

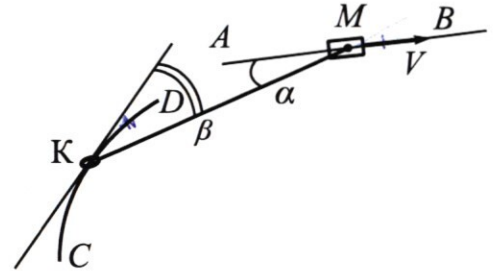
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-02

Класс 11

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



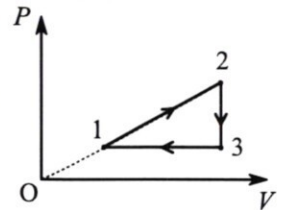
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

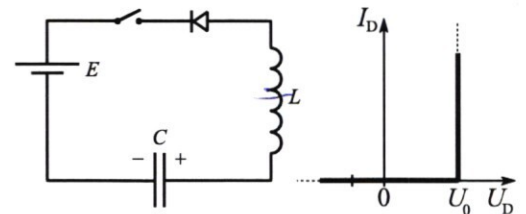


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 3) Найдите скорость V_0 частицы 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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



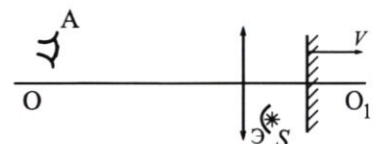
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии плоскости $F/3$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F от линзы.

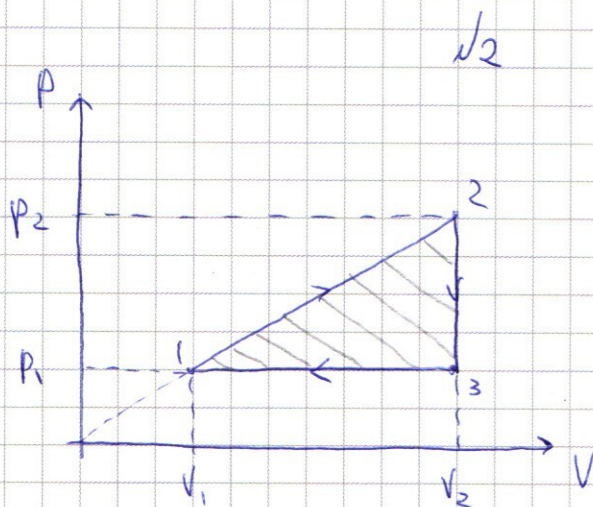
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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



п.к. газ диатомный, то
кол-во степеней свободы $z: i=5$

1) Поливение T происходило
на участке 23 (изохора) — C_V
и 13 (изобара) — C_P

Поэтому поливение по $\frac{C_V}{C_P}$.

Как известно, $C_V = \frac{i}{2} R = \frac{5}{2} R$.

Связь между C_P и C_V : $C_P - C_V = R$, т.е. $C_P = C_V + R =$
 $= \frac{5}{2} R + R = \frac{7}{2} R$.

Итак: $\frac{C_V}{C_P} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{7}{2} R} = \frac{5}{7} = 0,7$.

2) По 1-ому закону термодинамики:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \text{ где } \Delta U_{12} = \frac{5}{2} \Delta(pV) = \frac{5}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

A_{12} — площадь под кр. отрезком 1-2: $A_{12} = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$

Итак: $Q_{12} = \frac{5}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 3 (p_2 V_2 - p_1 V_1)$

Окончательно запишем: $\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{3 (p_2 V_2 - p_1 V_1)}{\frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)} = 6$.

3) По определению: $\eta = \frac{A}{Q}$, где A - работа, совершаемая газом за цикл.

Q - подводимая к газу теплота

A - площадь, ограниченная циклом на PV -диаг.

$$A = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) \cdot (p_2 - p_1)$$

Теплота к газу подводилась на участке 12.

Как было показано в п. 2:

$$Q_{12} = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$\text{Итак: } \eta = \frac{A}{Q_0} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(V_2 - V_1)(p_2 - p_1)}{p_2 V_2 - p_1 V_1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_2 p_2 - V_2 p_1 - V_1 p_2 + V_1 p_1}{p_2 V_2 - p_1 V_1}$$

