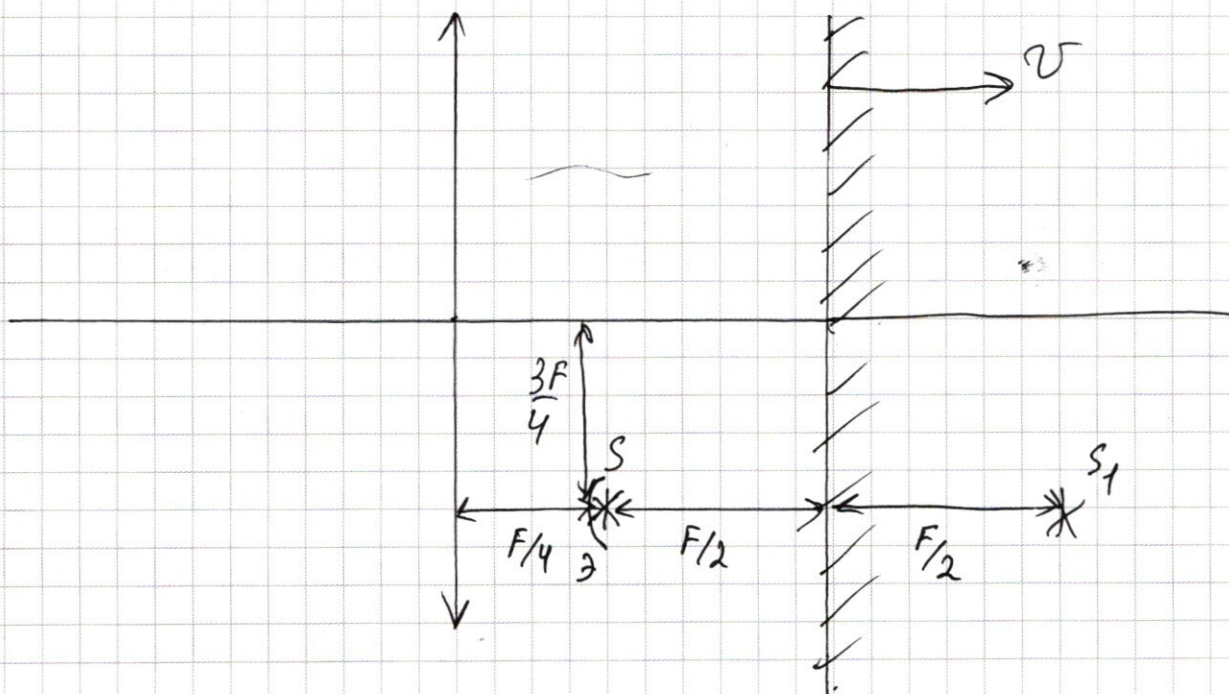
2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 25



1) Источник находится на расстоянии $\frac{3F}{4} - \frac{F}{4} = \frac{F}{2}$ от зеркала. Зеркало создает ~~в~~ изображение S_1 источника на таком же расстоянии по другую сторону. Значит, S_1 находится на расстоянии $\frac{F}{2} + \frac{F}{2} + \frac{F}{4} = \frac{5F}{4}$ от плоскости линзы (S_1 является предметом для линзы и линза создает изображение S_2 в системе)

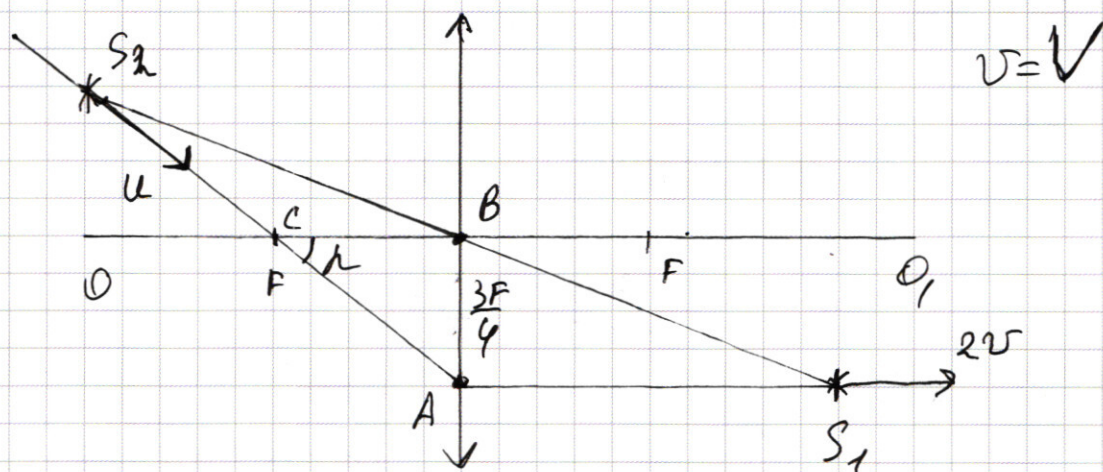
По ф-ле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \quad d = \frac{5F}{4} > F$$

$$f = \frac{Fd}{d-F} = 5F$$

Ответ на первый пункт: $\neq 5F$

2)



Перейдем в СО земли. Источник движется влево со скоростью $v \Rightarrow$ изображение S_1 вправо с такой же скоростью

значит в СО земли по з-му сложению скоростей изображение S_1 движется вправо со скоростью $2v$. Изображение S_1 является источником для линзы, изображение в системе: S_2 (см. рисунок).

