

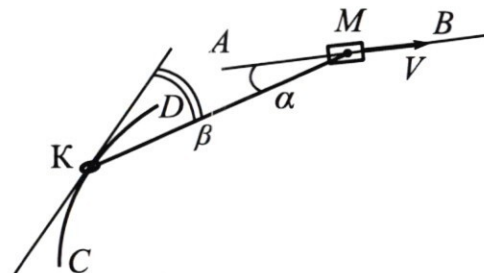
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-03

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложения бланка задания не принимаются.

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.

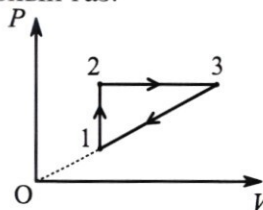
3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

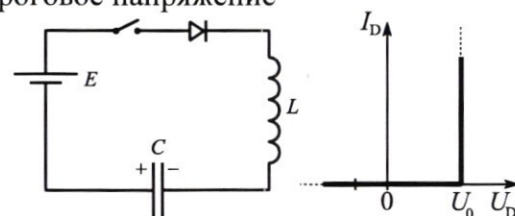
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

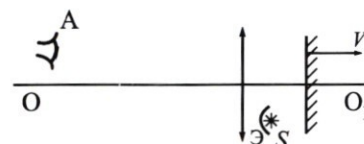


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

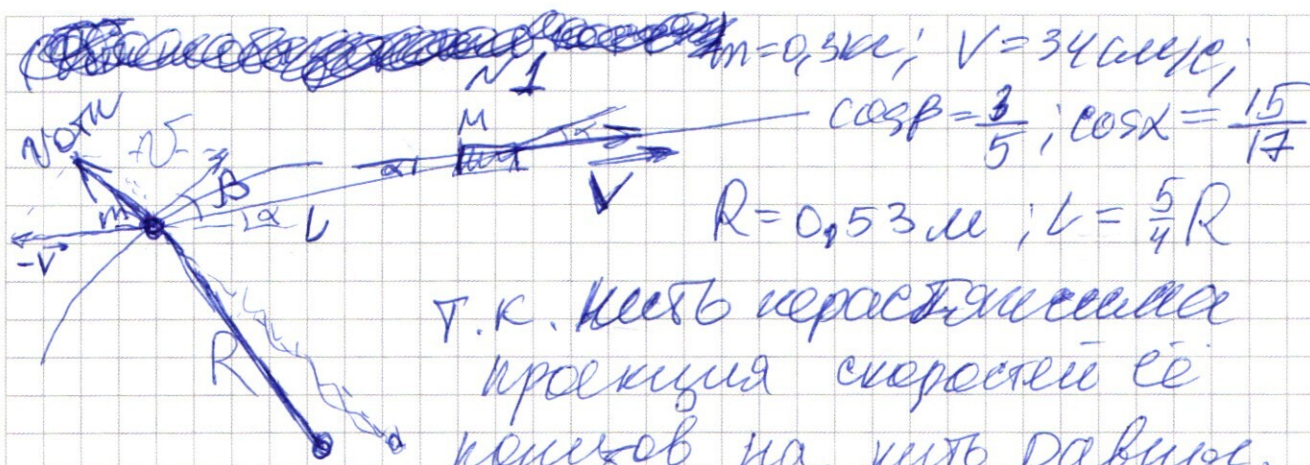
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



Т.к. киты пересаживаются
проекции скоростей её
концов на кит равны,
т.е. $U \cos \beta = V \cos \alpha$; тогда

$$U = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{25}{17} V = 50 \text{ м/с.}$$

$$\vec{V}_{\text{отн}} = \vec{U} - \vec{V} \quad (2)$$

$$V_{\text{отн}}^2 = U^2 + V^2 - 2\vec{U} \cdot \vec{V}$$

$$V_{\text{отн}} = \sqrt{U^2 + V^2 - 2UV \cos(\alpha + \beta)} \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{8}{17}; \sin \beta = \frac{4}{5};$$

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

$$= \frac{13}{85}$$

$$(3) \quad V \sqrt{\frac{25^2}{17^2} + 1 - \frac{2 \cdot 13 \cdot 25}{85 \cdot 17}} = \sqrt{\frac{784}{17^2}} = \frac{28}{17} V = 56 \text{ м/с}$$

~~Косая планка жестко закреплена~~

Перейдем в С.О. ищорты, т.к.
нить не меняет свою длину,

кольцо в этой системе отсчета
движется по окружности вокруг

Ищорты. При этом ~~нормальное~~
ускорение создается разностью
проекций ^{на нить} силы трения и силы реакции
проволоки. ~~Косая планка~~

$$\text{по II З.Н.: } m \frac{v_{\text{отн}}^2}{L} = T - N \cdot \sin \beta \quad (1)$$

кроме того в лабораторной С.О.

