

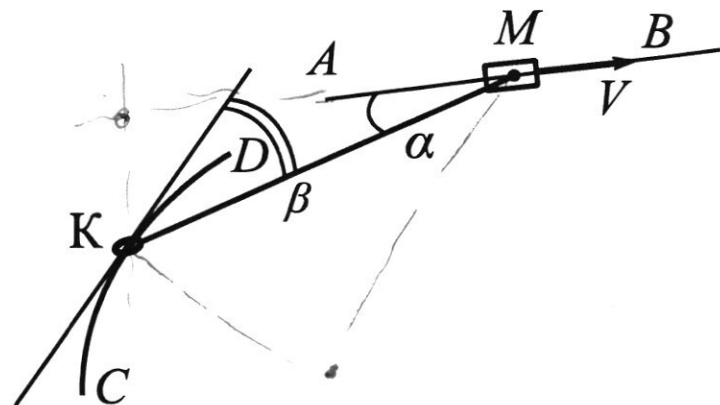
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-03

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

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.



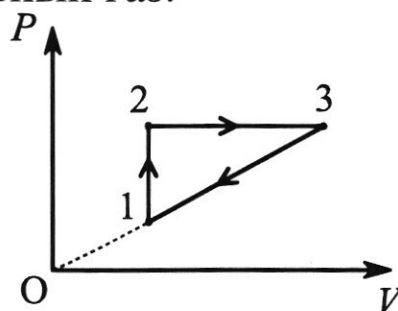
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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

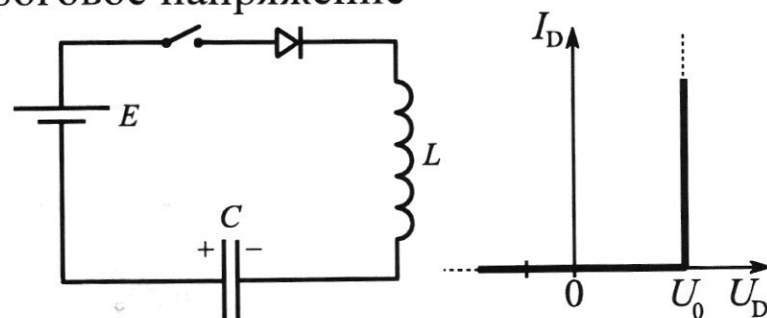
скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$. *важущим*

- 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.

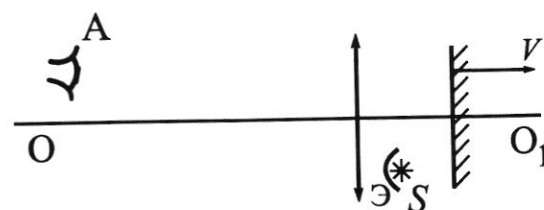


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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

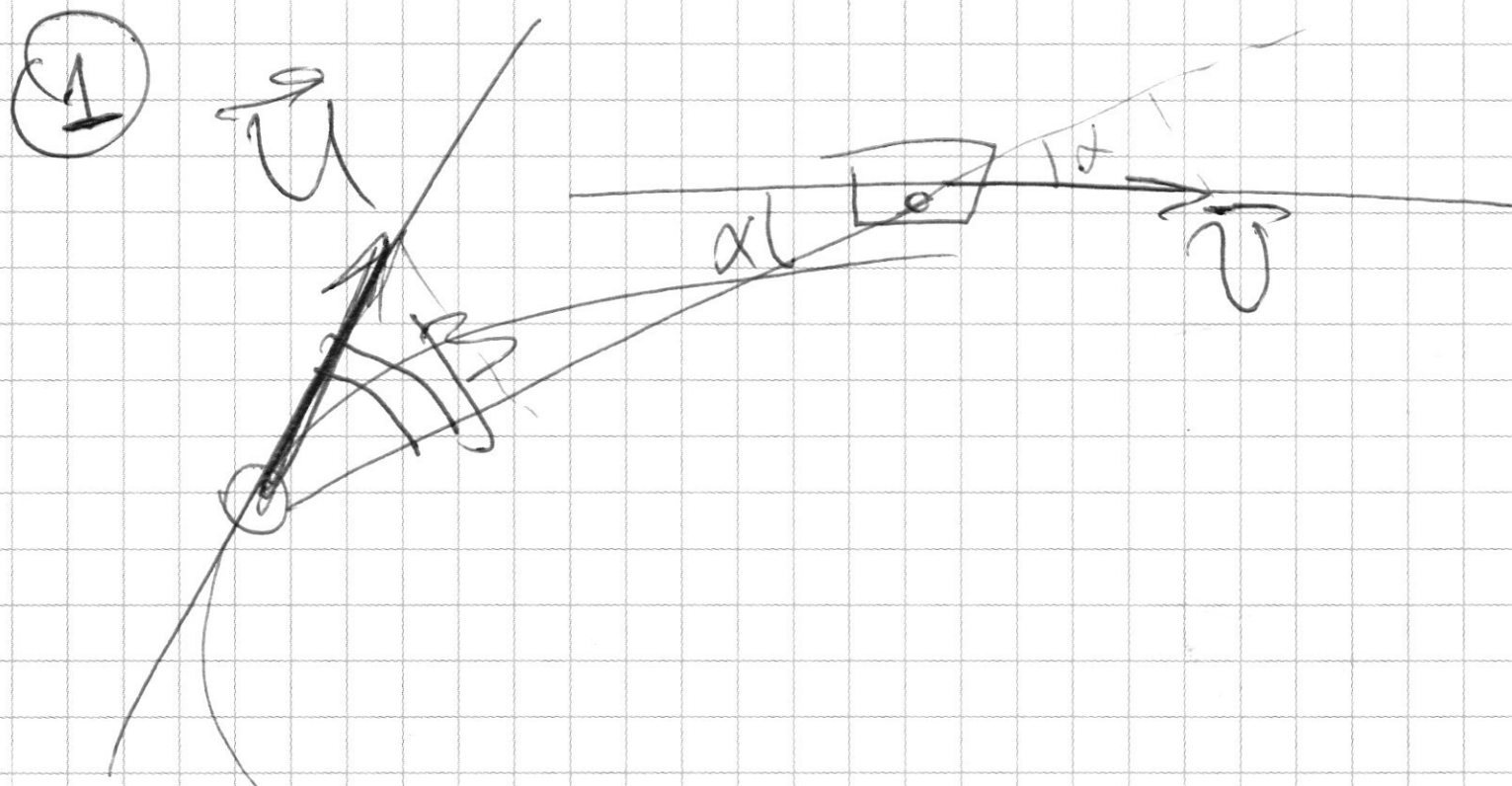
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



$$v = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

$$R = 0,53 \text{ м}$$

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

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

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

1) Обозначим $\vec{v}$ - скорость
движения конца
в этот момент.

Так как нить
не должна растя-
гиваться, то проекции
скоростей концов
нити на направление
нити равны:

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

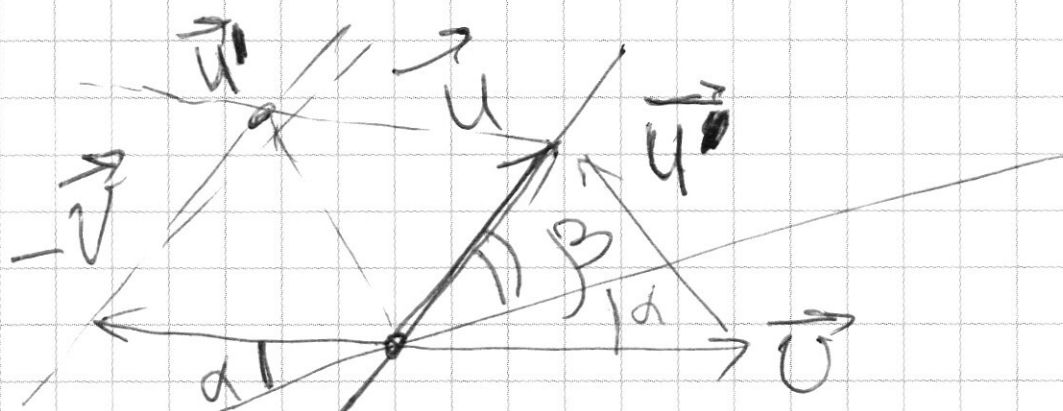
$$u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \frac{\text{см}}{\text{с}}}{\frac{3}{5}} \cdot \frac{15}{17} = 50 \left(\frac{\text{см}}{\text{с}} \right)$$

Ответ: $50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

2) Перейду в СД, связанную с муравьем. Тогда ускорения всех точек, в т.ч. конца, муравья будет $\vec{v}$.