Скорость изображения: u . Она направлена к оси вправо и ~~вектор скорости~~ продолжение вектора скорости u пересекает плоскость линзы в т. А, так же как и продолжение вектора $2v$. Пусть $\angle BCA = \alpha$ (см. рис.). Тогда $BC = F$, $AB = \frac{3F}{4}$ (по усл.) $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{BC} = \frac{3}{4}$$

Ответ: $\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) Какова проекция скорости изображения на OO_1 : $u_{||} = u \cos \alpha$

Преданные скорости соотносятся ~~к~~ через Γ^2 , где Γ — поперечное увеличение:

$$u_{||} = \Gamma^2 \cdot 2v$$

$$\Gamma = \frac{f}{f'} = \frac{5F \cdot 4}{5F} = 4$$

Из тригонометрии:

$$1 + \tan^2 \alpha = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$1 + \frac{9}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\frac{25}{16} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow \boxed{\cos \alpha = \frac{4}{5}}$$

$$u \cos \alpha = \Gamma^2 \cdot 2v$$

$$u = \frac{\Gamma^2 \cdot 2v}{\cos \alpha} = \frac{16 \cdot 2 \cdot 2.5}{4} = 40 \text{ В} = 40 \text{ V}$$

Ответ: 40 В

Задача №2

- ① Повышение температуры происходит на участках 1-2 и 2-3.

Участок 1-2 : $V = \text{const}$, $C_V = \frac{3}{2}R$

Участок 2-3 : $p = \text{const}$, $C_p = \frac{5}{2}R$

Тогда, $\frac{C_V}{C_p} = \frac{3}{5} = 0,6$

- ② Участок 2-3 изобарный:

~~или~~

$$C_p \nu \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A, \quad C_p = \frac{5}{2}R$$

$$A = \nu R \Delta T \Rightarrow \frac{\Delta U}{A} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T}{\nu R \Delta T} = \frac{3}{2} = 1,5$$

③ $\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}$

Q_X — отданное газом тепло

Q_H — полученное

$$\bullet Q_H = \Delta U_{123} + A_{123} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1) + \nu R (T_3 - T_2)$$

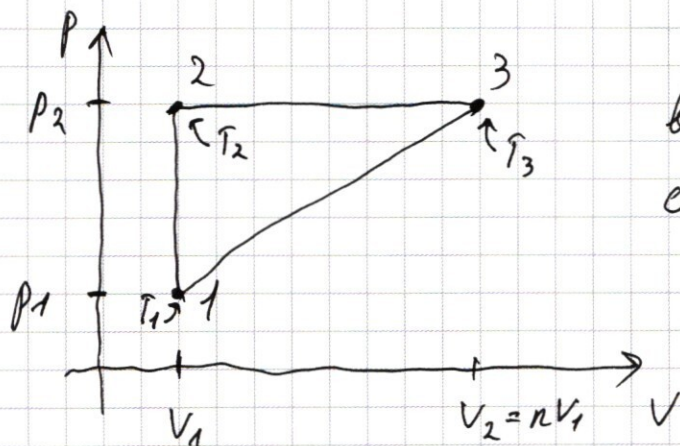
$$A_{123} = A_{12} + A_{23} = 0 + A_{23} = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\bullet |Q_X| = |Q_{31}| = 2 \nu R (T_3 - T_1), \text{ здесь используется}$$

известный факт, что теплоемкость газа при линейной зависимости $p(V)$ равна $2R$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Запишем М-К. для всех состояний:



При необходимости
введенные обозначения
смотреть на рисунке:

$$\begin{aligned} 1) \quad p_1 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_2 V_1 &= \nu R T_2 \end{aligned}$$

Отсюда, $\boxed{\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}} \quad (1)$

$$\begin{aligned} 2) \quad p_2 V_1 &= \nu R T_2, \text{ Пусть } V_2 = n V_1 \\ p_2 \cdot n V_1 &= \nu R T_3 \end{aligned}$$

Отсюда,

$$\boxed{\frac{1}{n} = \frac{T_2}{T_3}} \quad (2)$$

$$3) \text{ На участке } \underline{3-1}: \boxed{p = \alpha V}$$

$$\begin{aligned} \text{Для состояния } \underline{1}: & p_1 = \alpha V_1 \\ \text{Для состояния } \underline{3}: & p_2 = \alpha \cdot n V_1 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{n}} \quad (3)$$

4) Из ур-ий (1), (2), (3) следует:

$$\boxed{\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2}{T_3}} \quad (4)$$

$$T_1 \cdot T_3 = T_2^2$$

$$\boxed{\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2} \quad (5)$$

Пусть $\frac{T_2}{T_1} = \beta \Rightarrow \boxed{\frac{T_3}{T_1} = \beta^2} \quad (6)$

Вернемся к КПД: Пусть $\frac{Q_x}{Q_r} = y$

$$\eta = 1 - y \quad \eta \rightarrow \max \Rightarrow y \rightarrow \min$$

$$y = \frac{2VR(T_3 - T_1)}{VR\left(\frac{5}{2}T_3 - \frac{3}{2}T_1 - T_2\right)}$$