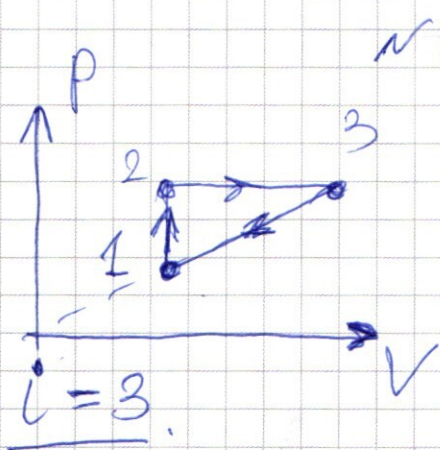
~~кольцо~~ кольцо движется
тоже по окружности ~~векторная~~

$$\text{и по II З.Н. } m \frac{v^2}{R} = T \cdot \sin \beta \quad (2)$$

умножим (2) на $\sin \beta$ и вычтем
из (1): $\frac{m}{R} \left(\frac{4}{5} \left(\frac{25}{17} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{25}{17} \right)^2} \right) = T \cdot (1 - \sin^2 \beta)$

$$T = \frac{m}{R \cos^2 \beta} \cdot \frac{44}{5 \cdot 17^2} V^2 = \frac{0,344 \cdot (0,34)^2}{0,53 \cdot \frac{9}{25} \cdot 5 \cdot 17^2} \approx$$
$$\approx 5,5 \text{ мН.}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№ 2.

пусть C_V — молярная
теплоёмкость в (1-2).

C_P — молярная теплоёмкость
в (2-3).

~~В(1-2)~~

$$A_{12} = 0 \Rightarrow C_V = \frac{dQ_{12}}{dT_{12} \cdot \nu} = \frac{dU_{12}}{dT_{12} \cdot \nu}$$

$$= \frac{\frac{3}{2} V_{12} dp_{12}}{\frac{V_{12} dp_{12}}{R}} = \frac{3}{2} R.$$

$$(T = \frac{PV}{\nu R})$$

$$C_P = \frac{dU_{23} + dA_{23}}{dT_{23} \cdot \nu} = \frac{\frac{3}{2} P_{23} dV_{23} + P_{23} dV_{23}}{\frac{P_{23} dV_{23}}{R}} = \frac{5}{2} R.$$

Теплоёмкость на (1-2) и на (2-3) постоянна
и не зависит от температуры, а температура повышается

$\Rightarrow$ температура повышается, ~~то~~

~~в процессе~~ в процессе
(3-1) она

очевидно понижается, тогда полное отношение

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}; \text{ как уже показано}$$

было при нагреве C_p , в изобарном процессе $dU_{23} = d\left(\frac{3}{2} \nu R T_{23}\right) = \frac{3}{2} d(p_{23} V_{23}) =$
 $= \frac{3}{2} p_{23} dV_{23} (p_{23} = \text{const}), \text{ а}$

$$dA_{23} = p_{23} dV_{23} (\text{т.к. } p = \text{const}).$$

$$\Rightarrow \frac{dU_{23}}{dA_{23}} = \frac{3}{2}; \text{ т.е. } A_{23} = \frac{2}{5} \Delta Q_{23} = \frac{2}{5} (p_{23} (V_3 - V_2)) = (V_3 - V_2) \nu$$

КПД цикла будет $\eta = \frac{A_{\text{кр}}}{Q_{\text{затр}}} =$

$$= \frac{A_{23} - A_{31}}{Q_{12} + Q_{23}}; \quad A_{23} = p_{23} (V_3 - V_2);$$

$$A_{31} = \frac{p_3 - p_1}{2} \cdot (V_3 - V_1)$$

(как показано на графике)

$$(p_2 = p_3)$$

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (p_2 - p_1)$$

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{3} \Delta U_{23} = \frac{5}{2} \nu R (p_3 - p_2)$$

Рассмотрим процесс (3-1) и найдём его молярную теплоёмкость C_{31} .