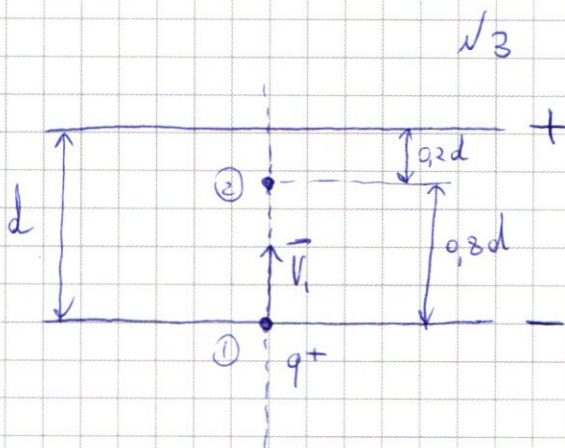
м.к. на ур. 12 $p = \alpha V$, то $p_2 = \frac{p_1}{V_1} V_2$, то $p_2 V_1 = p_1 V_2$, то

$$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{p_2 V_2 + p_1 V_1 - 2 p_1 V_2}{p_2 V_2 - p_1 V_1}, \text{ т.е. в предельно максимальное значение}$$

$$\text{КТД такого цикла: } \eta_{\max} = \frac{1}{4} = 0,25 = 25\%.$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{C_v}{C_p} = 0,6; \quad 2) \frac{Q_{12}}{A_{12}} = 4; \quad 3) \eta_{\max} = 25\%.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



т.к. заслонка дается остано-
виться между пластинами,
то величина она должна быть
отр. зар. каждой (в противном

случае поле будет ее ускорять)

В поле на заслонку действует постоянная сила: $F = qE$, где
 E - напря. поле между обкладками.

Ускорение заслонки из 4.3. Н.: $a = \frac{F}{m} = \frac{q}{m} E = \gamma E$

В положении 2 скорости равна 0, то из уравнения движ:

$$1) \quad 0 = V_1 - \gamma E T, \text{ то } T = \frac{V_1}{\gamma E}$$

Вектор напря. E век. аналогич с гравитационным полем
и ЗС): $g (=) \gamma E$, то

$$\frac{m V_1^2}{2} = \underbrace{q \cdot \gamma E \cdot 0,8d}_{(=) m g h} \quad (0 \text{ потенциальной энергии возле отрицательно зар. обкладки})$$

$$\text{Тогда } E = \frac{V_1^2}{2 \cdot 0,8d \cdot \gamma} = \frac{V_1^2}{1,6d \cdot \gamma}$$

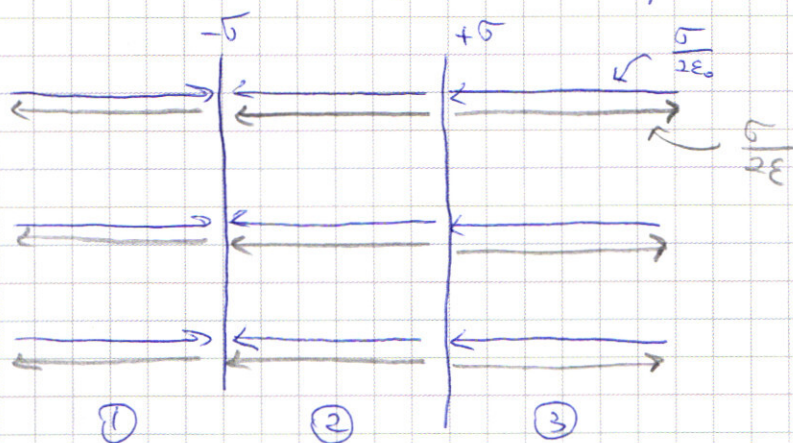
$$\text{Итак: } T = \frac{V_1 \cdot 1,6d \cdot \gamma}{\gamma \cdot V_1^2} = 1,6 \cdot \frac{d}{V_1}$$

2) т.к. эквипотенциальные поверхности перпендикулярны линиям напряжённости поля, то из $\vec{E} = -\nabla\varphi$ следует, что

$$U = Ed, \text{ где } E = \frac{V_1^2}{1,6 \cdot d} \quad (\text{как было показано в п.1})$$

Итак: $U = \frac{V_1^2}{1,6d}$

3) Рассчитаем картину поля конденсатора (как суперпозицию полей равн. зар. пластин):



т.е. в зоне
2 поле — $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$

В зонах 1 и 3
поле нет совсем, т.е.

за пределами конденса-

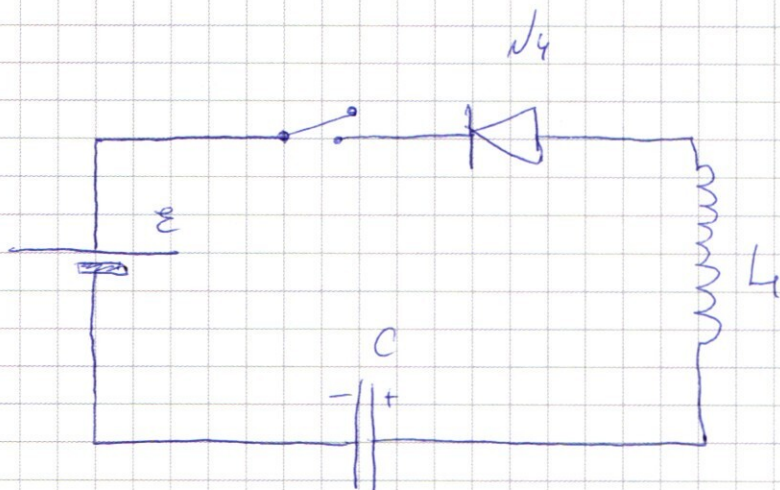
тора та же. Никакие силы не действуют, т.е.