Искомую скорость обозначу $\vec{u}$

$$\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}$$



$|\vec{u}'|$ можно найти по т. косинусов

$$u'^2 = u^2 + v^2 - 2uv \cos(\alpha + \beta)$$

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

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{17^2 - 15^2}{17^2}} = \frac{\sqrt{32 \cdot 2}}{17} = \frac{8}{17}$$

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

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{4 \cdot 8}{17 \cdot 5} = \frac{2^2 \cdot 2^3}{50 + 35} = \frac{32}{85}$$

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{9}{17} = \frac{45}{85}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{13}{85} = \frac{13}{14 \cdot 5}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$u'^2 = 50^2 + 34^2 - 2 \cdot 50 \cdot 34 \cdot \frac{13}{17.5} =$$

$$= 50^2 + 34^2 - 4013 =$$

$$= 2500 + 1156 - 520 =$$

$$(2500 + 1156) =$$

$$= 3656 \text{ (см}^2\text{)}$$

$$= 1136 + 2000 =$$

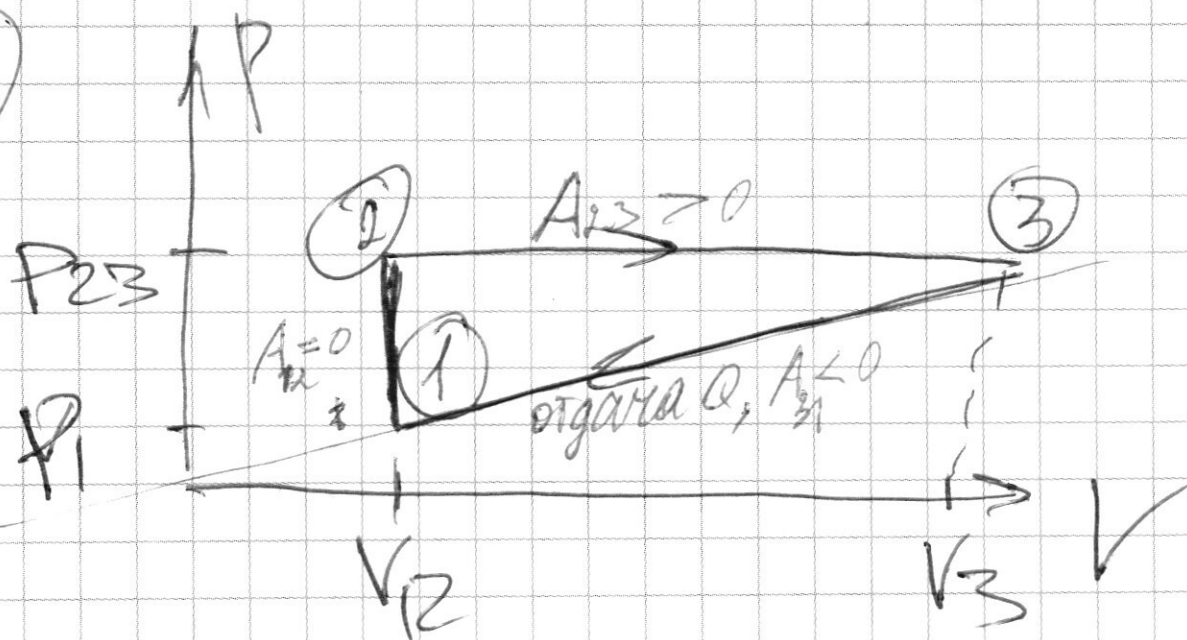
$$= 3136 \text{ (см}^2\text{)}$$

$$u' \approx 56 \text{ см/с}$$

Ответ: 56 см/с

Вопрос (1) 3) ~~какая температура~~ на стр. 14.

(2)



одноатомный,
идеальный
газ.

- 1) На 12 $V = \text{const} \Rightarrow T \uparrow$, так $pV \sim T$
 На 23 $p = \text{const}, V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

На $3 \rightarrow 1$ p и V убывают, T убывает.

Для $1 \rightarrow 2$ $A_{12} = 0$,

$$Q_{12} = \Delta U_{12}$$

$$\nu C_{12} \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

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

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (p_{23} V_{12} - p_1 V_{12}) =$$
$$= \frac{3 V_{12}}{2} (p_{23} - p_1)$$

Для $2 \rightarrow 3$

$$A_{23} = p_{23} (V_3 - V_2) = \nu R (T_3 - T_2)$$

Закон Менделеева-Клапейрона

$$p_{23} V_{12} = \nu R T_2$$

$$p_{23} V_3 = \nu R T_3$$

$$p_1 V_{12} = \nu R T_1$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$Q_{23} = \nu C_{23} (T_3 - T_2)$$

$$= A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} p_{23} (V_3 - V_{12})$$

$$C_{23} = \frac{5}{2} R$$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

$$\Rightarrow \frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = \frac{5}{3}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: $\frac{5}{3}$.

2) Углекислый газ

$2 \rightarrow 3$

$$A_{23} = \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

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

Ответ: $\frac{3}{2}$.

3) $3 \rightarrow 1$

$p \sim V$

$$A_{31} = -\frac{1}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) =$$

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

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$Q_{31} = A_{31} + \Delta Q_{31} = \frac{1}{2} \nu R (T_3 - T_1) = 2 \nu R (T_1 - T_3) < 0.$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{затр}}} = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12} + Q_{23}}$$

$$\begin{aligned} * Q_{12} + Q_{23} &= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \\ &= \frac{\nu R}{2} (3T_2 - 3T_1 + 5T_3 - 5T_2) = \\ &= \frac{\nu R}{2} (5T_3 - 3T_1 - 2T_2) \end{aligned}$$