$$C_{31} = \frac{dQ_{31}}{dT_{31} \cdot \nu} = \frac{p_{31} dV_{31} + \frac{3}{2} d(p_{31} V_{31})}{\frac{d(p_{31} V_{31})}{R}} \quad \text{---}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\ominus \frac{3}{2} R + \frac{p_{31} dV_{31}}{d(p_{31} \cdot V_{31})} \cdot R$$

$$p_{31} \sim V_{31}; \quad p_{31} = V_{31} \cdot \frac{dp_{31}}{dV_{31}} \quad \text{— условием экстр. на графике}$$

$$\text{тогда } p_{31} \cdot dV_{31} = V_{31} \cdot dp_{31}.$$

$$\begin{aligned} d(p_{31} \cdot V_{31}) &= dp_{31} \cdot V_{31} + dV_{31} \cdot p_{31} = \\ &= 2 V_{31} \cdot dp_{31} \end{aligned}$$

$$\text{тогда } C_{31} = \frac{3}{2} R + \frac{1}{2} R = 2 R.$$

$$\begin{aligned} \text{и } A_{31} &= \frac{1}{4} Q_{31} = \frac{1}{4} C_{31} \cdot \nu \cdot \Delta T_{31} = \\ &= \frac{1}{2} \nu (T_3 - T_1) \end{aligned}$$

$$Q_{12} = C_V \nu (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu (T_2 - T_1)$$

$$Q_{23} = C_P \nu (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu (T_3 - T_2)$$

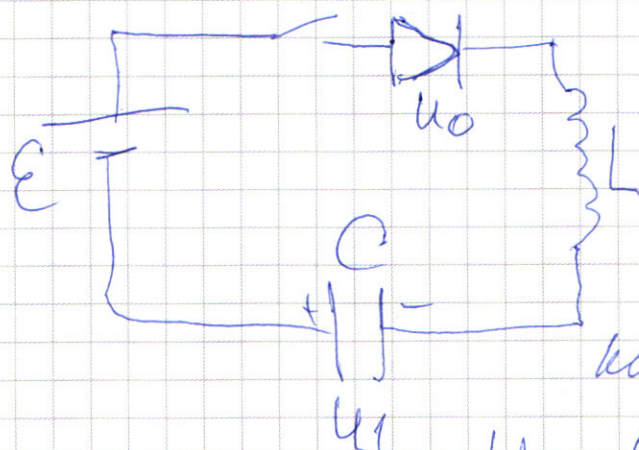
$$\text{тогда } \eta = \frac{(T_3 - T_2) - \frac{1}{2} (T_3 - T_1)}{\frac{3}{2} (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} (T_3 - T_2)} = \frac{T_3 + T_1 - 2T_2}{5T_3 - 3T_1 - 2T_2}$$

Очевидно, что КПД максимальный
если $Q_{\text{затр}} = \min$, а $A_n = \max$

т.е. работу можно выразить ~~срзу~~
~~подведем под фреон~~

Работа зависит только от разности
температур, а ~~затр~~ подводимая
теплота тем меньше, чем
меньше T_1 и T_2 , тогда $\eta = \max$,
при $T_1 = T_2 = 0$, тогда $\eta_{\max} = \frac{1}{5}$.

ИЧ.



$$E = 6 \text{ В}; U_1 = 2 \text{ В}; U_0 = 1 \text{ В}.$$

$$C = 40 \text{ мкФ}; L = 0,1 \text{ Гн}.$$

сразу после замыкания
кнопки по II пр. Кирхгофа

$$U_1 + E - U_0 = -E_i = L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_1 + E - U_0}{L} = \frac{2 + 6 - 1}{0,1} = 70 \frac{\text{А}}{\text{с}}.$$

Тогда, если $I = \max$, то $E_i = -L \frac{dI}{dt} = 0$.

тогда по II пр. Кирхгофа при $I = \max$:

$$E - U_0 + U_C = 0; U_C = -E + U_0 = -5 \text{ В}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Т.е. конденсатор зарядится ~~на~~ наоборот.

