

Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

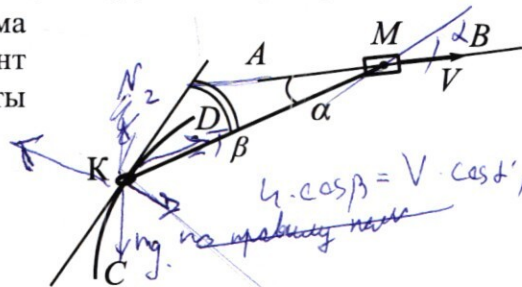
Вариант 11-01

Класс 11

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

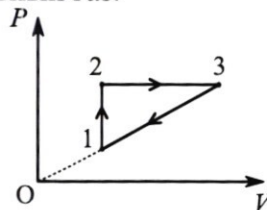
1. Муфту M двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо K массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) 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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.
- 3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы

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



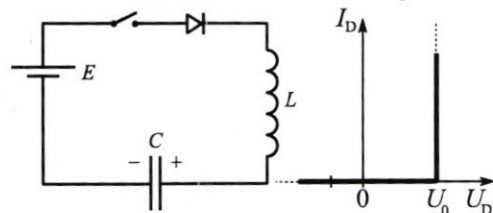
- 1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

$$\begin{array}{r} 68 \\ \times 68 \\ \hline 544 \\ 4080 \\ \hline 4624 \end{array} \quad \begin{array}{r} 75 \\ \times 75 \\ \hline 375 \\ 5250 \\ \hline 5625 \end{array}$$

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

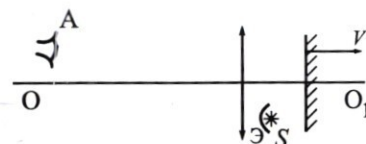
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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 $\mathcal{E}$, 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 $F/2$ от плоскости 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 A 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
Дано:

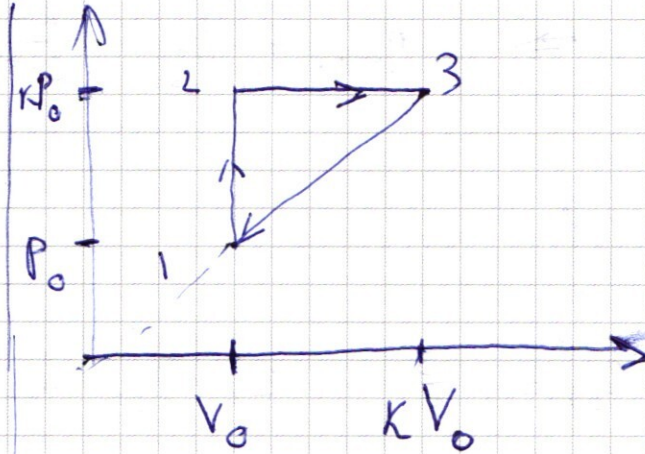
цикл; $i=3$

Найти:

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} - ?$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} - ?$$

$\eta_{\max} - ?$



$$1) V_1 = V_2 \Rightarrow$$

$$C_{12} = C_v$$

$$2) P_2 = P_3 \Rightarrow$$

$$C_{23} = C_p$$

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{C_v}{C_p} =$$

$$\frac{i}{i+2} = \frac{3}{5}$$

2)

$$Q_{23} = (K-1) \cdot V_0 \cdot KP_0 + \frac{i}{2} (KP_0 \cdot KV_0 - KP_0 \cdot V_0) =$$

$$P_0 V_0 (K-1) \cdot K + \frac{i}{2} P_0 V_0 K \cdot (K-1) =$$

$$\frac{5}{2} P_0 V_0 K (K-1);$$

$$A_{23} = (K-1) \cdot K \cdot P_0 \cdot V_0;$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$$