$$A_{12} + A_{23} + A_{31} = A_{23} + A_{31} =$$

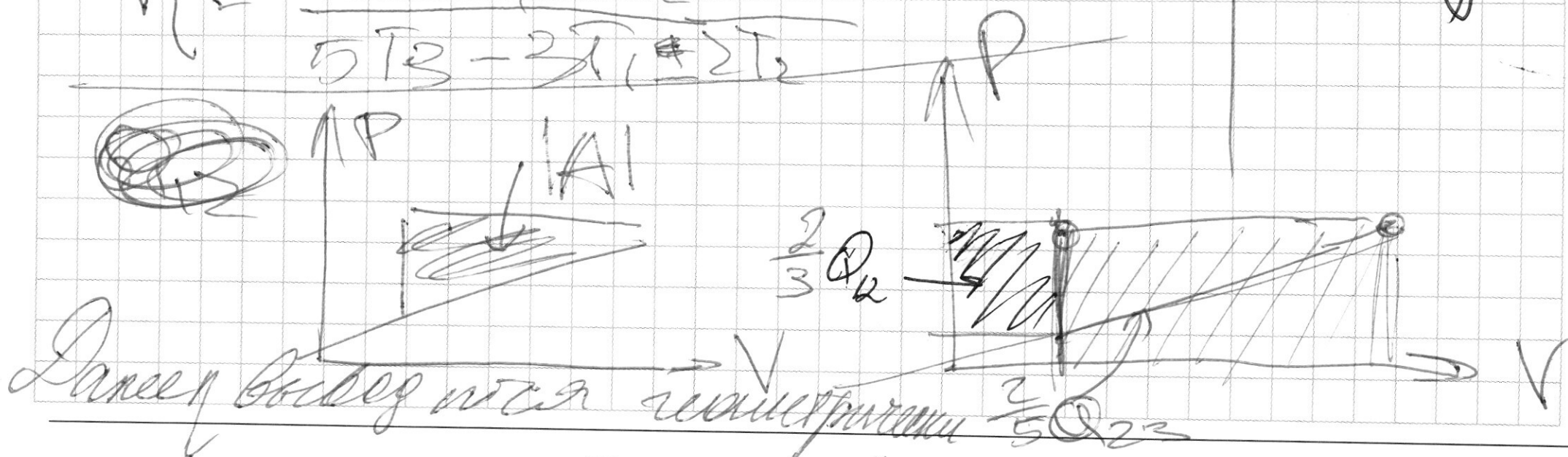
$$= \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \nu R (T_3 - T_2) =$$

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

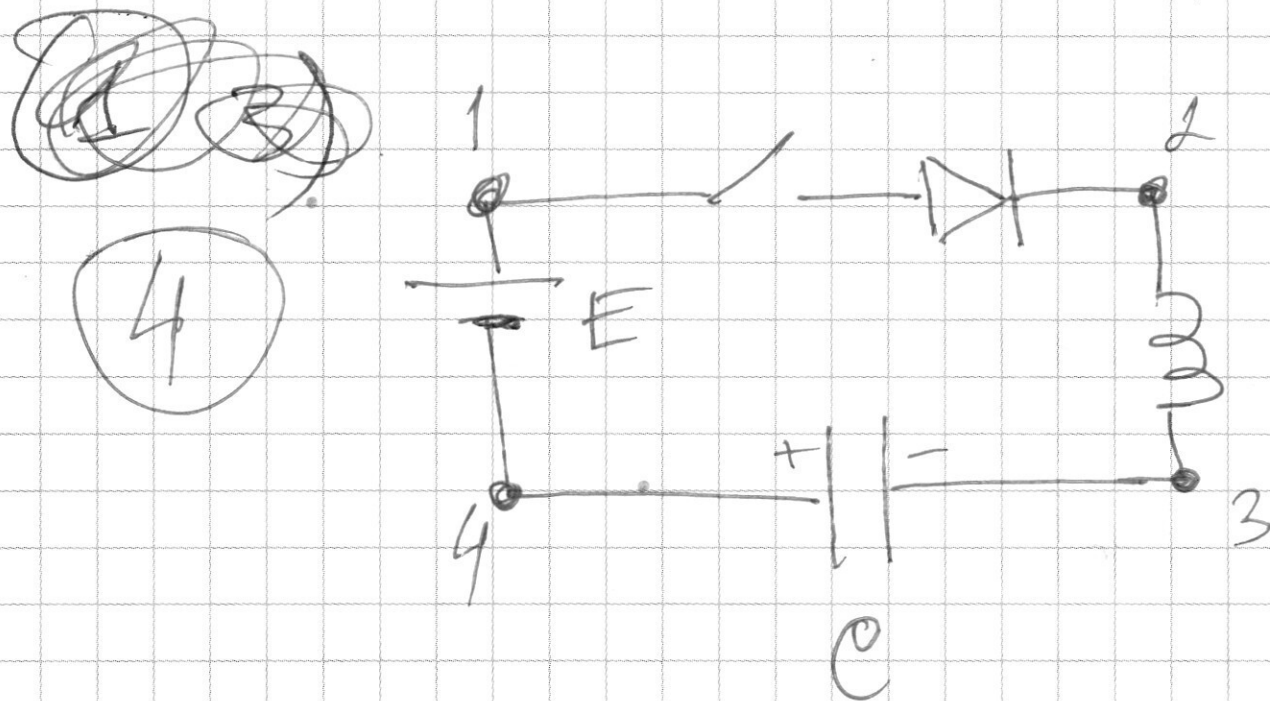
$$= \frac{1}{2} \nu R (T_3 + T_1 - 2T_2)$$

$$Q_{31} = 2(p_{\text{ср}3} V_3 - p_{\text{ср}1} V_1)$$

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



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$E = 6\text{ В}$$

$$L = 0,1\text{ Гн}$$

$$U_0 = 1\text{ В}$$

$$U_1 = 2\text{ В}$$

$$C = 40\text{ нФ}$$

1) Промежуточные
точки.

В момент замыкания
(сразу после)

$$\varphi_4 - \varphi_3 = U_1$$

$$\varphi_1 - \varphi_4 = E$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -U_0, \text{ т.к. через диод течет ток.}$$

$$\varphi_2 - \varphi_3 = U_1 + E - U_0 = 2\text{ В} + 6\text{ В} - 1\text{ В} = 7\text{ В}.$$

$$7\text{ В} = U_L = L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_L}{L} = \frac{7\text{ В}}{0,1\text{ Гн}} = 70 \text{ (А/с)}$$

Output: $270 \frac{A}{C}$

2) Пусть в некоторый момент времени

$$U_4 - U_3 = U_0$$

Tonga

$$L_i = E + U_c - U_o$$

Ток I максимален тогд, кога

$$I = 0, \text{ T.E. } E + U_e - U_0 = 0,$$

$$T_e e \quad U_0 = U_0 - E = -5 \text{ eV}$$

Можно записать ЗСД

как мем. бр.

мат. бр, кога $T = T_{max}$

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{L T_{in}^2}{2} + (-E + U_0)q + \frac{mv_0^2}{2} L_{in}$$

где φ -заряд, прошедший через
~~элемент~~, dt за это время.

$$Q = C(u_i - u_c) = 40 \cdot 10^{-6} \cdot 50 = 200 \cdot 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{cm}} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{cm}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{40 \text{ мкФ}}{2} \cdot 2 \text{ В}^2 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

$$(E - U_0)q = 5 \text{ В} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл} = 10^{-3} \text{ Дж}$$

$$\begin{aligned} \frac{QU_0^2}{2} &= \frac{40 \text{ мкФ} \cdot (5 \text{ В})^2}{2} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \text{ Дж} = \\ &= 500 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = \\ &= 5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{LI_m^2}{2} &= \frac{CU_1^2}{2} + (E - U_0)q - \frac{QU_0^2}{2} = \\ &= 8 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} + 10^{-3} \text{ Дж} - 5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж} = \\ &= 100 \cdot 10^{-5} + 8 \cdot 10^{-5} - 50 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} = \\ &= 58 \cdot 10^{-5} \text{ Дж} \end{aligned}$$

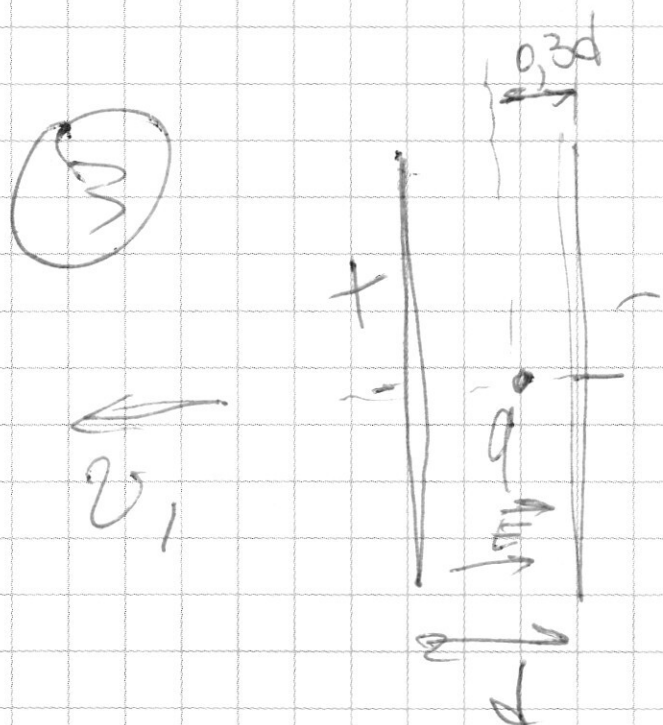
$$\begin{aligned} I_m^2 &= \frac{58 \cdot 10^{-5} \cdot 2}{0,1} = \frac{11,6 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 11,6 \cdot 10^{-3} = \\ &= 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ (А}^2\text{)} \end{aligned}$$