Делим обе части на T_1 :

$$y = \frac{2\left(\frac{T_3}{T_1} - 1\right)}{\frac{5}{2} \cdot \frac{T_3}{T_1} - \frac{3}{2} - \frac{T_2}{T_1}} = \frac{2(\beta^2 - 1)}{\frac{5}{2}\beta^2 - \frac{3}{2} - \beta} = \frac{4(\beta^2 - 1)}{5\beta^2 - 3 - 2\beta}$$

$$y'(\beta) = \frac{(4\beta^2 - 2) \cdot (5\beta^2 - 2\beta - 3) - 4(\beta^2 - 1)(5 - 2\beta - 2)}{(5\beta^2 - 3 - 2\beta)^2} = 0$$

$$40\beta^3 - 16\beta^2 - 24\beta - 4(10\beta^3 - 2\beta^2 - 10\beta + 2) = 0$$

$$40\beta^3 - 16\beta^2 - 24\beta - 40\beta^3 + 8\beta^2 + 40\beta - 8 = 0$$

$$-8\beta^2 + 16\beta - 8 = 0$$

$$\beta^2 - 2\beta + 1 = 0$$

$$(\beta - 1)^2 = 0 \Rightarrow \beta = 1 \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{T_2}{T_1} = 1 \Rightarrow \frac{T_3}{T_1} = 1}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда,

$$\eta = 0 \Rightarrow \eta_{\max} = 100\%$$

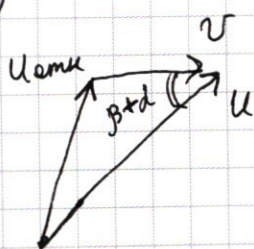
Ответ: 100%

Задача 21

1) Пл. к. имеет перпендикуляр, то проекции скоростей её концов на её ось должны быть равны. Тогда,

$$\begin{aligned} u \cos \beta &= v \cos \alpha \\ u &= v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 34 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{3} = 50 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} u - \text{скорость кольца} \\ v = V = 34 \text{ см/с} \end{array} \right\}$$

2)



По 3-му сложению скоростей:

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

По т. косинусов:

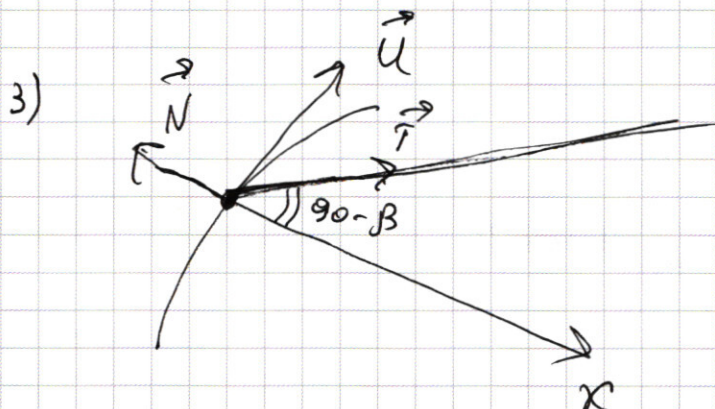
$$u_{\text{отн}}^2 = v^2 + u^2 - 2v \cdot u \cdot \cos(\beta + \alpha)$$

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

$$\sin \beta = 0,8 = \frac{4}{5}$$

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

$$u_{\text{отн}}^2 = 34^2 + 50^2 - 2 \cdot 34 \cdot 50 \cdot \frac{13}{8.17} = 34^2 + 50^2 - 520$$



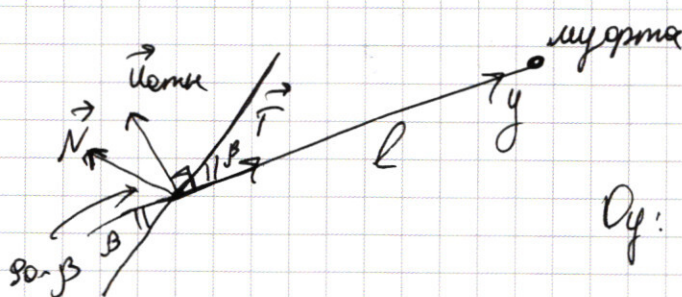
Пило движется по дуге. Значит, по $\vec{r}$ - луч Навотона

$$m a_y = T \sin \beta - N$$

N - сила реакции со стороны проволоки.

$$Oy: \frac{m u^2}{R} = T \sin \beta - N \Rightarrow N = T \sin \beta - \frac{m u^2}{R}$$

Перейдем в СО шурты. В СО шурты кольцо движется по окружности радиуса l вокруг шурты. (присл ином перпендикулярно l)