по IЗ.З. она длин. равномерно и равномерно, т.е.

$$V_0 = V_1$$

Ответ: 1) $T = 1,6 \cdot \frac{d}{V_1}$; 2) $U = \frac{V_1^2}{1,6d}$; 3) $V_0 = V_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) т.к. $U_1 - \varepsilon > U_0$, то диод будет открыт, то по II-ому уравнению Кирхгофа:

$$U_1 - \varepsilon - L \dot{j} = 0, \text{ то } \dot{j} = \frac{U_1 - \varepsilon}{L} = \frac{3}{0,2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ А/с.}$$

3) Конденсатор будет разряжаться до тех пор, пока напряжение на нем не станет слишком маленьким и диод не закроется:

$$U_2 - \varepsilon = U_0, \text{ то } U_2 = \varepsilon + U_0 = 4 \text{ В.}$$

2) Пока диод открыт — система — колебательный LC-контур:

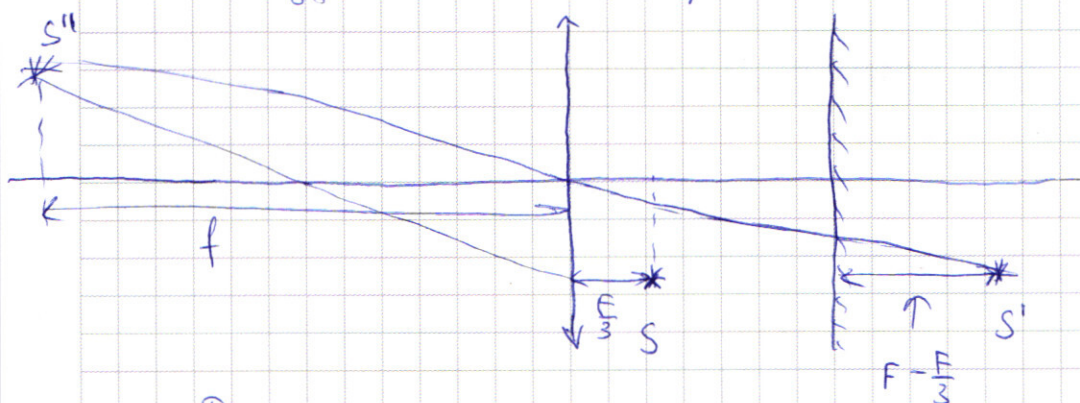
$$q(t) = C U_1 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right);$$

$$j(t) = \dot{q}(t) = C U_1 \sqrt{LC} \sin\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right); \quad U(t) = U_1 \cos\left(\frac{1}{\sqrt{LC}} t\right) = 6 \cos(2 \cdot 10^3 t)$$

$$U(t^+) = U_2 = 4, \cos$$

Ответ: 1) $\dot{j} = 15 \text{ А/с}$; 2) $j_{\max} =$; 3) $U_2 = 4 \text{ В.}$

В следующий момент времени:



1) По формуле линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}, \text{ где } d = f + F - \frac{F}{3} = 2F - \frac{F}{3} = \frac{5}{3}F, \text{ то}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{2}{5F}, \text{ то } f = \frac{5F}{2}$$

~~$$3) \Gamma = \frac{f'}{d}, \text{ где } d' = \frac{F}{3}, \text{ то } \frac{1}{f'} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d'} = \frac{1}{F} - \frac{3}{F} =$$~~

3) Для скорости верно: $U = \Gamma^2 V_1$, где U - скорость изображения в воде, V_1 - скорость изображения в зеркале, Γ - увеличение линзы.