$I_m \approx 0,1 \text{ A}$

Ответ: $0,1 \text{ A}$

3) Ток будет течь до тех пор, пока сумма ~~$E + U_c \geq U_0$~~
прекратится, когда $E - U_0 + U_c = 0$
 $U_c = U_0 = -5 \text{ В}$

Ответ: -5 В (на схеме справа
потенциал больше)



Поле, создаваемое
бесконечной плоскостью

$$\cancel{2\pi r^2} \cdot E_{\text{пл}} = \frac{\sigma \cdot \pi r^2}{\epsilon_0}$$

$$E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Внутри конденсатора поле

$$E = 2E_{\text{пл}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Вне конденсатора поля
нет.

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

($q < 0$)

ЗСЭ:

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot 0,7d \cdot |q| = \frac{mv_1^2}{2}; \quad \sigma = \frac{mv_1^2 \epsilon_0}{2 \cdot 0,7d |q|} = \frac{200 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-18}}{2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-2}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда $Q = \frac{\epsilon_0 U_1^2 S}{20,4d}$

2) Ответ: $Q = \frac{\epsilon_0 U_1^2 S}{20,4d} = \frac{\epsilon_0 U_1^2 S}{1,4d}$

1) Т.к. поле однородно, то заряд будет двигаться равномерно, тогда

$$0,4d = \frac{1}{2} v_1 T$$

$$T = \frac{1,4d}{v_1}$$

Ответ: $T = \frac{1,4d}{v_1}$

3) Все конденсаторы подключены, заряд будет двигаться свободно, скорость не увеличивается, $v_2 = v_1$

Ответ: $v_2 = v_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$ *дано*

$$-\frac{f}{f^2} - \frac{d'}{d^2} = 0$$

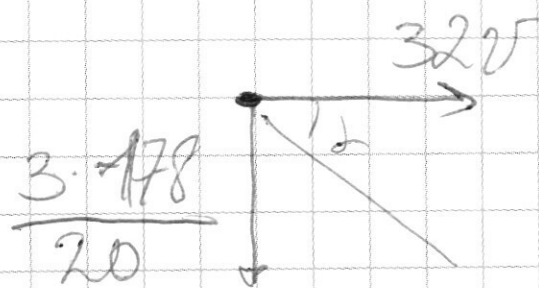
$$d' = -\frac{f'}{f^2} d^2 = -20 \cdot \frac{(5F)^2}{\left(\frac{5}{4}F\right)^2} = -20 \cdot 16 = -320$$

Скорость вдоль оси.

Скорость поперек оси.

$$\begin{aligned} \frac{H}{d} &= \frac{h}{f} \\ H &= h \frac{d}{f} \end{aligned} \rightarrow H' = h \cdot \frac{d'f - f'd}{d^2} =$$

$$= h \cdot \frac{(-320) \left(\frac{4}{5}F\right) - 20 \cdot 5F}{5F^2} =$$



$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{3 \cdot 178}{20 \cdot 32} = \\ &= \frac{83.3}{320} = \frac{329}{320} \end{aligned}$$

Отсюда: $\tan \alpha = \frac{329}{320}$

$$\begin{aligned} &= h \cdot \frac{-32 \cdot 40 - 2 \cdot 5 \cdot 50}{5F} = \\ &= \frac{3F}{4} \cdot \frac{1}{5F} (-128 - 50) = \\ &= \frac{3 \cdot (-178)}{20} \text{ v} \end{aligned}$$

§ 3) $\cos \alpha \approx 1$,

поэтому скорость
избавления и в этот момент

$$U = 320 \cdot 52 = 325 \text{ В} \approx 45 \text{ В}.$$

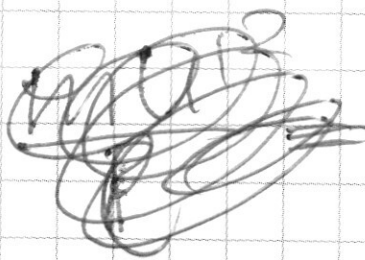
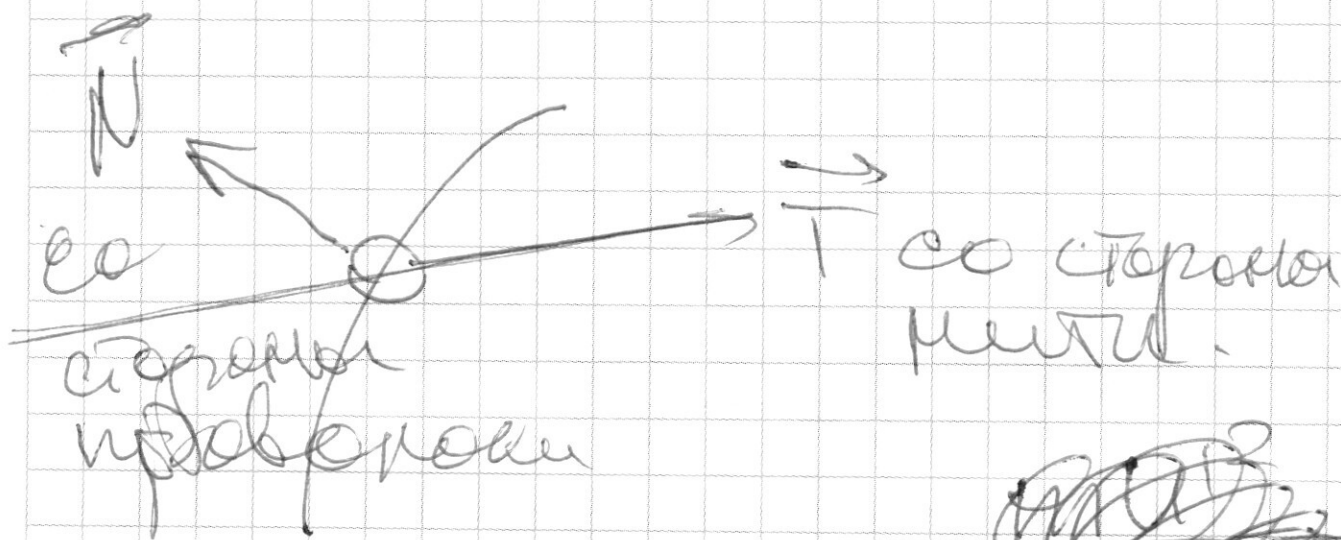
Ответ: примерно 45 В.

① 3) В С.О. шурты

колецо движется по
окружности радиуса r ,
т.к. нить находится
и красота нити.