~~$q_0 = C|U_1|$~~ $q_c = C|U_c|$
~~новый заряд~~ новый заряд

$$\Delta q = q_0 + q_c = C|U_1| + C|U_c|$$

заряд прошедший по цепи

Тогда по З.С.Э:

$$\frac{CU_1^2}{2} + \Delta q \cdot E - \Delta q \cdot U_0 =$$

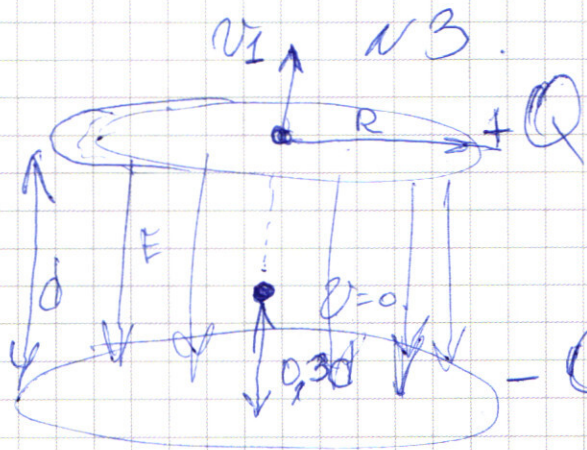
$$= \frac{L I_{\max}^2}{2} + \frac{CU_c^2}{2}$$

$$\frac{L I_{\max}^2}{2} = \frac{C}{2} (-(U_1 + U_c) (U_1 - U_c) + (U_1 + U_c)(E - U_0))$$

$$= \frac{C}{2} (U_1 + U_c) (U_1 - U_c + E - U_0)$$

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{C(U_1 + U_c)(U_1 - U_c + E - U_0)}{L}} =$$

$$= \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 7}{0,1}} = 7 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 0,14 \text{ A.}$$



Напряженность
поля в конденсаторе
постоянна и равна

$$E = \frac{Q}{S \epsilon_0}, \text{ при } x$$

вне конденсатора $E = 0$.

Тогда работа поля по перемещению
заряженной частицы q ($q < 0$).

$$|A| = \underbrace{|q| \cdot E}_{F_{кл.}} \cdot x, \text{ где } x - \text{перемещение}$$

вдоль линий
напряженности

по З.С. Г. $|A| = \frac{m v_1^2}{2}$ ~~при $x = 0,7d$~~

$$v = v_1, \text{ при } x = 0,7d.$$

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

$$\frac{Q}{S \epsilon_0} = E; \frac{|q|}{m} = j \text{ (по усл.)}$$

тогда $E = \frac{v_1^2 \cdot 5}{7d \cdot j}$

$$Q \cdot \epsilon_0 \cdot Q = \pi R^2 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{v_1^2 \cdot 5}{7d \cdot j}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

на частицу действует только сила Кулона
~~потенциал~~ по Π 3. Н. $F_{\text{кл}} = ma$.

$$a = \frac{1q1}{m} \cdot E = \frac{V_1^2 \cdot 5}{7d}$$

причем $a = \text{const}$; частица будет находиться
посередине между обкладками, т.е. пройдет
 $0,2d$ через T , тогда $\frac{aT^2}{2} = 0,2d$.

$$T = \sqrt{\frac{0,4d \cdot 7d}{V_1^2 \cdot 5}} = \frac{d}{V_1} \cdot \sqrt{\frac{28}{5}} \approx 0,7 \frac{d}{V_1}$$

т.к. напряженность поля вне конденсатора
 $= 0$, то $V_2 = V_1$

№ 4 (продолжение пункта 3)

т.к. ток через катушку не может
измениться мгновенно, то до
закрыва диода ток по цепи
протечет заряд Δq_2 , а конденсатор

зарядится до U_2 ; $\Delta q_2 = (U_2 - |U_c|) \cdot C$.

по 3.С.Э: $\frac{LI_{\max}^2}{2} + (E - U_0) \cdot \Delta q_2 + \frac{C|U_c|^2}{2} =$
 $= \frac{CU_2^2}{2}$

~~$U_2 = \sqrt{\frac{LI_{\max}^2}{C} + 2(E - U_0)(U_2 - |U_c|) + |U_c|^2} =$
 $= \frac{0,1 \cdot 0,14^2}{40 \cdot 10^{-6}} + 2 \cdot (6 - 1) \cdot$~~

$\frac{LI_{\max}^2}{2} + (E - U_0) \cdot C \cdot |U_c| + (E - U_0)C \cdot U_2 + \frac{CU_c^2}{2} =$
 $= \frac{CU_2^2}{2}$