$$3) \eta = \frac{A_{123}}{Q_{12} + Q_{23}}; \quad A_{123} = \frac{(K-1) P_0 (K-1) V_0}{2}$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (KP_0 V_0 - P_0 V_0) = \frac{3}{2} P_0 V_0 (K-1);$$

$$\eta = \frac{(n-1) \cdot P_0 \cdot V_0 \cdot \frac{1}{2}}{\left(\frac{3}{2} P_0 \cdot V_0 + \frac{5}{2} P_0 \cdot V_0 \cdot K\right)(K-1)} = \frac{(K-1)}{3+5K}$$

$$\eta' = \frac{1(3+5K) - 5 \cdot (K-1)}{(3+5K)^2} = \frac{3+5}{(3+5K)^2} = \frac{8}{(3+5K)^2}$$

$$\eta' > 0 \quad \forall K \Rightarrow \eta_{\max} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{K-1}{3+5K} =$$

$$\frac{K}{5K} = \frac{1}{5}$$

$$\eta_{\max} = 20\%$$

Ответ: 1) $\epsilon_2 : \epsilon_3 = \frac{3}{5}$; 2) $Q_{23} : A_{23} = \frac{5}{2}$;

3) $\eta_{\max} = 20\%$;

W4.

Дано:

$$E = 9 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 5 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

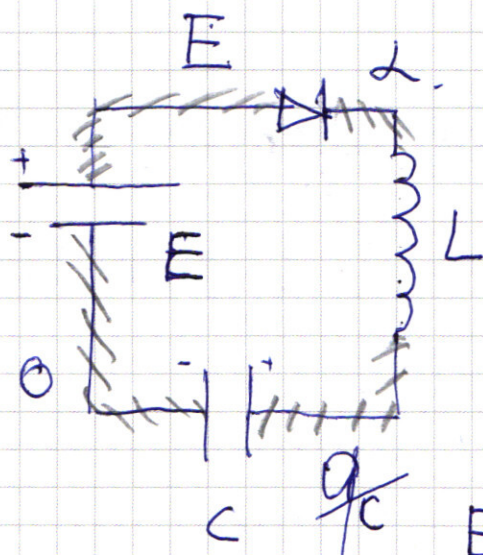
$$U_0 = 1 \text{ В}$$

Найти:

$$I'(0) - ?$$

$$I_{\max} - ?$$

$$U_2 - ?$$



$$1) L \cdot I' = \alpha - q/c$$

$$I = \left(\alpha - \frac{q}{c} \right)$$

$$q(0) = U_1 \cdot C;$$

$$I = \dot{q};$$

$$I' = \ddot{q};$$

$$E - \alpha = U_0;$$

$$\alpha = E - U_0;$$

$$L \cdot I'(0) = - (E - U_0 - U_1)$$

$$I'(0) = \frac{U_0 + U_1 - E}{L} = \frac{1 + 5 - 9}{0,1} = -30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$2) I = I_{\max} \Rightarrow I' = 0; \Rightarrow \frac{q}{c} = \alpha = E - U_0;$$

$$q = C(E - U_0)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Delta q = q - C \cdot U_1$$

$$E \cdot \Delta q + \frac{C U_1^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + L \cdot \frac{I_{\max}^2}{2};$$

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

$$2CE^2 - 2CEU_0 - 2CU_1E + CU_1^2 =$$

$$C \cdot E^2 - 2CEU_0 + CU_0^2 + L \cdot I_{\max}^2;$$

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

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

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot ((9.5)^2 - 1)}{0.1}} = \sqrt{4 \cdot 10^{-4} \cdot 15} \approx$$

$$8 \cdot 10^{-2} = 0.08 \text{ A}$$

3) данная схема представляет собой колебательный контур, в котором колебания могут происходить только в одном направлении. $I = 0$ при смене направления тока, но т.к. у нас в схеме диод, это не может произойти. Следовательно, установившийся режим — это когда $I = 0$, а $I' > 0$ (иначе это начальное состояние)