Тогда по $\vec{r}$ з-м Навотона:

$$Oy: \frac{m u_{\text{отн}}^2}{l} = T - N \sin \beta$$

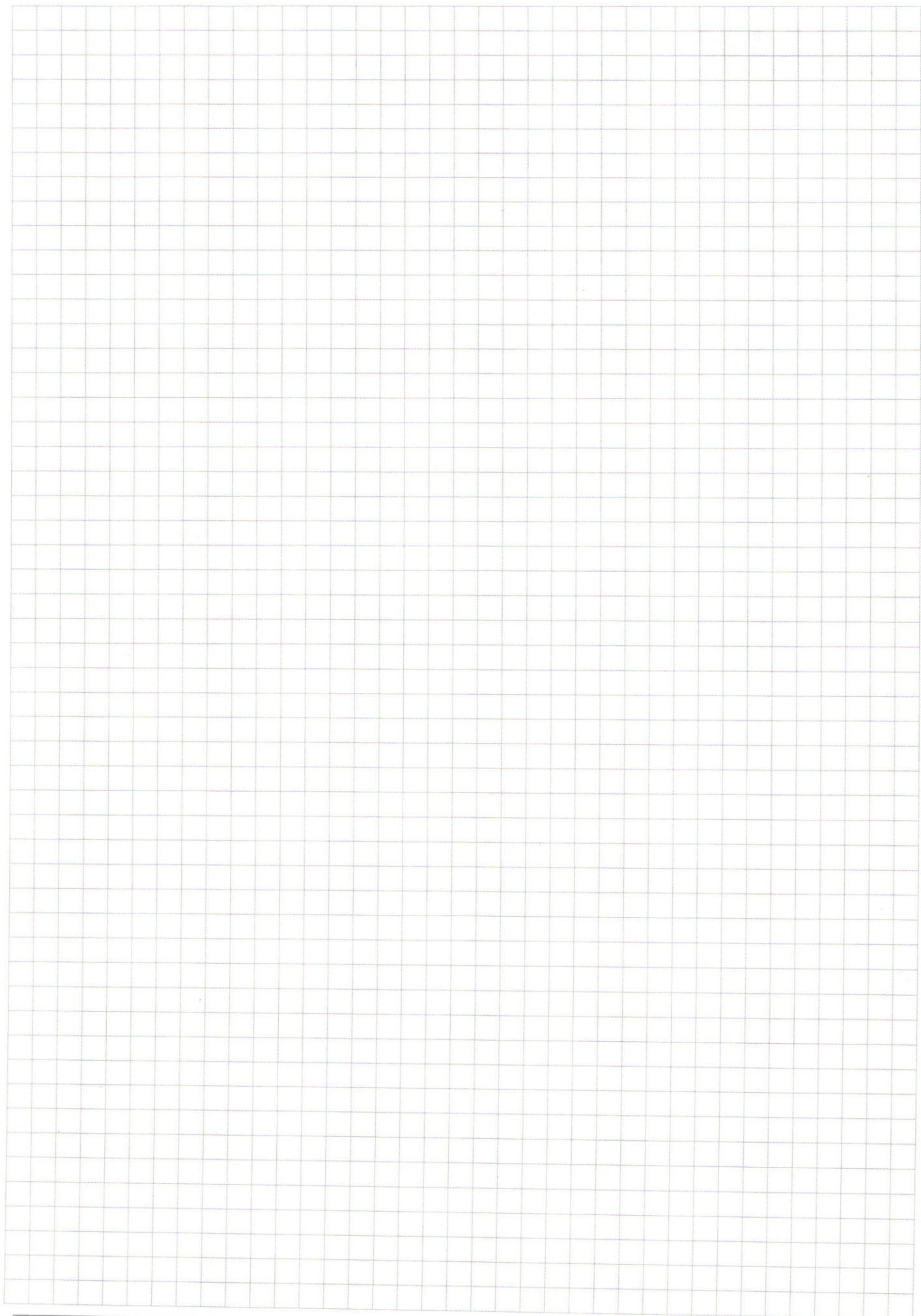
$$\frac{m u_{\text{отн}}^2}{l} = T - \left(T \sin \beta - \frac{m u^2}{R} \right) \sin \beta$$

$$\frac{m u_{\text{отн}}^2}{l} = T - T \sin^2 \beta + \frac{m u^2}{R} \sin \beta$$

$$\frac{m u_{\text{отн}}^2 \cdot 4}{5R} - \frac{m u^2}{R} \sin \beta = T (1 - \sin^2 \beta)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$T = \frac{\frac{m}{R} \left(\frac{4}{5} u_{\text{отн}}^2 - u^2 \sin^2 \beta \right)}{\cos^2 \beta}$$

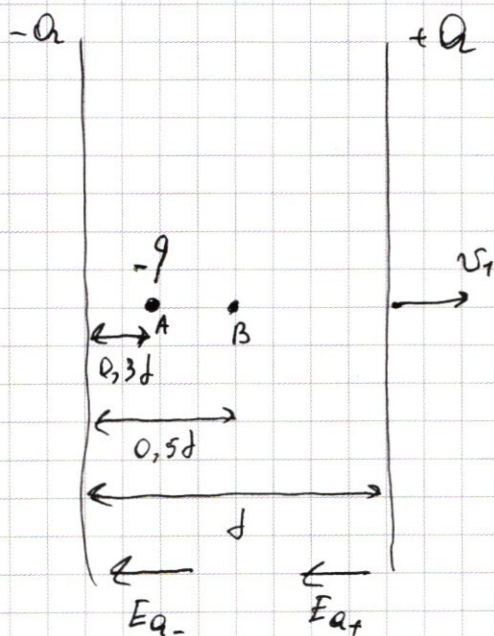


☐ черновик ☒ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 10
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 03