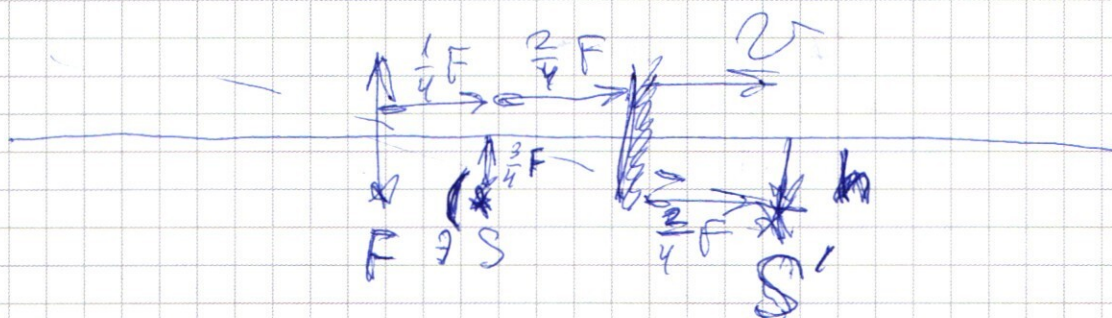
$U_2^2 - 2(E - U_0) \cdot U_2 - \frac{LI_{\max}^2}{C} + |U_c|(2E - 2U_0 - |U_c|) =$

$U_2 = E - U_0 \pm \sqrt{E^2 - 2U_0E + U_0^2 + \frac{LI_{\max}^2}{C} + |U_c|(2E - 2U_0 - |U_c|)} =$

~~$= 5 \pm \sqrt{25 + \frac{0,1 \cdot 0,14^2}{40 \cdot 10^{-6}}} = 5 \pm 5$~~

$= 5 \pm 7$; $U_2 = 12 \text{ В}$. ($U_2 = -2 \text{ В}$ соответствует
исходальному
значению)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

$$\Rightarrow f = 5F, \quad f = \frac{dF}{d-F}$$

$$h = \frac{3}{4} F$$

$$h' = h \cdot \frac{f}{d} = 3F$$

$$h' = h \cdot \frac{dF}{d-F}$$

$$\Delta f = \frac{(d+\Delta x)F}{(d+\Delta x)-F} - \frac{dF}{d-F}$$

$$= \frac{d^2F + d\Delta x F - F^2 - d^2F + dF^2}{(d-F)^2}$$

$$\left(\frac{dF}{d-F} \right)' = \frac{F(d-F) - dF}{(d-F)^2} =$$

$$= -\frac{F^2}{(d-F)^2}$$

$V_{\text{из}} =$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

дифференцируя выражение для f
по времени, чтобы найти скорость валь-
сы симметрично, а потом для h ,
чтобы найти скорость $\perp$ оси симметрии.

$$\frac{\delta f}{\delta t} = \frac{\delta \left(\frac{dF}{d-f} \right)}{\delta t}$$

$$V_{y||} = \frac{\delta d \cdot F(d-F) - \delta d \cdot d \cdot F}{(d-F)^2 \delta t} = \frac{\delta d}{\delta t} \cdot \left(\frac{-F^2}{(d-F)^2} \right)$$

т.е. скорость (знак — показывает, что
если $d \uparrow$, то $f \downarrow$)

$$\frac{\delta d}{\delta t} = 2V, \text{ т.е. } |V_{y||}| = \frac{F^2}{(d-F)^2} \cdot 2V = 32V$$

~~$$h = h_0 \cdot \frac{dF}{d-F}$$~~

$$h = h_0 \cdot \frac{F}{d-F}$$

$$|V_{y\perp}| = h_0 \cdot \frac{\delta d}{\delta t} \cdot \frac{F}{(d-F)^2} = 2V \cdot \frac{h_0 \cdot F}{(d-F)^2} = 2V$$

тогда тангенс угла между
скоростью изображения и
осью симметрии есть отношение
 $v_{y\perp}$ к $v_{y\parallel}$, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{y\perp}}{v_{y\parallel}} = \frac{3}{4}$.

отсюда можно найти $\sin \alpha = \frac{3}{5}$.

тогда скорость изображения
в данный момент времени $v = \frac{(v_{y\perp})_0}{\sin \alpha} =$
 $= \frac{5}{3} (v_{y\perp})_0 =$
 $= 40 \text{ В.}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$C_{13} = \frac{\int_{13} p dV + \frac{3}{2} \int_{13} d(pV)}{\int_{13} d(pV)} =$$

$$= \cancel{R} \cdot \frac{3}{2} R + \frac{\int_{13} p dV}{\int_{13} d(pV)} R =$$