$$I=0, I' > 0 \Rightarrow q = q_{\max};$$

$$t=0 \quad I=0, I' < 0.$$

$$I'(t_k) = -I'(0) \quad \text{где } t_k - \text{момент установившегося режима.}$$

$$-I'(0) = \frac{E - U_0 - U_1}{L}$$

$$LI'(t_k) = -\left(E - U_0 - \frac{q(t_k)}{C}\right)$$

$$L \cdot \frac{E - U_0 - U_1}{L U_0} = -E + U_0 + \frac{q(t_k)}{C}$$

$$2E - 2U_0 - U_1 = \frac{q(t_k)}{C} = U_2;$$

$$U_2 = 2E - 2U_0 - U_1 = 18 - 2 - 5 = 11 \text{ В}$$

Ответ: $I'(0) = -30 \frac{\text{А}}{\text{с}}; I_{\max} = 0,08 \text{ А}; U_2 = 11 \text{ В};$
и т.д.

Дано:

источник S

$$p(S; \infty) = \frac{3F}{4}$$

линза с ф.р. F

и т.д. ∞ ;

$$p(S; \text{линза}) = \frac{F}{2}$$

зеркало:

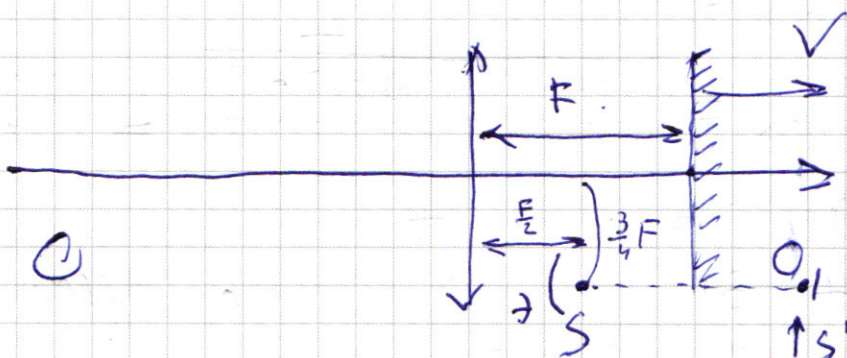
$$p(\text{зеркало; линза}) = F$$

V

Найти:

f-?, d-?

v_{из}-?



$$1) d' = \frac{F}{2} + 2\left(F - \frac{F}{2}\right) = \frac{3}{2}F -$$

изображение источника в зеркале;

$$\frac{1}{f'} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}; \quad f' = \frac{d' \cdot F}{d' - F} = \frac{\frac{3}{2}F \cdot \frac{F}{2}}{\frac{3}{2}F - \frac{F}{2}} = 3F - \text{расстояние от}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

лучи до изображения источника
 $f = f'$

3) изображение в зеркале движется
от линзы со скоростью $2V$; (параллельно OO_1)

$$f' = \frac{d' \cdot F}{d' - F}; \quad d'' = 2V; \quad f'' = F \cdot \frac{d''(d' - F) - d' \cdot d''}{(d' - F)^2};$$

$$f'' = \frac{-d'' \cdot F^2}{(d' - F)^2} = \frac{-2V \cdot F^2}{\frac{1}{4} F^2} = -8V$$

$$h_{uz} = \frac{3}{4} F \cdot \frac{f'}{d'}, \quad h_{uz}' = \frac{3}{4} F \cdot \frac{f'' d' - d' f'}{(d')^2} =$$

$$\frac{3}{4} F \cdot \frac{-8V \cdot \frac{3}{2} F - 2V \cdot 3F}{(\frac{3}{2} F)^2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{V(4 \cdot 3 - 2 \cdot 3) \cdot 4}{9} =$$

$$-6V,$$

где d'' , f'' , h_{uz}' — производные
по времени расположения, а h_{uz} —
размер изображения от линзы.

$$2) \operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{uz}'}{f''} = \frac{3}{4}$$

$$3) * V_{uz} = \sqrt{(f'')^2 + (h_{uz}')^2} = 10V$$

Ответ: 1) $f = 3F$; 2) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4}$; 3) $V_{uz} = 10V$;
 $\sqrt{3}$.