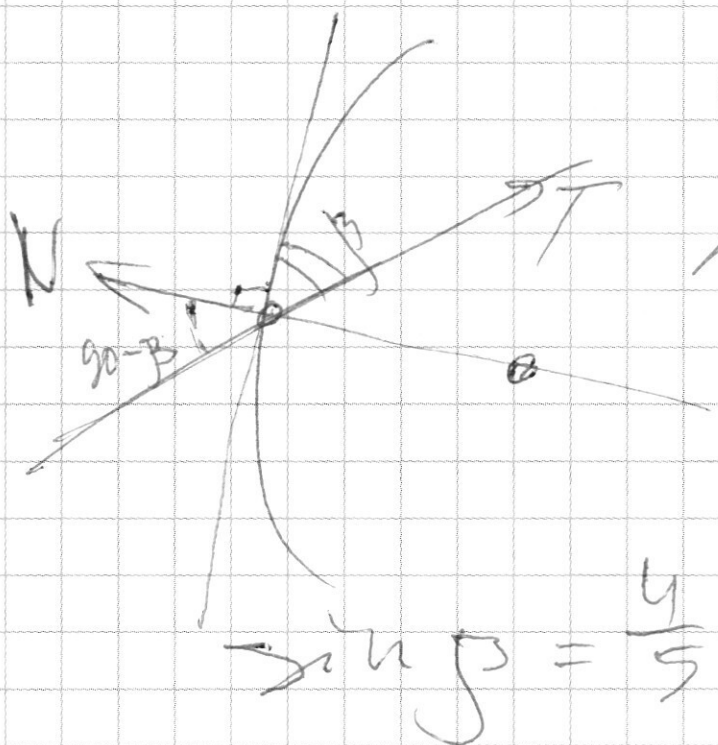
На кольцо действуют силы

$$\text{Пусть } \vec{F} = \vec{T} + \vec{N}, \text{ тогда}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Движение по окружн. в лаб. СС:



$$\left. \begin{aligned} T \sin \beta - N &= \frac{mv^2}{R} \\ -T \sin \beta + T &= \frac{mv^2}{c} \end{aligned} \right\}$$

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

$$\frac{4}{5}T - N = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow N = \frac{4}{5}T - \frac{mv^2}{R}$$

$$T - \frac{4}{5}N = \frac{mv^2}{c}$$

$$T - \left(\frac{4}{5} \left(\frac{4}{5}T - \frac{mv^2}{R} \right) \right) = \frac{mv^2}{c}$$

$$T - \frac{16}{25}T + \frac{4mv^2}{5R} = \frac{mv^2}{c}$$

$$\frac{9}{25}T = m \left(\frac{v'^2}{c} - \frac{4v^2}{5R} \right)$$

$$T \cdot \frac{9m}{25} \left(\frac{v'^2}{c} - \frac{4v^2}{5R} \right) = \left(\frac{0.3}{0.53} \right) \left(\frac{5 \cdot 0.36}{0.53} - \frac{4 \cdot 0.5}{0.53} \right)$$

$$= \frac{5m}{9} \left(\frac{5u'^2}{\cancel{5} \frac{4}{R}} - \frac{4u^2}{R} \right) =$$

$$= \frac{20m}{9R} (u'^2 - u^2) =$$

~~$$\frac{20 \cdot 0,3}{9 \cdot 0,53} (0,36 - 0,25) =$$~~

~~$$\frac{6 \cdot 0,1}{9 \cdot 0,53} = \frac{6}{45} = \frac{2}{15} \approx 0,14 \text{ Н.}$$~~