из задачи, то в этот момент времени $f = \frac{5F}{2}$, $d = \frac{5F}{3}$, то

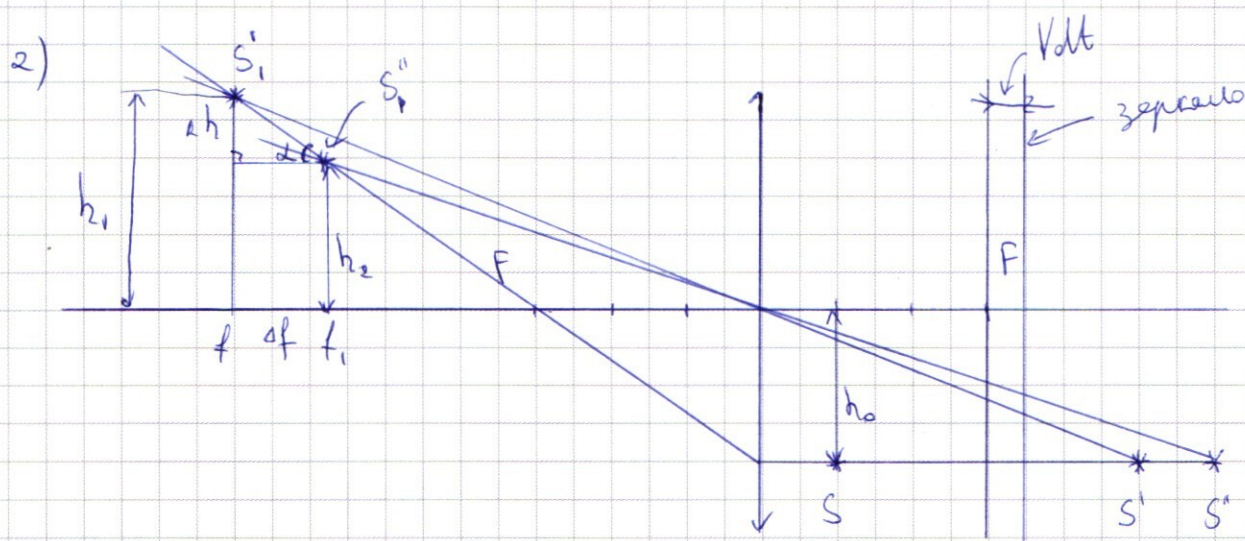
$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{5F \cdot 3}{2 \cdot 5F} = \frac{3}{2}$$

Рассуждая V_1 : пусть за dt зеркало сместилось на $dS = V dt$, то

смещение изображения $dl = 2dS = 2V dt$, а по определению скорости: $V_1 = \frac{dl}{dt} = 2V$, то

$$U = \Gamma^2 \cdot V_1 = \frac{9}{4} \cdot 2V = \frac{9}{2}V = 4,5V$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Если зеркало сместилось на Vdt , то новое рассм. от
излуч. S'' :

$$d_1 = d + 2Vdt = \frac{5F}{3} + 2Vdt = \frac{5F + 6Vdt}{3}, \text{ но по формуле линзы:}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F + 6Vdt} = \frac{5F + 6Vdt - 3F}{F(5F + 6Vdt)} = \frac{2F + 6Vdt}{F(5F + 6Vdt)}, \text{ но}$$

$$f_1 = \frac{F(5F + 6Vdt)}{2F + 6Vdt}, \text{ но } \Delta f = f - f_1 = \frac{5F}{2} - \frac{F(5F + 6Vdt)}{2F + 6Vdt} =$$

$$= \frac{F(5F + 15Vdt) - F(5F + 6Vdt)}{2F + 6Vdt} = \frac{F \cdot 9Vdt}{2F + 6Vdt}$$

$$h_1 = \frac{f}{d} h_0 = \frac{3}{2} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{4F}{5}$$

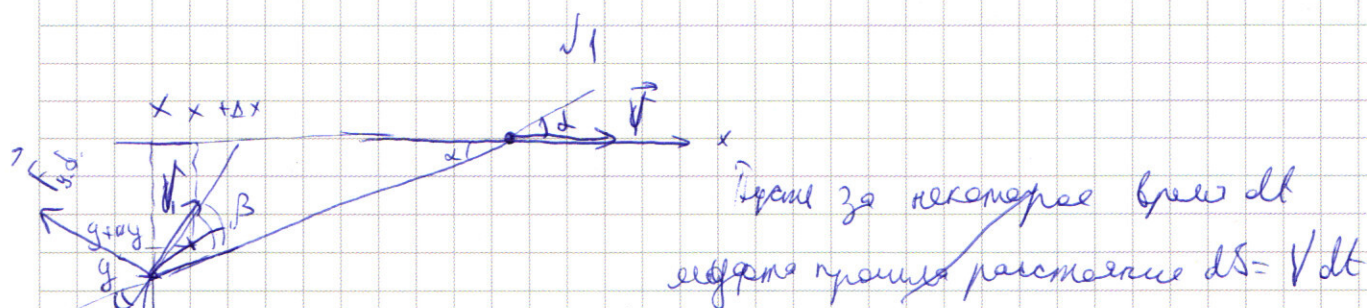
$$h_2 = \frac{f_1}{d_1} h_0 = \frac{F(5F + 6Vdt) \cdot 3 h_0}{(2F + 6Vdt)(5F + 6Vdt)} = \frac{3F}{2F + 6Vdt} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{4F^2}{5F + 15Vdt}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4F}{5} - \frac{4F^2}{5(F + 3Vdt)} = \frac{4F^2 + 12FVdt - 4F^2}{5(F + 3Vdt)} = \frac{12FVdt}{5F + 15Vdt}$$

Ищем:

$$t_{\text{г}} = \frac{\Delta h}{\Delta F} = \frac{12 F \Delta t \cdot (2F + 6V \Delta t)}{(5F + 15V \Delta t) \cdot 9F \Delta t} = \frac{4}{3} \cdot \frac{2F + 6V \Delta t}{5F + 15V \Delta t} = \frac{8}{15} \cdot \frac{F + 3V \Delta t}{F + 3V \Delta t} = \frac{8}{15}$$