Дано:

$S, d;$
 $d \ll S;$

$d_0 = 0,25d$

$T, \frac{q}{m} = \gamma;$

Найти:

$V_1 - ?$

$Q - ?$

$V_2 - ?$



$$1) \ell = d - d_0;$$

$$\ell = \frac{aT^2}{2};$$

$$a = \frac{2\ell}{T^2};$$

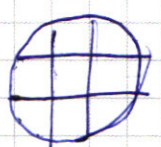
$$V_1 = a \cdot T = \frac{2\ell}{T} = \frac{2(d - d_0)}{T} =$$

$$1,5 \frac{d}{T};$$

$$2) E_n = 2\pi k \cdot \sigma \quad - \text{одной пластинки}$$

$$E = 4\pi k \cdot \sigma; \quad - \text{поля в конденсаторе}$$

Рассмотрим конденсатор с дырками.



Пусть дырки в нем занимают λ часть площади; дырки имеют

заряд q , но можно считать, что λ часть пластинки имеет плотность

заряда $-\sigma_c + \sigma_d$; где σ_c - плотность заряда

$$Q = S \cdot \sigma_c + \lambda S \sigma_c =$$

стенки
сетки;

$$S \sigma_c \cdot (1 - \lambda);$$

$$\sigma = \sigma_c (1 - \lambda) \quad \text{где } \sigma - \text{эквивалентная}$$

плотность заряда для пластинки.

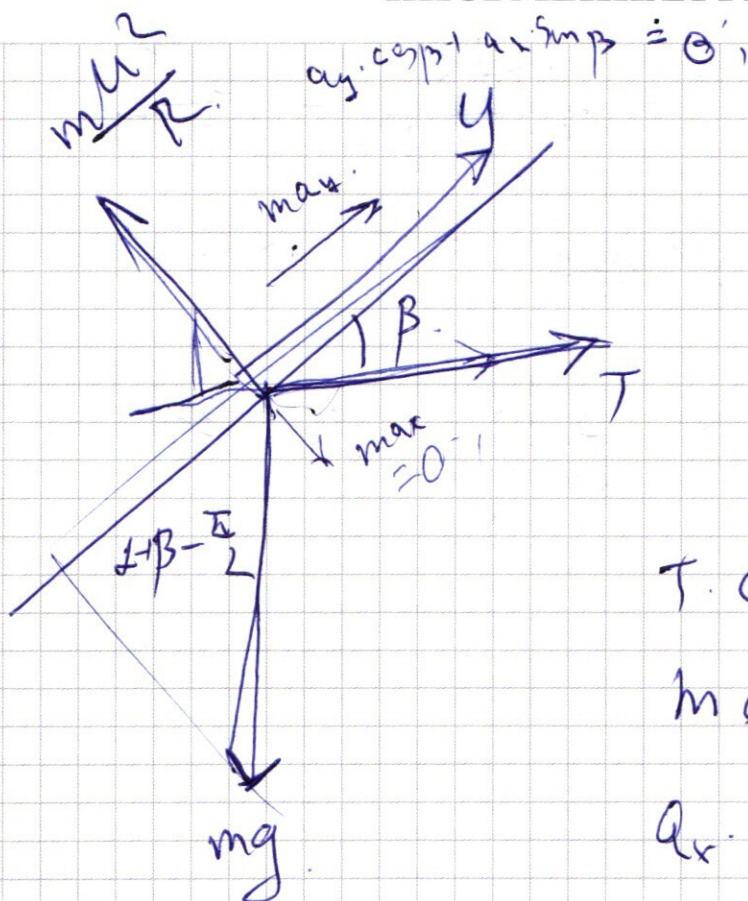
отсюда видно, что при $\lambda \rightarrow 0 \quad Q \rightarrow \frac{E_{\text{век}}}{4\pi k} \cdot S$