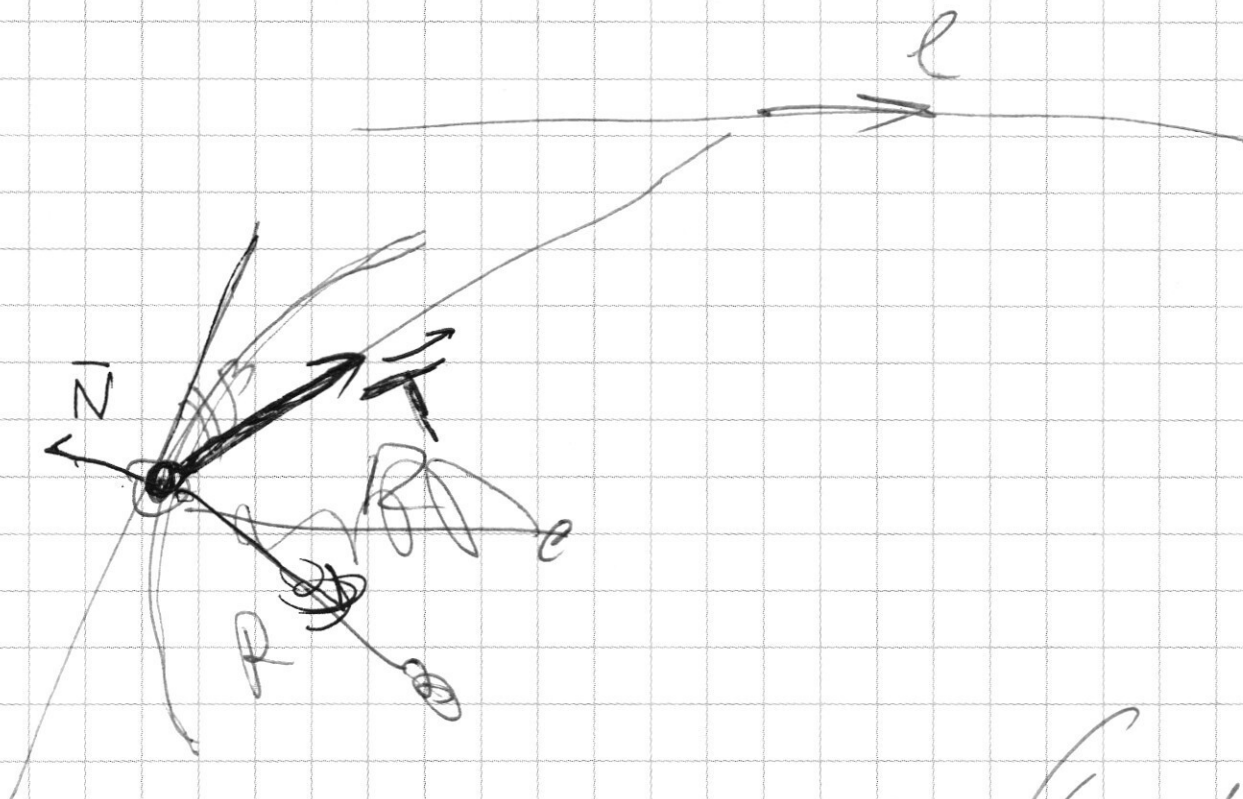
~~Ответ: $F = 0,14 \text{ Н.}$~~

$$= \frac{6}{9 \cdot 0,53} (0,56^2 - 0,5^2) =$$

$$= \frac{6 \cdot 0,0624}{9 \cdot 0,53} = \frac{0,04}{0,9} = 0,08 \text{ Н.}$$

Ответ: $0,08 \text{ Н.}$

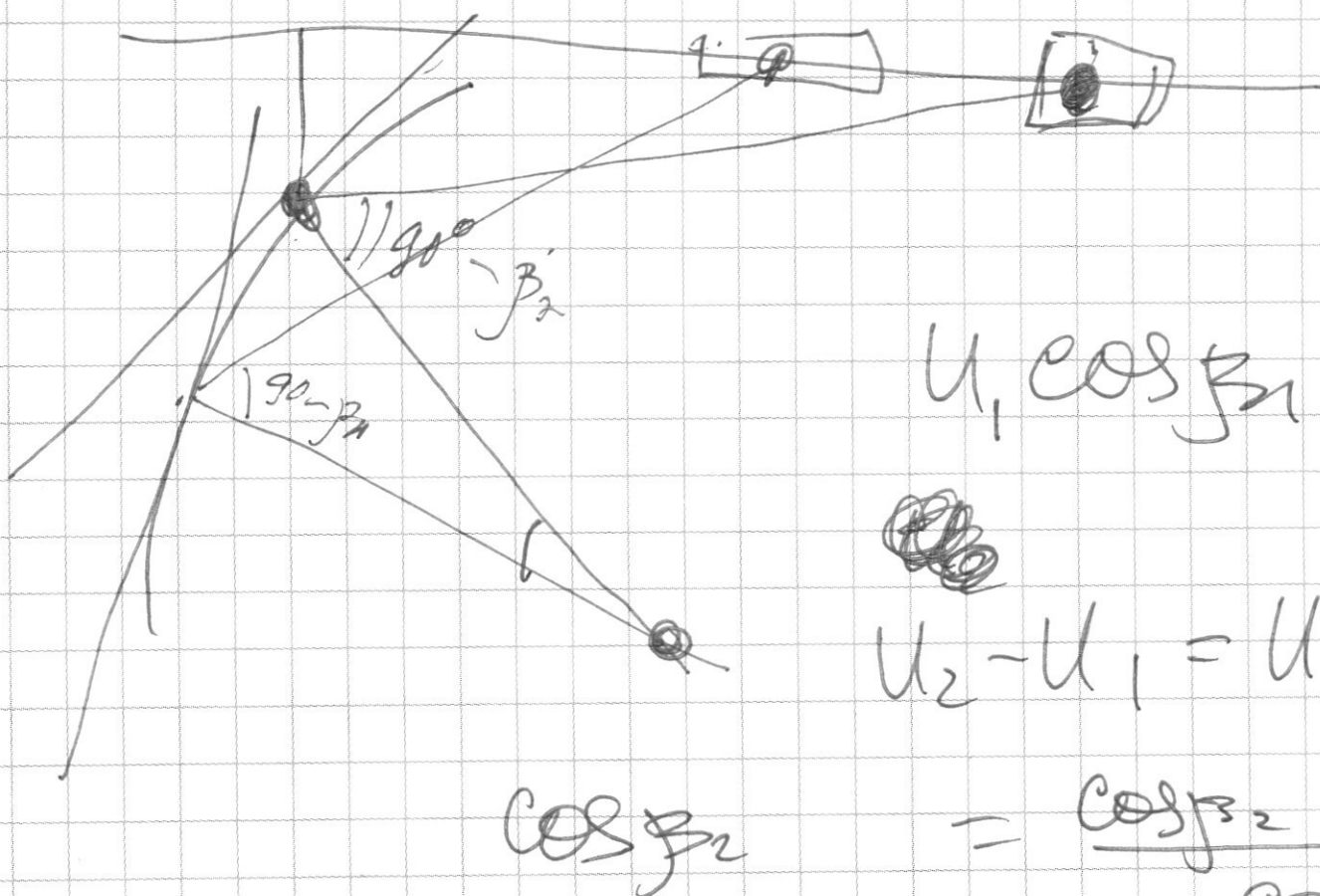
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\Gamma \cos \beta \cdot u dt = \frac{m}{2} (u^2 - u^2) =$$

$$= \frac{m}{2} u^2$$

$$\Gamma \cos \beta = \frac{m du}{dt}$$



$$u_1 \cos \beta_1 = u_2 \cos \beta_2$$

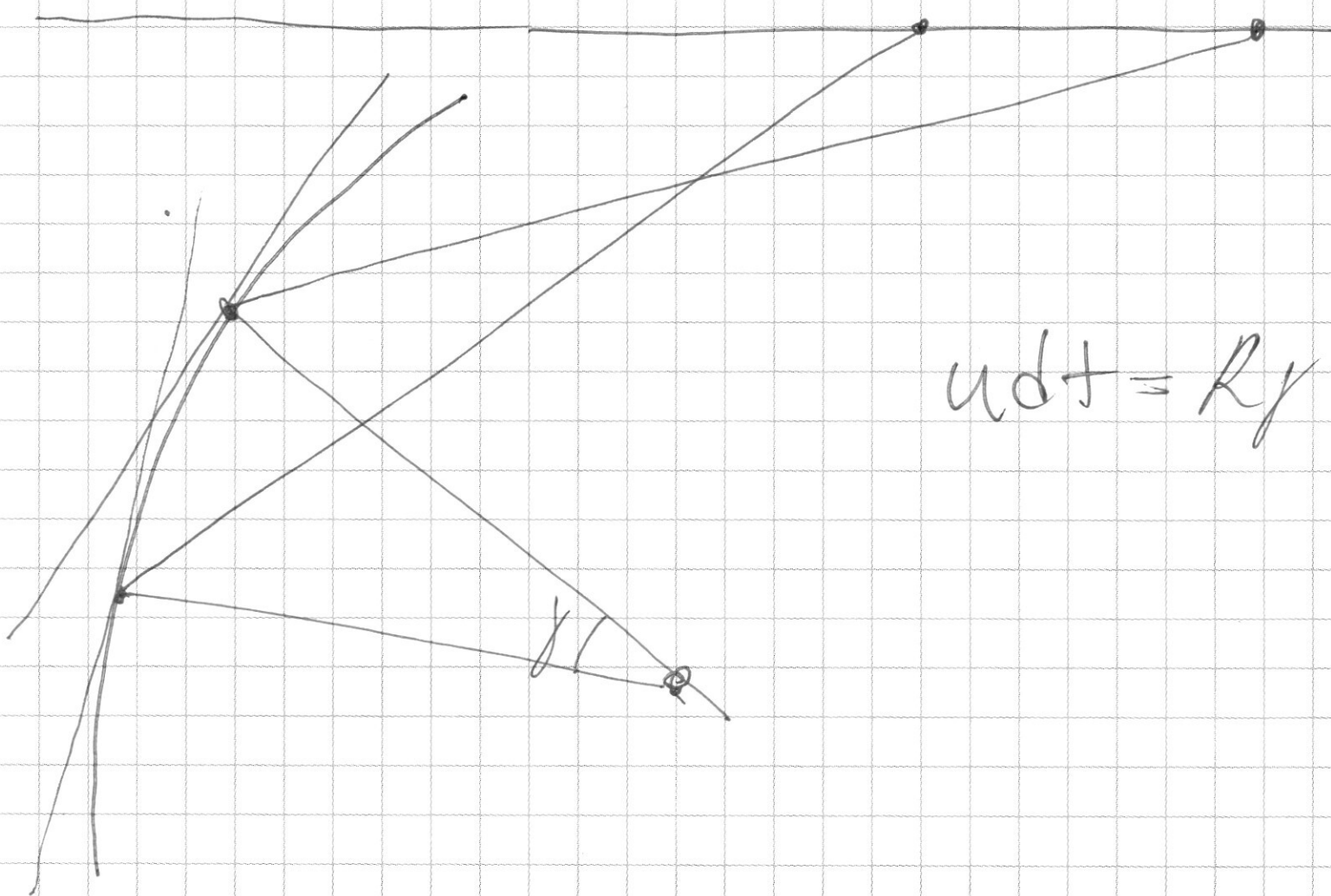
$$u_2 - u_1 = u_1 \left(\frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{\cos \beta_2 - \cos \beta_1}{\cos \beta_1} u$$

$$= \frac{-2 \sin\left(\frac{\beta_2 - \beta_1}{2}\right) \sin\left(\frac{\beta_2 + \beta_1}{2}\right)}{\cos \beta_1} U =$$

$$= \frac{-2 \sin\left(\frac{d\beta}{2}\right) \sin \beta_1}{\cos \beta_1} = U \operatorname{tg} d\beta = dU$$