1) Внутри конденсатора поле неизменно и постоянно, значит частица будет двигаться равноускоренно от отриц. обкладки к положительной.

$$S = 0,7d = \frac{v_1^2}{2a}$$

a — ускорение внутри конденсатора.

$$a = \frac{2S}{v_1^2} = \frac{1,4d}{v_1^2} = \frac{v_1^2}{1,4d}$$

$$v_0 = 0 \frac{м}{с} \Rightarrow 0,2d = \frac{aT^2}{2}$$

$$T = \sqrt{\frac{0,4d}{a}} = \sqrt{\frac{0,4d \cdot 1,4d}{v_1^2}} = \sqrt{\frac{0,56d^2}{v_1^2}} = \frac{d}{v_1} \sqrt{0,56}$$

2) По II з-му Ньютона:

$$ma = F_q$$

$$F_q = E_p \cdot |q|, E_p = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$F_q = E_p \cdot |q|$$

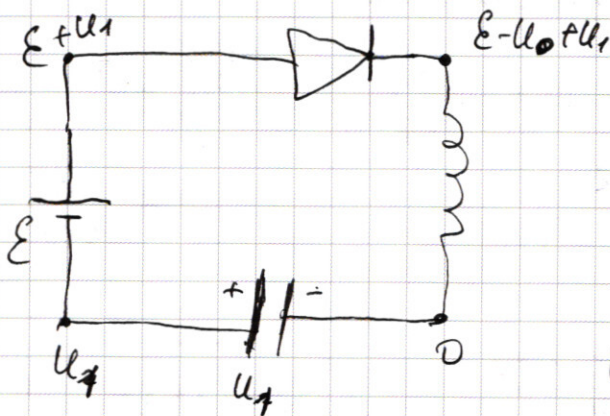
$$m\alpha = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \cdot |q|$$

$$Q = \frac{m\alpha \cdot \epsilon_0 S}{|q|} = \frac{v_1^2 \cdot \epsilon_0 S}{1,48 \text{ pF}}$$

3) На бесконечно большом расстоянии скорость частицы будет равна $v_2 = v_1$, т.к. сразу за обкладками конденсатора нет поля, т.к. результирующая равна 0 и система находится в вакууме

Задача 4

1) Сразу после замыкания ключа ток в цепи нет:



u - напряжение на катушке в этот момент:

$$u = (\epsilon - u_0 + u_1) - 0 = \epsilon - u_0 = 5 \text{ (В)}$$

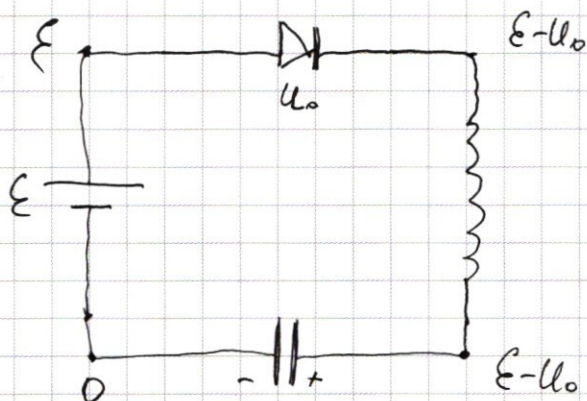
$$u = (\epsilon - u_0 + u_1) - 0 = 7 \text{ (В)}$$

$$u = L I' \Rightarrow I' = \frac{u}{L} = \frac{7}{0,1} = 70$$

Ответ: 70

2) Максимальный ток будет тогда, когда $\epsilon_{si} = 0$

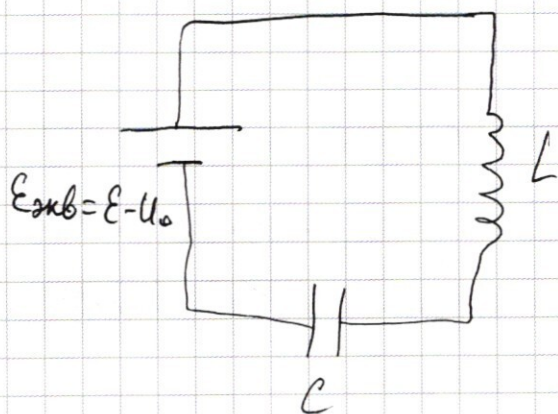
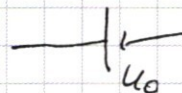
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Значит конденсатор
зарядится до $U_C = \mathcal{E} - U_0 - 0 =$
 $= 5(\text{В})$, при этом изменит
полярность

Используя ЗСЭ для данной цепи можно
считать диод батарейкой с ЭДС U_0 :