11

$$p = V_0 \cdot \text{const} \\ pV = V^2 \text{const} \\ d(pV) = 2V dV$$

$$p = V_0 \cdot \frac{dp}{dV}$$

$$V dp$$

$$d(pV) = dp \cdot V + dV \cdot p = \\ = 2V dp$$

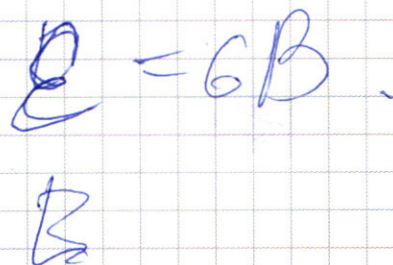
$$C = \frac{Q_{12}}{Q_{13}} = \frac{A_{23} - A_{31}}{Q_{12} + Q_{23}} =$$

$$A = \frac{1}{2} R$$

$$A_{31} = \frac{1}{3} Q_{31} = \frac{1}{3} \int R(T_3 - T_1)$$

$$\left(\frac{2}{5} (T_3 - T_2) - \frac{1}{3} (T_3 - T_1) \right) / (T_2 - T_1) + \frac{3}{5}$$

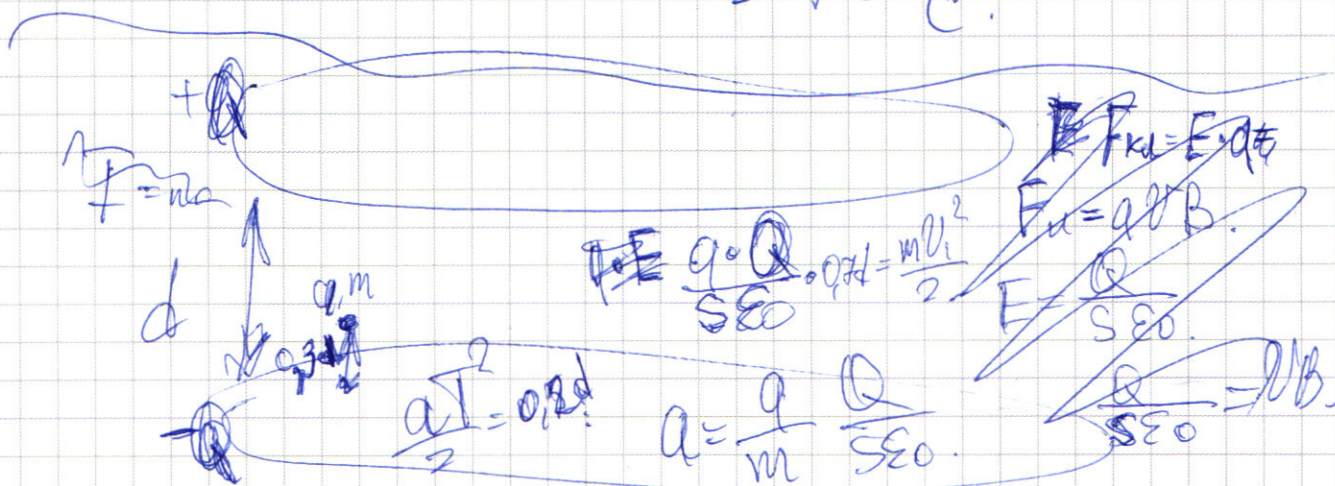
$$T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} \left(\frac{T_3 + T_2 (p_2 - p_1 / p_1)}{p_1} \right) / \left(\frac{3p_2 + 2p_1}{p_1} \right)$$



$$U_0 \geq 1B.$$

$$E + U_1 - U_0 = -E_1 = L \frac{dV}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{E + U_T - U_0}{L} = \frac{6 + 2 - 1}{0,1} = 70 \frac{A}{s}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$R = 0,53 \text{ м}$
 $L = \frac{5}{4} R$
 $m = 0,3 \text{ кг}$
 $V = 3 \text{ м/с}$

$\frac{R}{V} = \text{const.}$
 $\rho = V \cdot \text{const.}$
 $V \cos \beta = V \cos \alpha$

$\cos \alpha = \frac{15}{17}$
 $\cos \beta = \frac{3}{5}$

$V = V \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{25}{17} V$

$V_{\text{общ}} = \sqrt{V^2 + V^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) V V}$

$\sin \alpha = \frac{8}{17}; \sin \beta = \frac{4}{5}$
 $\cos(\alpha + \beta) = \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} = \frac{13}{85}$

$= \sqrt{\left(\frac{25}{17}\right)^2 + 1 - \frac{26}{85} \cdot \frac{25}{17}} = \sqrt{\frac{16 \cdot 49}{17^2}} = \frac{28}{17} V$

$625 + 289 - 130 = 784 = 4 \cdot 196 = 16 \cdot 49$