$$T \cos \beta R d\beta = m \frac{U \operatorname{tg} d\beta}{dt}$$



$$U dt = R_f$$

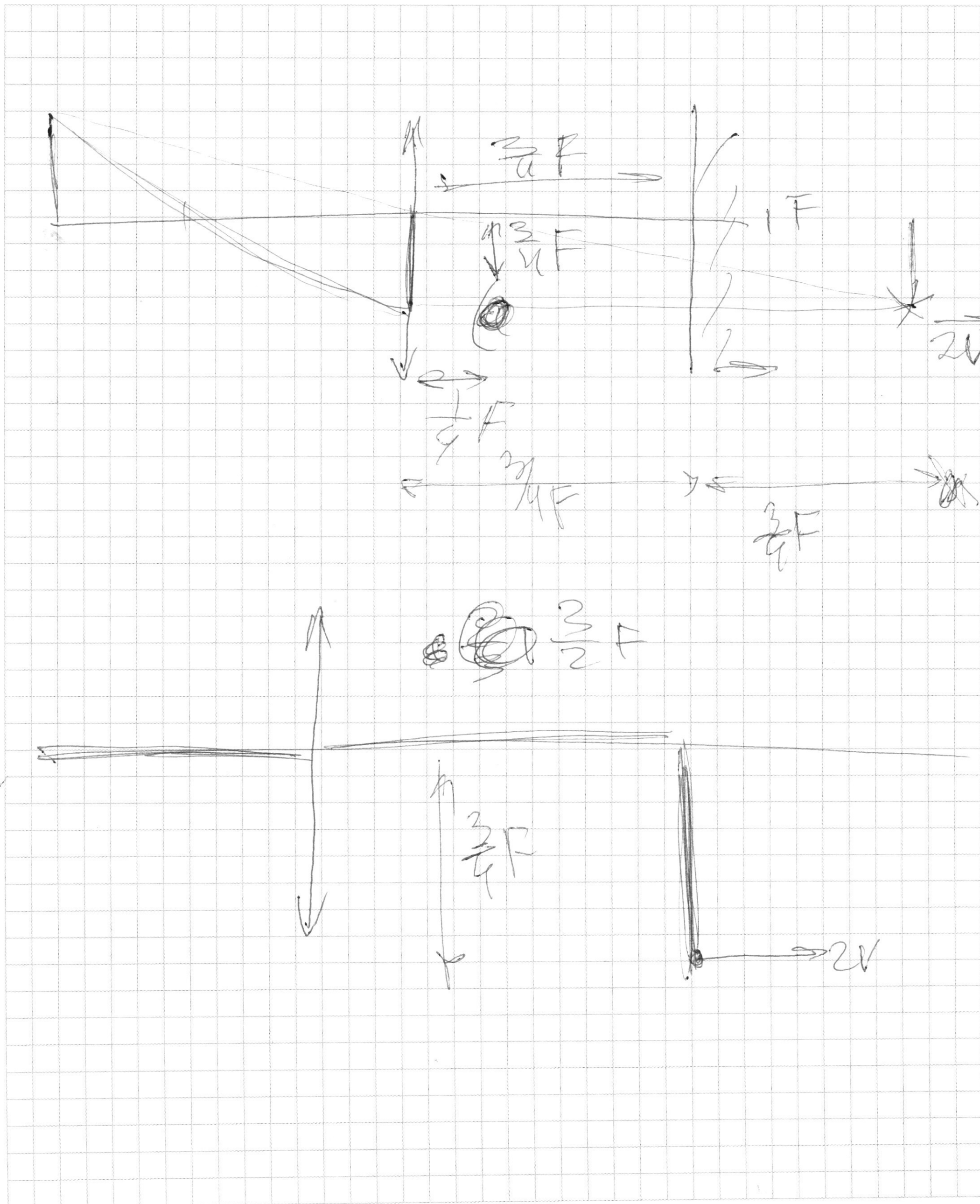
$$= \frac{1000}{A} = 12$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



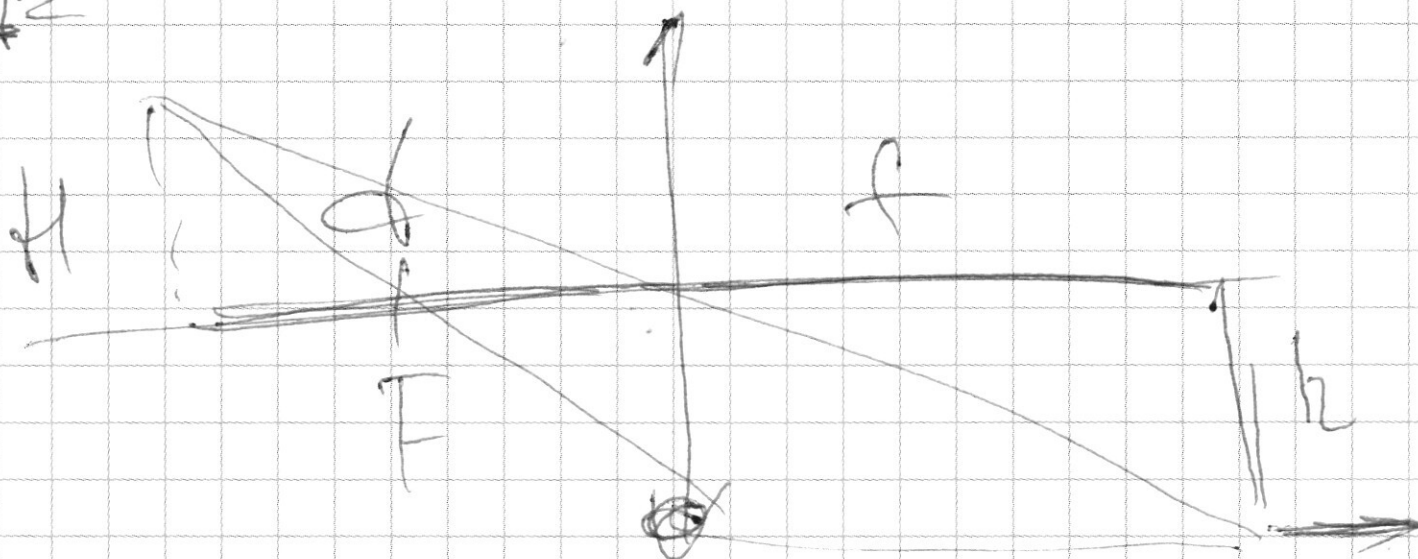
☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