Тогда,



по ЗСЭ

$$\mathcal{E}_{\text{эв}} \cdot \Delta q = \Delta W_{\text{эл}}$$

Разобьем ЗСЭ на две части

1) U_C меняется от U_1 до 0:

$$\mathcal{E}_{\text{эв}} \Delta q_1 = 0 - \frac{C U_1^2}{2} + \frac{L I_1^2}{2}$$

$$\Delta q_1 = 0 - C U_1$$

$$(\mathcal{E} - U_0) \cdot C U_1 = \frac{C U_1^2}{2} + \frac{L I_1^2}{2}$$

$$\frac{L I_1^2}{2} = C U_1 \left(\varepsilon - U_0 - \frac{U_1}{2} \right)$$

~~Эта энергия~~

2) U_0 меняется от 0 до $U_3 = 5 \text{ В}$

$$\varepsilon_{\text{экв}} \Delta q_2 = \frac{L I_m^2}{2} + \frac{C U_3^2}{2} - 0$$

$$\Delta q_2 = C \cdot (U_3)$$

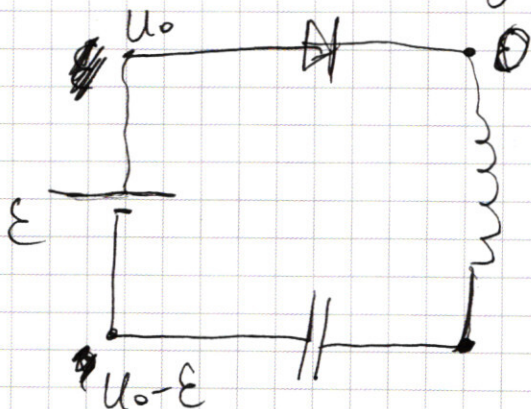
$$(\varepsilon - U_0) C U_3 = \frac{L I_m^2}{2} - C U_1 \left(\varepsilon - U_0 - \frac{U_1}{2} \right) + \frac{C U_3^2}{2}$$

$$\frac{L I_m^2}{2} = C U_3 \left(\varepsilon - U_0 - \frac{U_3}{2} \right) + C U_1 \left(\varepsilon - U_0 - \frac{U_1}{2} \right)$$

$$\frac{L I_m^2}{2} = 40 \cdot 10^{-6} \left((5 - 2,5) + 2 \cdot 4 \right) = 40 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6}$$

$$I_m = \frac{40 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{0,1} = 80 \cdot 15,5 \cdot 10^{-5}$$

3) Установившееся напряжение на конденсаторе станет, когда разность потенциалов на диоде станет ~~равной~~
 меньше U_0



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$y = \frac{Q_n}{Q_k} \rightarrow \min$$

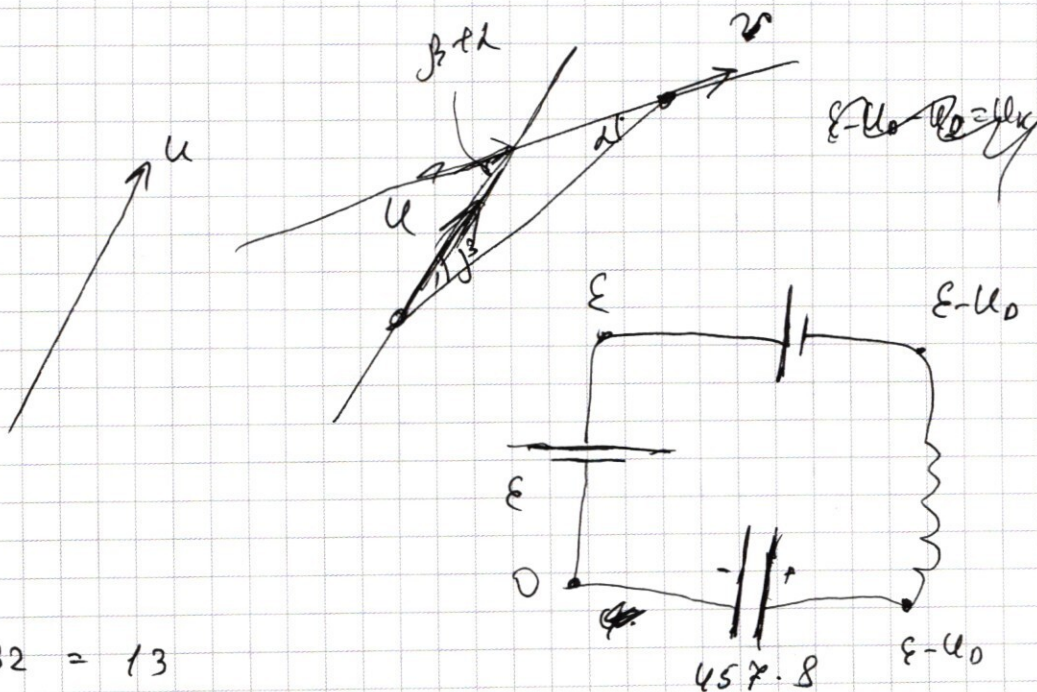
$$130.4 = 520$$

$$y = \frac{2\sqrt{R}(T_3 - T_1)}{2\sqrt{R}\left(\frac{5}{2}T_3 - \frac{3}{2}T_1 - T_2\right)} = \frac{2T_3 - 2T_1}{\frac{5}{2}T_3 - \frac{3}{2}T_1 - T_2}$$

