

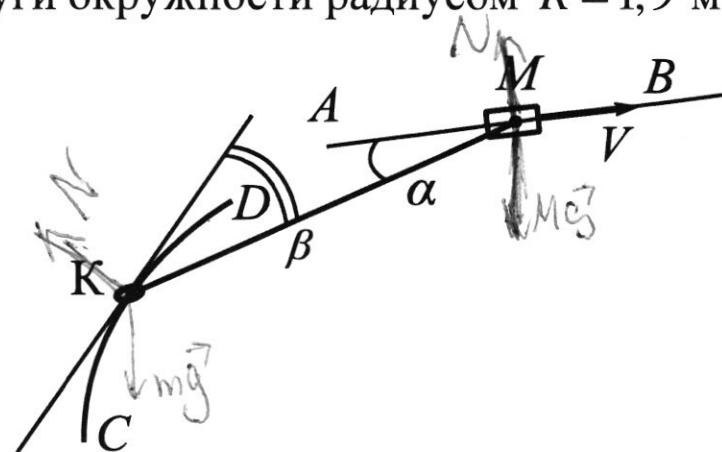
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

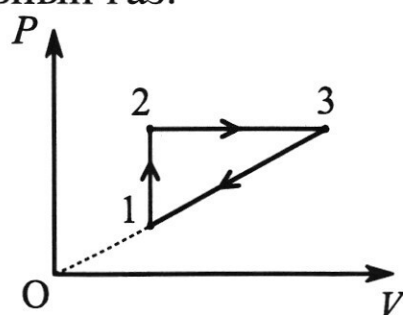
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной 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.



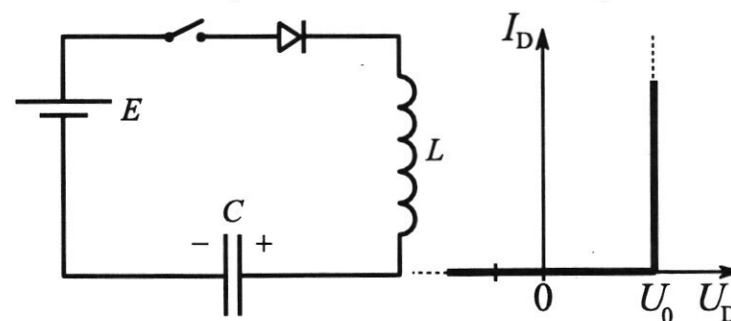
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица 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?

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

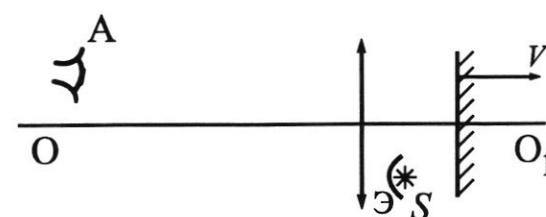
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

④

$$I = \frac{E}{R} \quad 1) 0$$

$$2.8 \cdot 12 \cdot 10^{-4} =$$

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

$$E = \frac{A}{q} (4 \cdot 10^{-5} \cdot 5 + 12 \cdot 10^{-5}) = 32 \cdot 10^{-5}$$

$$CU = LI$$

$$\frac{1024 \cdot 10^{-10}}{4 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}} = 256 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{LI^2}{2} +$$

$$I =$$

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

$$I = \sqrt{\frac{2Eq - \frac{q^2}{C}}{L}}$$

$$I(q=EC) = \sqrt{\frac{2E^2C - E^2C}{L}} = E\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$I'(q) = \frac{2E - \frac{2q}{C}}{2\sqrt{\frac{2Eq}{L} - \frac{q^2}{C}}} = 0$$

$$4 \cdot 10^{-4} \cdot 25$$

$$2E - \frac{q}{C} = 0 \Rightarrow q = EC$$

$$192 - 256 = 100$$

$$I'(q=EC) = 2E - E$$

$$E - U_1 = LI'$$

$$3) U = E - U_0$$

$$E \cdot q(t) = \frac{(q(t) + CU_1)^2}{2C} + \frac{LI^2}{2}$$

$$q = 8 \cdot 4 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 12 \cdot 10^{-5}$$