Ответ: 1) $f = \frac{5F}{2}$; 2) $t_{\text{г}} = \frac{8}{15}$; 3) $U = \frac{9V}{2}$



$$l = \sqrt{x^2 + y^2} - \text{изг.}$$

$$\text{Через } dt: l = \sqrt{(x + \Delta x)^2 + (y + \Delta y)^2}, \text{ м.р.}$$

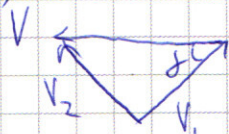
$$x + y + \underbrace{\Delta x^2 + \Delta y^2}_{\text{малые велич.}} + 2x\Delta x + 2y\Delta y = \sqrt{x^2 + y^2} + y, \text{ м.р.} \quad x\Delta x = -y\Delta y$$

малые велич.
более высокого
пор. малее.

1) условие неразрывности нити: $V \cos \alpha = V_1 \cos \beta$, то $V_1 = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta}$

$$V_{\text{сн}} = 40 \cdot \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = 51 \text{ см/с}$$

2) для с.о. мушкет: $\{V_2 - \text{сн. кольца в с.о. м}\}$



$$\gamma = 180^\circ - 2\beta$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

по н. Косенцев:

$$V_2^2 = V^2 + V_1^2 + 2V \cos(\alpha + \beta) = V^2 + V_1^2 + 2(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) V V_1$$

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{25-9}{25}} = \frac{4}{5} \quad ; \quad \sin \beta = \sqrt{\frac{281}{12^2}} = \frac{\sqrt{281}}{12}$$

$$\text{Ищем: } V_2 = \sqrt{1600 + 2601 + 4020 \left(\frac{3}{5} \cdot \frac{3}{12} - \frac{4}{5} \cdot \frac{\sqrt{281}}{12} \right)} \quad (*)$$