а при $\lambda \rightarrow 1 \quad Q \rightarrow \infty;$

Будем считать, что дырки малы; (по условию, поле однородно)

$$E \cdot q = F = ma; \quad E = \frac{m}{q} \cdot a = \frac{a}{\gamma};$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



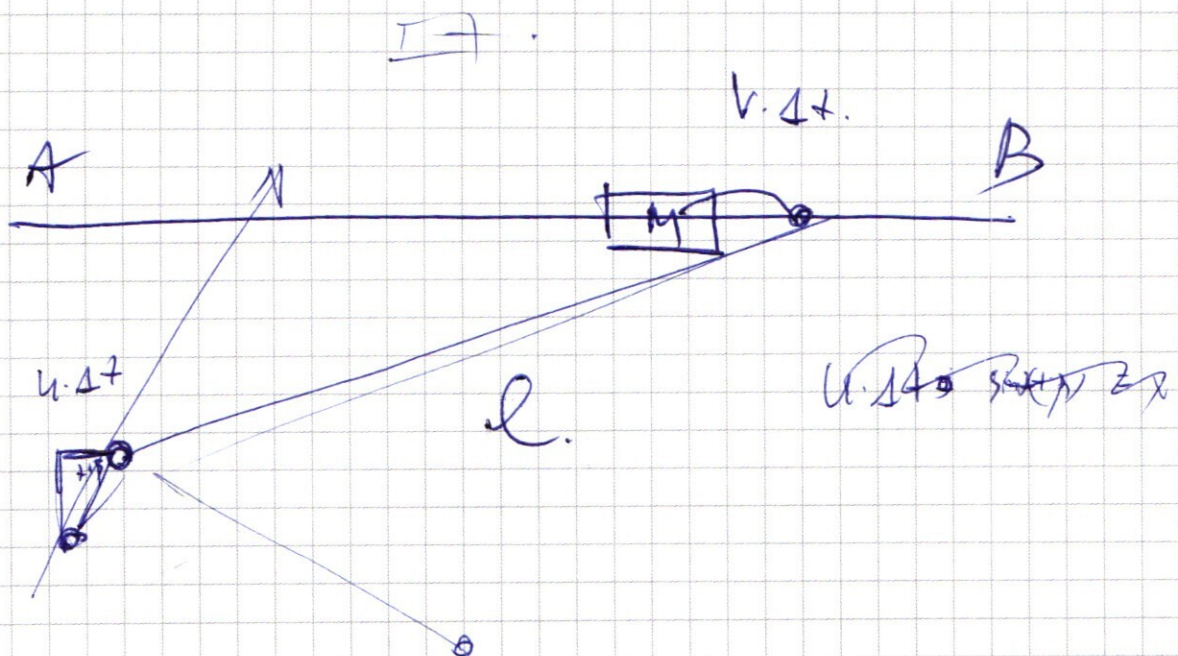
$$\frac{m u^2}{r} + T \cdot \sin \beta +$$

$$mg \cdot \sin\left(2 + \beta - \frac{\pi}{2}\right) -$$

$$N = \{m_i; a_i\}$$

$$T \cdot \cos \beta - mg \cdot \cos(\alpha + \beta - \frac{\pi}{2}) = m a_x$$

$$a_x \cdot \cos \beta = 0;$$



$$\alpha = \frac{2\ell}{T^2} = \frac{1,5d}{T};$$

$$E = \frac{1,5d}{T \cdot \gamma};$$

$$Q = \cancel{E \cdot 4\pi k} \cdot \frac{E}{4\pi k} \cdot S = \frac{1,5d \cdot S}{4\pi k \cdot T \cdot \gamma} = \frac{3dS}{8\pi k \cdot T \cdot \gamma}$$