$$92 - 56 = 36$$

$$0 = \frac{CU_1^2}{2} + \frac{LI^2}{2}$$

$$E - U_0$$

$$-\frac{CU^2}{L}$$

$$\frac{2(E - U_0)}{L} - \frac{2U_1}{L} - \frac{2q}{CL} = 0$$

$$q = (E - U_0)C - 2U_1C$$

$$\Gamma = \frac{1}{d} \quad d = F(t) + F(t) - \frac{F}{2}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F+Vt} \quad d(t) = F+Vt + F+Vt - \frac{F}{2} = \frac{3F}{2} + 2Vt$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2F(t) - 0.5F} + 1$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d(t)} + \frac{1}{F(t)} \Rightarrow f(t) = \frac{d(t) \cdot F}{d(t) - F} = \frac{\left(\frac{3F}{2} + 2Vt\right) F}{\frac{F}{2} + 2Vt} \quad 16FV^2t - 16FV^2t$$

$$\frac{4FV(F+4Vt) - (3F^2 + 4FVt)4V}{(F+4Vt)^2} = \frac{-8F^2V}{(F+4Vt)^2}$$

$$h = \frac{3F}{4} \cdot \frac{1}{d} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{F}{d(t) - F} = \frac{3F^2}{4\left(\frac{F}{2} + 2Vt\right)} = \frac{3F^2}{2F + 8Vt}$$

$$\frac{-3F^2 \cdot 8V}{(2F + 8Vt)^2} = \frac{-24F^2V}{4F^2} = -6V$$

$$\eta = \frac{A_{23} - A_{13}}{Q_{123}} = \frac{J R_{\Delta T} - \frac{\alpha}{2}(V_3^2 - V_1^2)}{\frac{3}{2} J R_{\Delta T} + \frac{5}{2} J R_{\Delta T}} = \frac{J R_{\Delta T} - \frac{\alpha}{2}(V_3^2 - V_1^2)}{4 J R_{\Delta T}}$$

$$= \frac{P_3(V_3 - V_1) - \frac{\alpha}{2}(V_3^2 - V_1^2)}{\frac{3}{2} V_1(P_3 - P_1) + \frac{5}{2} P_3(V_3 - V_1)} = \frac{P_3 V_3(V_3 - V_1) - \frac{\alpha}{2}(V_3^2 - V_1^2)}{\frac{3}{2} V_1(V_3 - V_1) + \frac{5}{2} P_3(V_3 - V_1)}$$

$$= \frac{V_3 - \frac{1}{2}V_3 - \frac{1}{2}V_1}{\frac{3}{2}V_1 + \frac{5}{2}V_3} = \frac{V_3 - V_1}{3V_1 + 5V_3} = \frac{n-1}{3+5n}, \quad n = \frac{V_3}{V_1}$$

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

$$\Rightarrow \eta_{\max} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n-1}{3+5n} \right) = \frac{1}{5} = 0.2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$3) V_0 = \sqrt{(h'(0))^2 + (p'(0))^2} = 10 \text{ V}$$

Ответ: $V_0 = 10 \text{ V}$

② Дано:

$$P_1 = P_2$$

$$V_2 = V_3$$

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_3}{V_3}$$

Решение:

1) Повышение температуры газа происходит в процессах $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$.

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

$$C_{23} = C_P = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T + P_2 V_2}{\Delta T} = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T}{\Delta T} = \frac{5}{2} R$$

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

1) Найти: η_{max}

2) Найти: $\frac{Q_{23}}{A_{23}}$

3) Найти: η_{max}

$$2) Q_{23} = C_{23} \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$A_{23} = P_2 V_2 = \nu R \Delta T$$

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

$$3) \eta_{12} = 0, \text{ т.к. } A_{12} = 0 \text{ — изохорный процесс}$$

$$\eta_{23} = \frac{A_{23}}{Q_{23}} = \frac{2}{5} = 0,4$$

$$\eta_{31} < 0$$

$$\eta = \frac{A_{23} - |A_{31}|}{Q_{123}} = \frac{n-1}{3+5n}, n = \frac{V_3}{V_1}$$

$$\eta'(n) = \frac{8}{(3+5n)^2} \Rightarrow \eta_{\text{max}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n-1}{3+5n} \right) = \frac{1}{5} = 0,2, \text{ или } 20\%$$