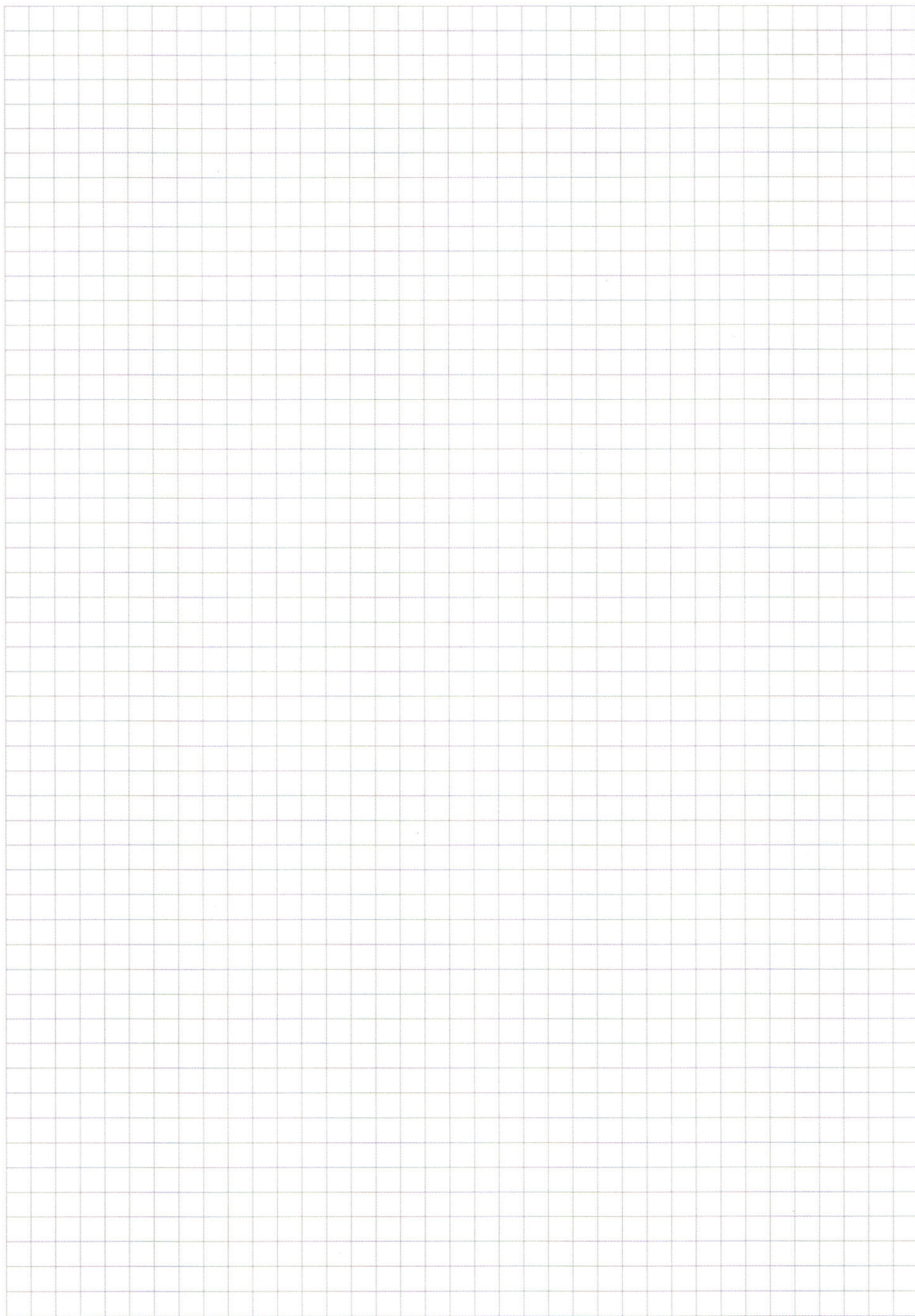
3) м. к. талца имеет скорость V_1 , то

$$a_{y.c.} = \frac{V_1^2}{R}, \text{ то } F_{y.d.} = m \frac{V_1^2}{R} \text{ (сн. мс.) , то}$$

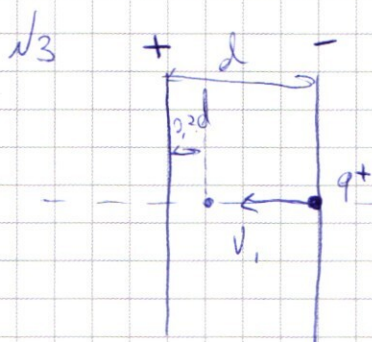
T - тан. тупе:

$$T = F_{y.d.} \cos(180^\circ - 90^\circ - \beta) = m \frac{V_1^2}{R} \cdot \sin \beta = 12 \frac{2601}{12} \text{ Н}$$

$$\text{Ответ: 1) } V_1 = 510 \text{ м/с} ; \quad 2) V_2 - \text{вопр. } (*) ; \quad 3) T = m \frac{V_1^2}{R} \sin \beta$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$j = \frac{1}{m}$$

$$F = kq E_0$$

$$a = \frac{\pi}{3} \quad \text{E} \gamma$$

$$0 = V_1 - E_f T, \text{ so } T = \frac{V_1}{E_f} = \frac{\cancel{V_1} \cdot 1,0 \cdot d \cdot x}{\cancel{V_1} \cdot x} = \boxed{1,0 \frac{d}{V_1}}$$

$$\frac{mv_1^2}{2} = m E_{y, \text{ord}}$$

$$E = \frac{V_1^2}{2 \cdot 0,8 \cdot d \cdot y} = \frac{V_1^2}{1,6 d y}$$

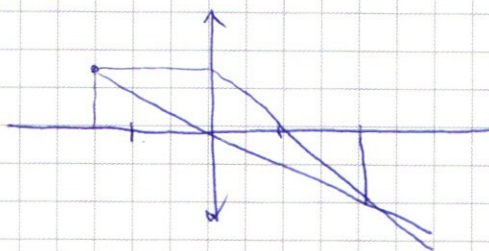
$$F_x = - \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$E_d = U, m$$

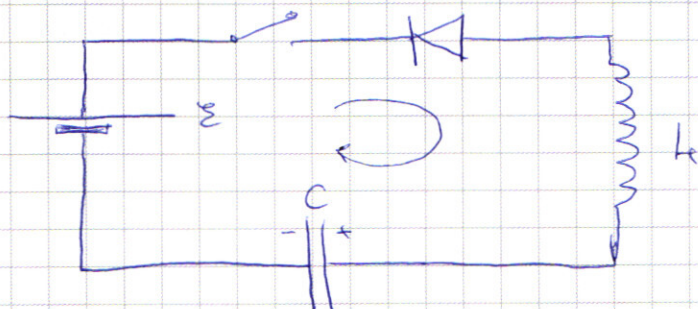
$$u = \frac{v_1^2}{1,68}$$

$$k \frac{Q}{r^2}$$

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



д4.



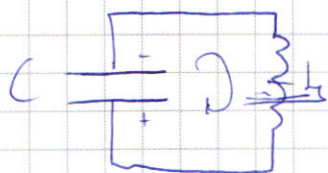
$$U_1 - \varepsilon - L \frac{di}{dt} = 0, \text{ m.c. } i = \frac{U_1 - \varepsilon}{L} = \frac{6\text{В} - 3\text{В}}{0,2\text{Гн}} = \frac{30}{2} = 15 \text{ А}$$