3) have one конденсатора $= 0 \Rightarrow \alpha = 0 \Rightarrow$

$$V_2 = V_1 = \frac{3}{2} \frac{d}{T}$$

Answer: 1) $\frac{3d}{2T}$; 2) $\frac{3dS}{8\pi k \cdot T \cdot \gamma}$; 3) $\frac{3d}{2T}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

W1

Дано:

$$V = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$R = 1,9 \text{ м}$$

$$\angle; \cos \angle = \frac{15}{17}$$

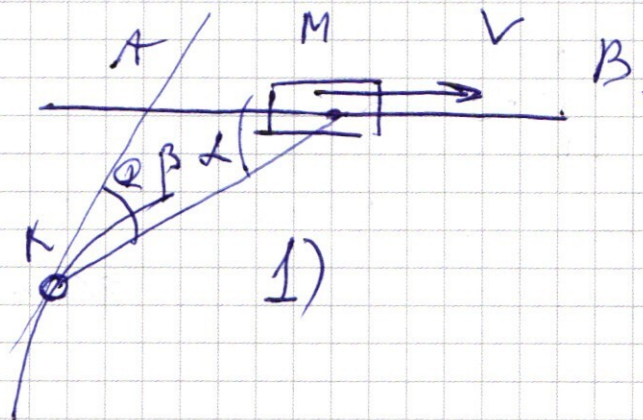
$$\beta; \cos \beta = \frac{4}{5}$$

Найти:

u - ?

$u_{\text{от.}}$ - ?

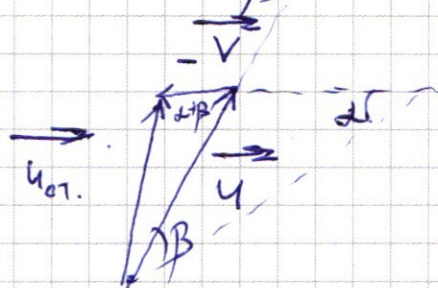
T - ?



~~с учётом~~ по правилу
параллельности: $u \cdot \cos \beta = V \cdot \cos \angle$

$$u = \frac{V \cdot \cos \angle}{\cos \beta} = 68 \cdot \frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 4} = 75 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

2)



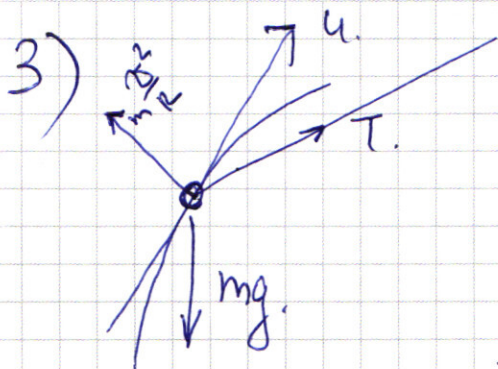
По ∇ косинусов, $u_{\text{от.}}^2 = V^2 + u^2 - 2u \cdot V \cdot \cos(\angle + \beta)$

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

$$\frac{60 - 24}{17 \cdot 5} = \frac{36}{17 \cdot 5}$$

$$u_{\text{от.}}^2 = 75^2 + 68^2 - \frac{2 \cdot 68 \cdot 75 \cdot 36}{17 \cdot 5} = 75^2 + 68^2 - 2 \cdot 4 \cdot 1536$$

$$= 5929; \quad u_{\text{от.}} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$