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

$$-\frac{f'}{f^2} - \frac{d'}{d^2} = 0,$$

$$d' = -\frac{f'd^2}{f^2}$$



$$\frac{d-F}{F} = \frac{h}{h} = \frac{d}{f}$$

$$\frac{d}{f} - 1 = \frac{d}{f}$$

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

$$\frac{h}{h} = \frac{d}{f}$$

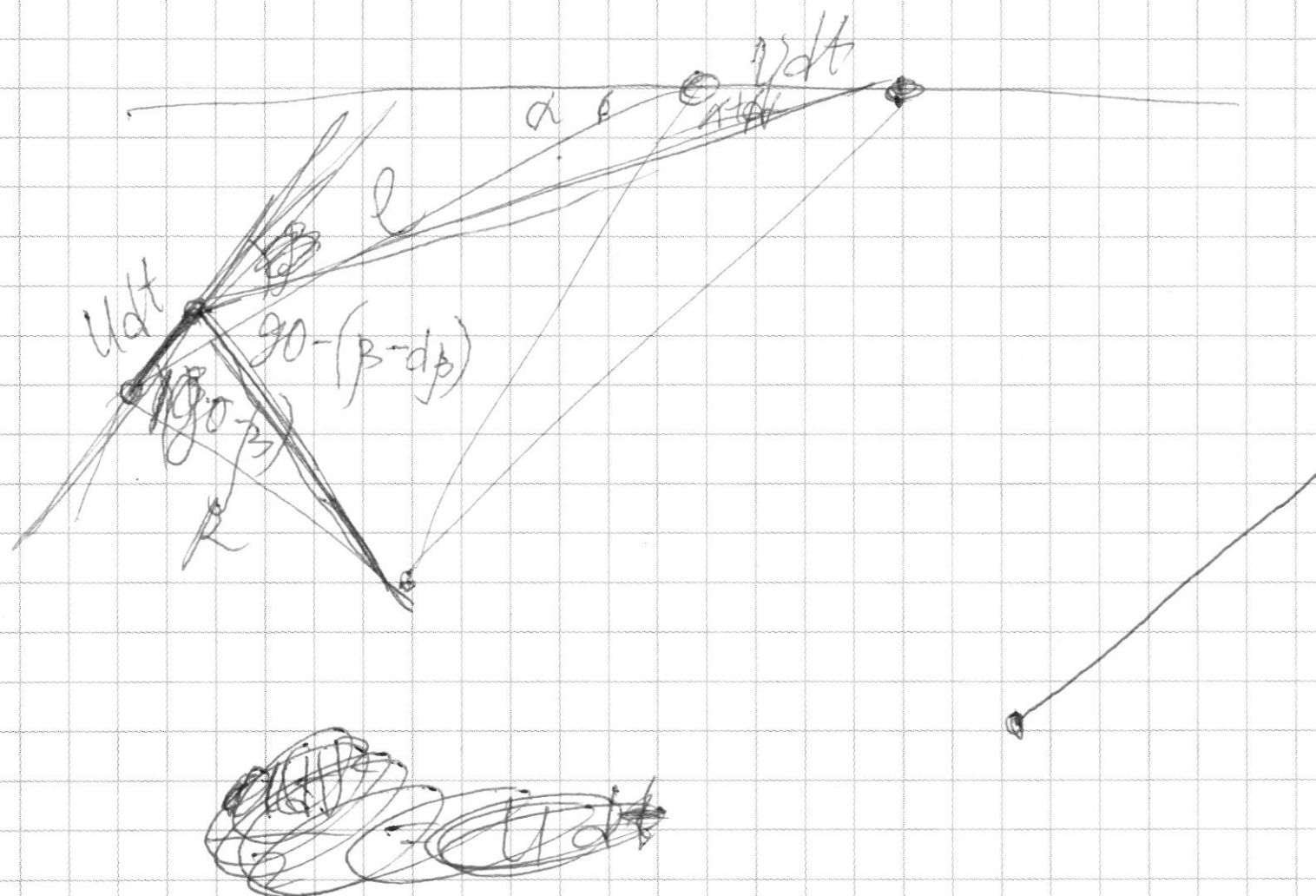
$$h = \frac{d}{f} h$$

$$h' = h \cdot \left(\frac{d'}{d} \right)$$

$$\frac{d'f - fd}{f^2} =$$

$$= h \cdot \left(\frac{f'd^2}{f^2} - \frac{f'd}{f^2} \right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$Q dt = du$$

$$\vec{F} \cos \beta = ma$$

$$\frac{du}{dt}$$

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

$$= \frac{1}{2} R (5T_3 - 3T_1 - 2T_2)$$

$$T_3 + T_1 - 2T_2 + 4T_3 - 4T_2 =$$

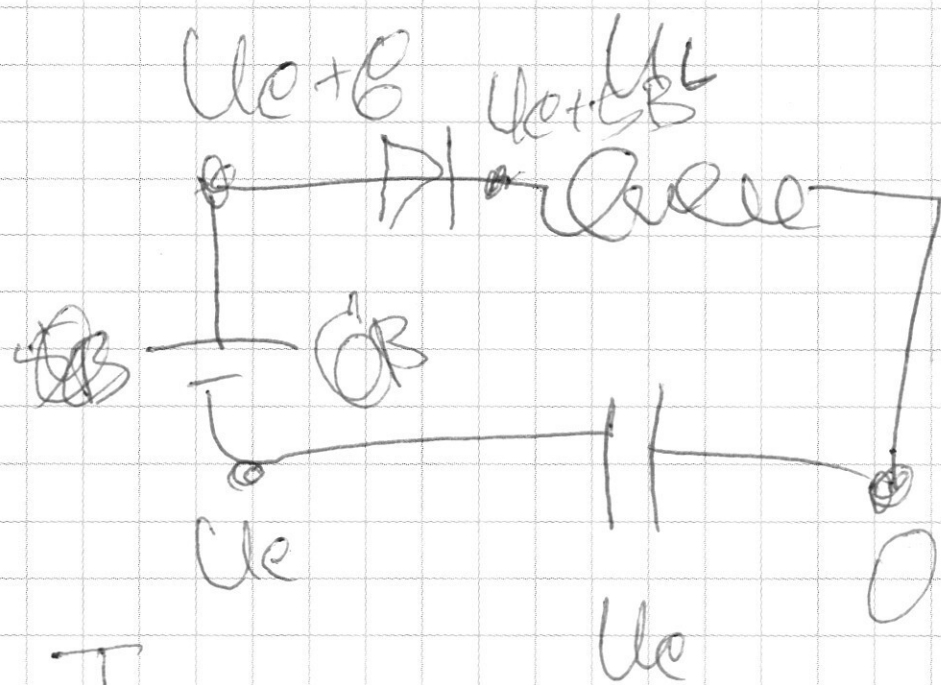
$$= 5T_3 - 3T_1 - 2T_2$$

$$5T_3 + T_1 - 6T_2 = 5T_3 - 3T_1 - 2T_2$$

$$T_1 - 6T_2 = -3T_1 - 2T_2$$

$$4T_2 = 4T_1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$U_L = 5B + U_0$$

$$I = 5B + \frac{U_0}{L}$$

I

I

$$U_L = E - U_0 + U_0$$

$$142.82 = 8000$$

$$\frac{LI^2}{2} = q \cdot U$$

$$CU_1^2 = \frac{LI^2}{2}$$

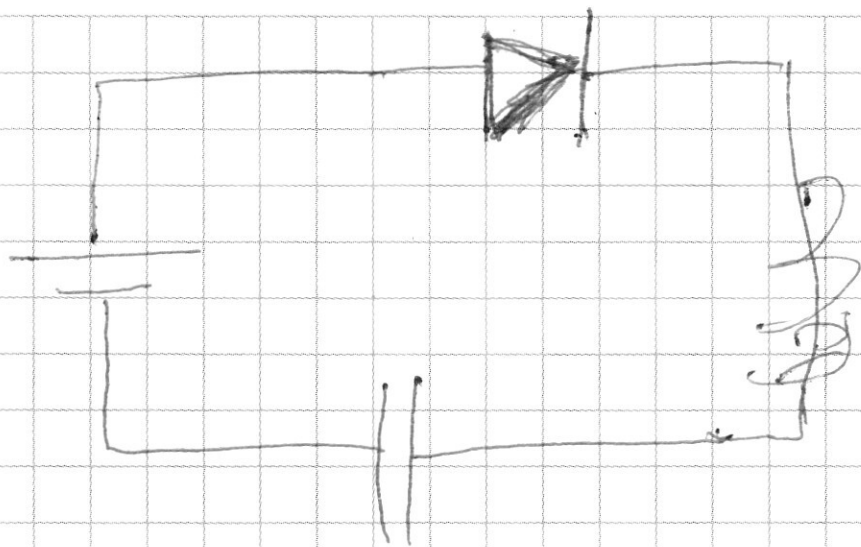
$$\begin{array}{r} 52 \\ 14 \\ \hline 320 \\ + 128 \\ \hline 448 \end{array}$$

$$178 = 2.89$$

U_0



$$\frac{q^2}{2C} = (U_0 + E)q + \frac{LI^2}{2}$$



$$\frac{CU_1^2}{2} = \frac{LI^2}{2} + (-E + U_0)q + \frac{CU_0^2}{2}$$

$$q = CU_1 - CU_0 =$$

$$\frac{CU_1^2}{2} + (E - U_0)q = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU_0^2}{2}$$