$$U - \varepsilon$$

$$U_2 - \varepsilon = U_0, \text{ m.c. } U_2 = U_0 + \varepsilon = 4\text{В}$$

$$\frac{q}{C} - \varepsilon - L \ddot{q} = 0$$

$$L \ddot{q} + \varepsilon C \ddot{q} = 0$$



$$\frac{q}{C} = L \ddot{q}$$

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0$$

$$q(t) =$$

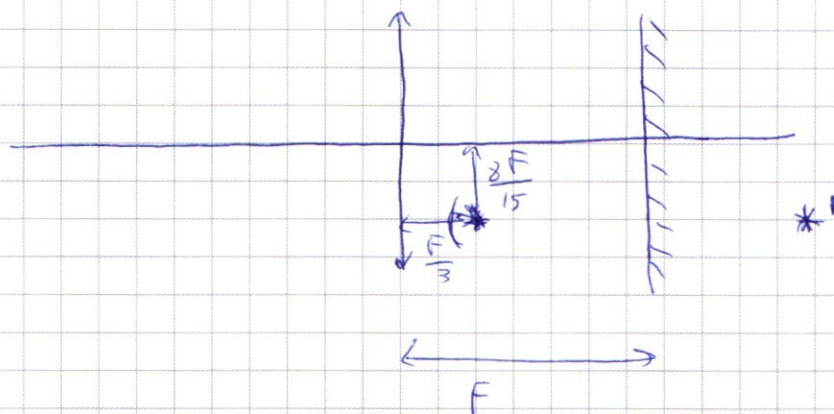
$$d\left(\frac{1}{\omega C}\right) = \frac{1}{\omega C} d\omega, \text{ m.c. } d\omega =$$

$$\begin{array}{r} 17 \\ + 17 \\ \hline 34 \\ + 34 \\ \hline 68 \\ + 68 \\ \hline 136 \\ + 136 \\ \hline 272 \end{array} \quad \begin{array}{r} 17 \\ + 17 \\ \hline 34 \\ + 34 \\ \hline 68 \\ + 68 \\ \hline 136 \\ + 136 \\ \hline 272 \end{array} \quad \begin{array}{r} 17 \\ + 17 \\ \hline 34 \\ + 34 \\ \hline 68 \\ + 68 \\ \hline 136 \\ + 136 \\ \hline 272 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 51 \\ + 51 \\ \hline 102 \\ + 102 \\ \hline 204 \\ + 204 \\ \hline 408 \end{array}$$

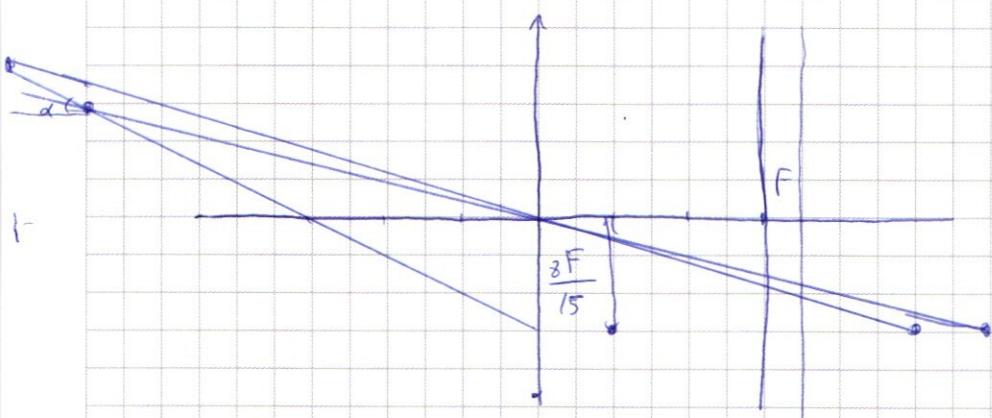
$$\begin{array}{r} 51 \\ + 51 \\ \hline 102 \\ + 102 \\ \hline 204 \\ + 204 \\ \hline 408 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{1}{2F + \frac{F}{3}} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F}, \text{ so } \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F} = \frac{5-3}{5F} = \frac{2}{5F}$$

$$f = \left(\frac{5}{2} F \right)$$



$$d_1 = \frac{5F}{3} + 2Vdt = \frac{5F + 6Vdt}{3}$$

$$\frac{d_1}{f_1} = \frac{1}{F} - \frac{3}{5F + 6Vdt}$$

$$= \frac{2F + 6Vdt}{F(5F + 6Vdt)}$$

$$f_1 = \frac{5F - 6Vdt}{2}$$

$$\Delta f = f - f_1 = \frac{5F - 5F + 6Vdt}{2} = 3Vdt$$

$$h_1 = \frac{1}{d} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8F}{15} = \frac{4F}{5}$$

$$h_2 = \frac{f_1}{d_1} = \frac{(5F - 6Vdt) 3}{2(5F + 6Vdt)}$$

$$\frac{q}{c} - \varepsilon - 4\ddot{q} = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V = 40 \text{ см/с}$$