$$u = V \cdot \frac{\cos 2}{\cos \beta};$$

$$u' = V' \cdot \frac{\cos 2}{\cos \beta};$$

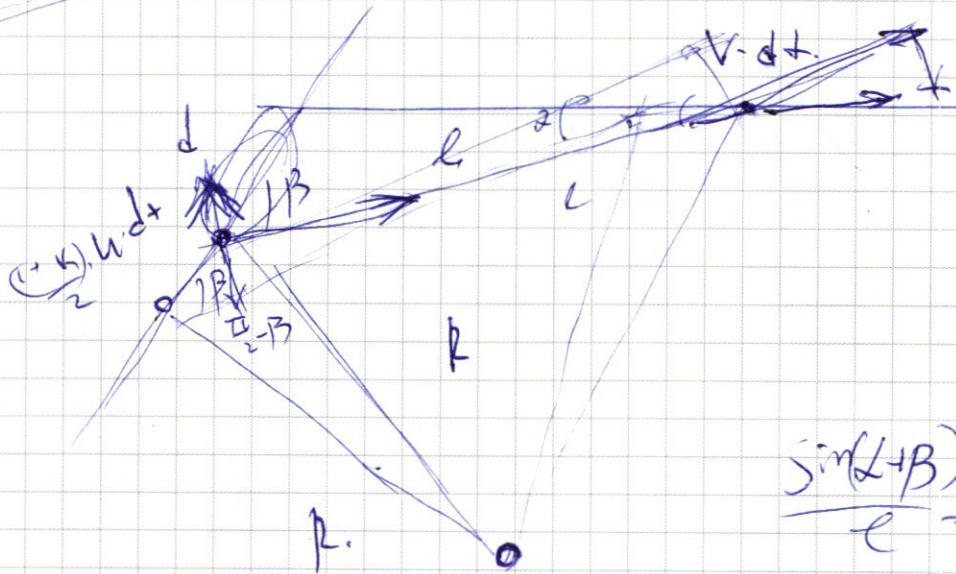
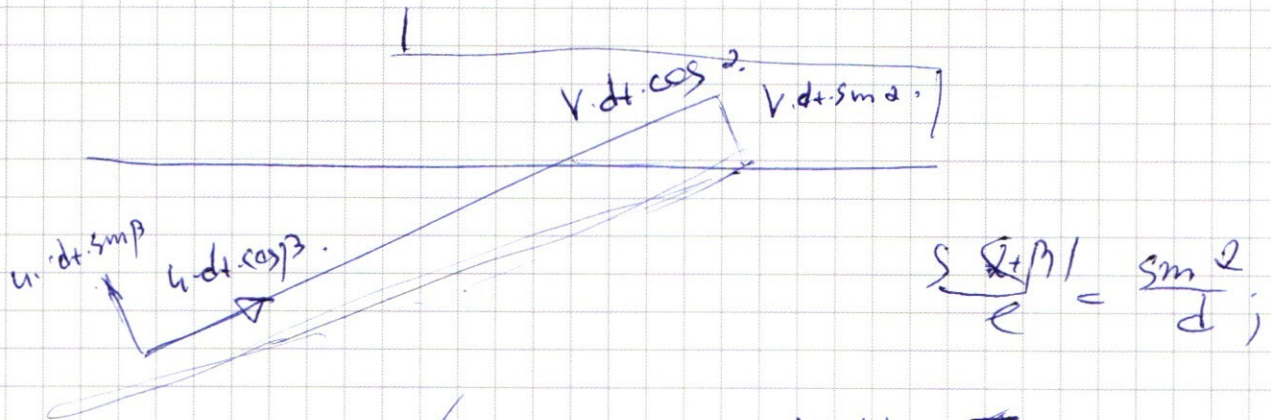
$$V' = 0 \Rightarrow u' = 0;$$

$$u \cdot \cos \beta = V \cdot \cos 2;$$

$$a_{K_1} = a_{K_2}$$

ускорения концов нити;
вдоль нее;

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\left(\frac{u - k \cdot u}{dt} \right) = a_x$$

$$\frac{a_{K_2} \cdot dt^2}{2} = v \cdot \cos \alpha \cdot dt;$$