$$= \frac{2\frac{T_3}{T_1} - 2}{\frac{5}{2} - \frac{3}{2} - \frac{T_2}{T_1}}$$

$$6+2-1$$

$$U_2 + U - U_0 = U_k$$



$$45 - 32 = 13$$

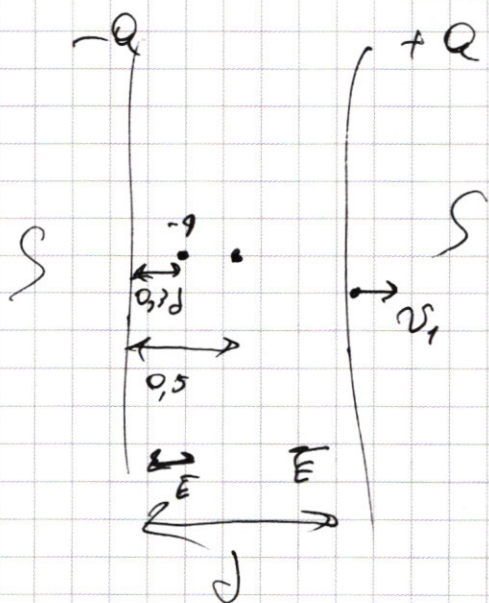
$$\begin{array}{r} 1' \\ 34 \\ \times 34 \\ \hline 136 \\ 102 \\ \hline 1156 \end{array}$$

$$2500$$

$$36564$$

$$4.914$$

$$1828$$



$$ma = F_g$$

$$F = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$F_g = E|q| = \frac{Q|q|}{\epsilon_0 S}$$

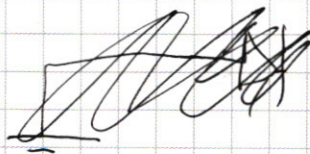
$$\alpha = \frac{Q|q|}{\epsilon_0 S m} = \frac{Q \mu}{\epsilon_0 S}$$

$$S = 0,2d$$

$$0,2d = \frac{aT^2}{2}$$

$$S = 0,4d = \frac{v_1^2}{2\alpha}$$

$$\alpha = \frac{2qS}{v_1^2} = \frac{6,4d}{v_1^2}$$

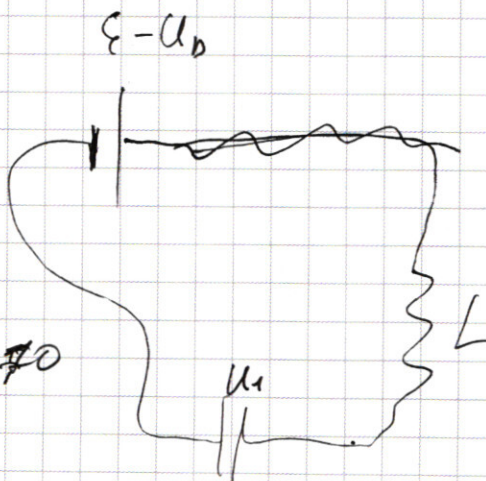


24



$$E_{si} = ZB$$

$$LI' = ZB \Rightarrow I' = \frac{Z}{Q_1} = 70$$



~~E~~

$$E - E_{si} = -U_D - U_C$$

$$E + U_D + U_C = 0$$

$$U = U_C = Z$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$Q_{\text{к}} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1) + \nu R (T_3 - T_2)$$

$$A_2 = \nu R (T_3 - T_2) - \frac{1}{2} \nu R (T_3 - T_1)$$

$$Q_{\text{к}} = \frac{5}{2} \nu R T_3 - \frac{3}{2} \nu R T_1 - \nu R T_2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \nu R T_3 - \nu R T_2 + \frac{1}{2} \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{к}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{к}}} = 1 - \frac{Q_{\text{х}}}{Q_{\text{к}}}$$

$$\frac{Q_{\text{х}}}{Q_{\text{к}}} \rightarrow \min$$

$$Q_{\text{х}} = Q_{23} = 2 \nu R (T_3 - T_1)$$

$$Q_{\text{к}} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) \quad T_2^2 = T_1 \cdot T_3$$

$$\begin{aligned} p_1 V_1 &= \nu R T_1 \\ p_2 V_1 &= \nu R T_2 \end{aligned} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{n} = \frac{T_2}{T_3} \quad p = dV$$

$$\begin{aligned} p_2 \cdot V_1 &= \nu R T_2 \\ p_2 \cdot n V_1 &= \nu R T_3 \end{aligned} \Rightarrow \frac{p_2}{p_2 n} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{1}{n}$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

p

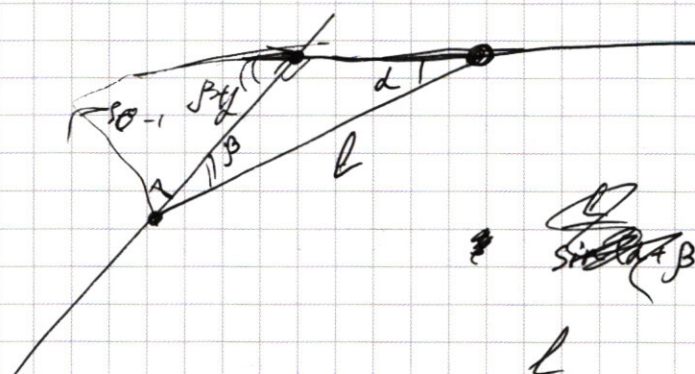
$$\frac{T_3}{T_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^2$$

$$p_1 = dV_1$$

$$p_2 = dV_3$$

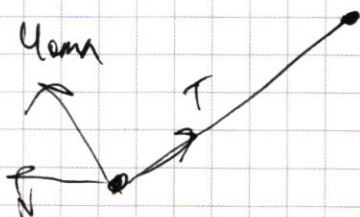
$$p_2 = d n V_1$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{n}$$