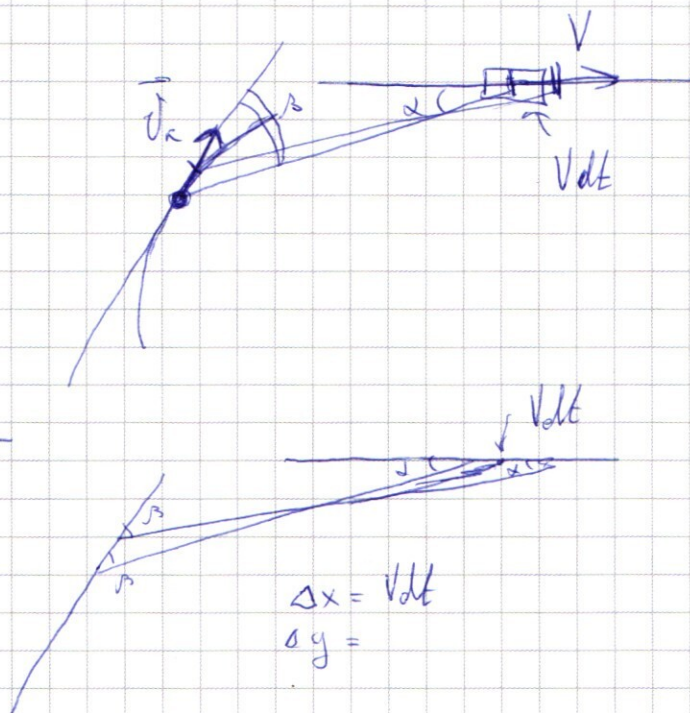
$$m = 1 \text{ кг}$$

$$R = 1,7 \text{ м}$$

$$l = \frac{17R}{15}$$

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

$$\cos \beta = \frac{8}{17}$$

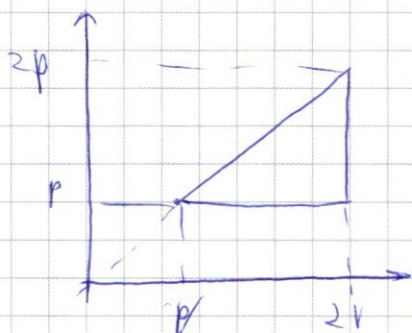


$$p_2 V_2 + p_1 V_1 - p_1 V_2 - p_2 V_1 = p_2 V_2 - p_1 V_1$$

$$p_2 = 2 V_2$$

$$2 p_1 V_1 = p_1 V_2 + p_2 V_1 = 2 p_2 V_1$$

$$\Delta p_2 = 2 p_1$$

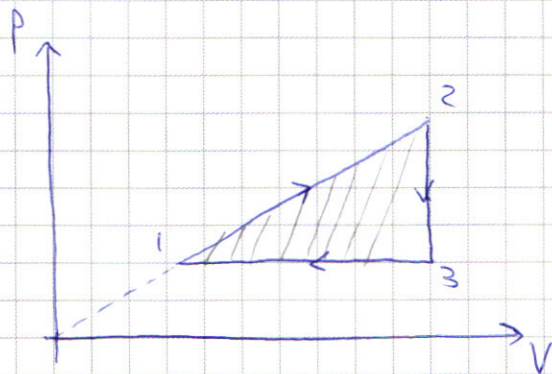


$$A = \frac{1}{2} \cdot V \cdot p$$

$$Q = 2 \cdot (4 p V - p V_1) = 6 p V$$

$$\eta = \frac{1}{2 \cdot 6} = \frac{1}{12}$$

W2



$$i=3$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} R \Delta T$$

$$C_{23} = \frac{3}{2} R$$

$$C_p - C_v = R$$

$$C_p = R + \frac{3}{2} R = \frac{5}{2} R$$

$$1) \frac{C_{23}}{C_{p13}} = \frac{C_v}{C_p} = \frac{3 \cdot 2}{2 \cdot 5} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$Q_{13} = (V_3 - V_1) p = \frac{3}{2} p (V_3 - V_1) =$$

$$2) Q_{12} = \Delta U + A = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 2 (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$A = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

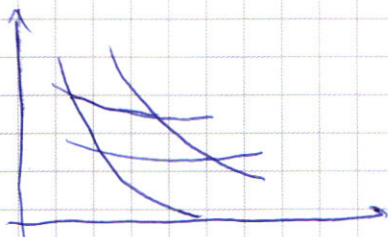
$$\frac{Q_{12}}{A} = \frac{2 \cdot 2}{1} = 4$$

$$3) \eta = \frac{A}{Q}$$

$$A = \frac{1}{2} (V_3 - V_1) (p_2 - p_1) = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (p_2 - p_1)$$

$$Q = A + \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{3}{2} (p_1 V_2 - p_2 V_1) + \frac{3}{2} (p_1 V_1 - p_1 V_2) =$$

=



$$p = 2 V$$

$$p_1 = 2 V_1$$

$$p_2 = \frac{p_1}{V_1} V_2$$

$$p_2 V_2 = p_1 V_1 = 2 p_1 V_2 = p_2 V_2 - p_1 V_1$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$