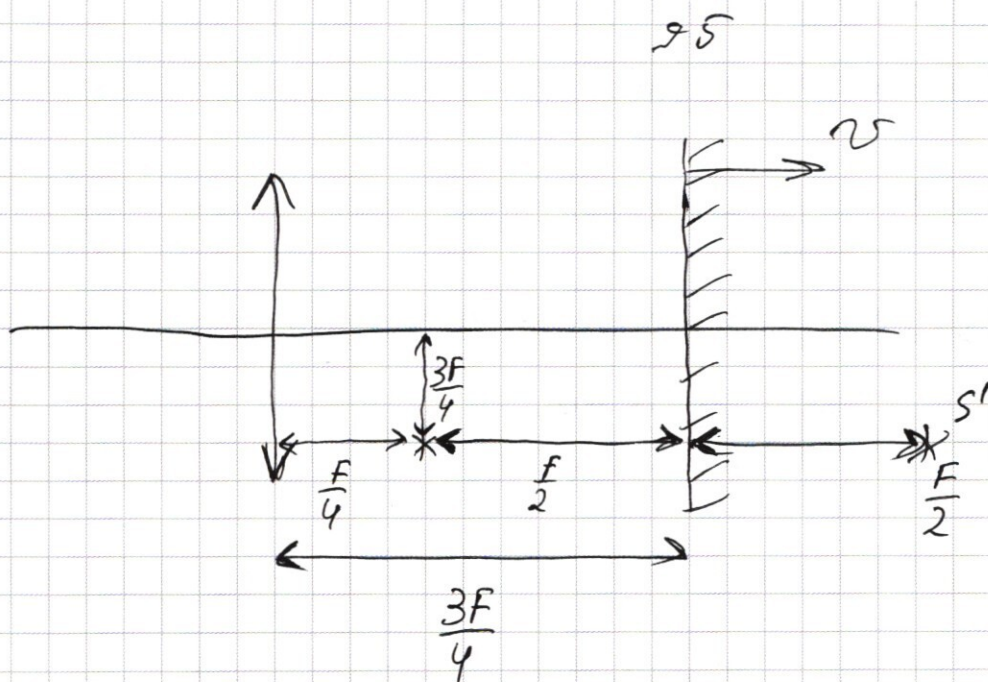


$$\frac{l}{\sin(180 - (\alpha + \beta))}$$

В О.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) \quad \frac{3F}{4} - \frac{F}{4} = \frac{2F}{4} = \frac{F}{2}$$

$$F + \frac{F}{4} = \frac{5F}{4} = d > F$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d - F}{Fd}$$

$$f = \frac{Fd}{d - F} = \frac{F \cdot \frac{5F}{4}}{\frac{F}{4}} = \frac{5F \cdot F \cdot 4}{4F} = 5F$$

2)

В со мизы $\rightarrow v$

В со зими: $\rightarrow 2v$

22

$$1) \frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$1-2: \text{ ~~РР~~ } V = \text{const} \Rightarrow C_V = \frac{3}{2} R$$

$$2-3: p = \text{const} \Rightarrow C_P = \frac{5}{2} R$$

$$2) Q_{123} = \frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{2} = 1,5$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T, \quad A = p \Delta V = p(V_3 - V_2) = \nu R \Delta T$$

$$\text{max } \eta \quad \eta = \frac{A}{Q_H} \rightarrow \text{max}$$

$$\eta \quad Q_H = A_2$$

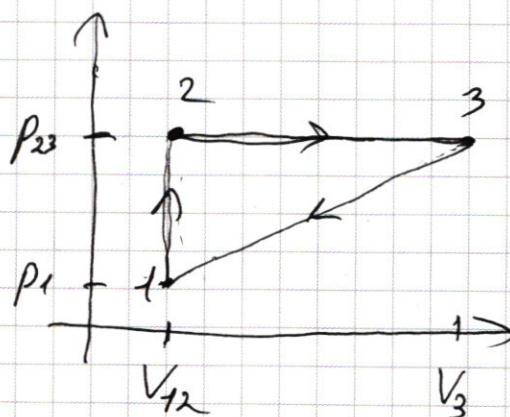
$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\Delta U_{123} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1)$$

$$A_{123} = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$A_2 = S_{yr}$$

$$S_{yr} = \frac{(V_3 - V_{12}) \cdot (p_{23} - p_1)}{2} =$$



$$= \frac{1}{2} (p_{23} V_3 - p_1 V_3 - p_{23} V_{12} + p_1 V_{12})$$

$$\begin{cases} p_1 = p_{23} \\ p_{23} = p_1 \end{cases}$$

$$p_1 V_3 = p_{23} V_{12}$$

$$A_{31} = -0,5 \nu R (T_3 - T_1)$$