Ответ: 1) $\frac{5}{3}$; 2) $\frac{5}{2}$; 3) 20%

③ Дано:

$$S, d, T$$

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

Решение:

$$1) F = ma \Leftrightarrow Eq = ma \Rightarrow a = Ej$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{Q \epsilon_0}{S}$$

$$\frac{3d}{4} = a \frac{T^2}{2} \Rightarrow Q = \frac{3d \epsilon_0}{2 \epsilon_0 j T^2}$$

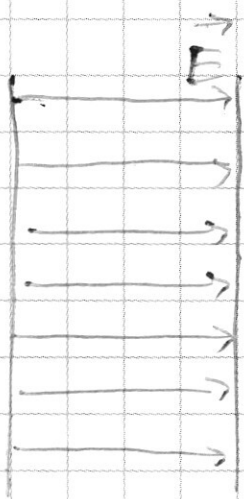
Найти: 1) U

2) Q

3) V_2

$$2) \frac{3d}{4} = \frac{V_1 T}{2} \Rightarrow V_1 = \frac{3d}{2T}$$

3)



Электрическое поле существует в данном случае только между пластинами конденсатора, потому что снаружи поля, создаваемые пластинами, накладываются друг на друга, тем самым компенсируя друг друга.

Так что на бесконечно большом расстоянии от конденсатора частица будет лететь с неизменной скоростью V_1

Ответ: 1) $V_1 = \frac{3d}{2T}$; 2) $Q = \frac{3d\epsilon}{2\epsilon_0 T^2}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ 3) $V_2 = \frac{3d}{2T}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Дано:

$$V = 68 \text{ м/с}$$

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$R = 1,9 \text{ м}$$

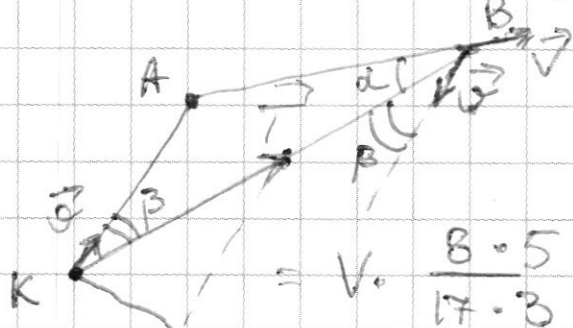
$$l = \frac{5R}{3}$$

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

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

Решение:

1)



$$\text{Синусов: } \frac{AK + V \Delta t}{\sin \alpha} = \frac{AB + V \Delta t}{\sin \beta} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V}{\sin \alpha} = \frac{V}{\sin \beta} \Rightarrow V = V \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} =$$

$$= V \cdot \frac{8 \cdot 5}{17 \cdot 3} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 5}{17 \cdot 3} = \frac{160}{3} \text{ м/с} \approx 53,3 \text{ м/с}$$

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

$$|\vec{V}_{\text{отн}}| = \sqrt{V^2 + V^2 - 2VV \cos(\alpha + \beta)} \approx 66 \text{ м/с}$$

3) Сила натяжения нити обеспечивает центростремительную силу:

$$T \sin \beta = \frac{mV^2}{R} \Rightarrow T = \frac{mV^2}{R \sin \beta} = \frac{0,1 \cdot \frac{256}{9}}{1,9 \cdot \frac{3}{5}} \approx 0,2 \text{ Н}$$

Ответ: 1) $V = 53,33 \text{ м/с}$
2) $V_{\text{отн}} = 66 \text{ м/с}$
3) $T = 0,2 \text{ Н}$

4) Дано:

$$E = 9 \text{ В}$$

$$C = 40 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 5 \text{ В}$$

$$L = 0,1 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

Решение:

1) Вследствие явления самоиндукции

При замыкании ключа напряжение, создаваемое источником, поначалу равно нулю, и напряжение на диоде вначале $< U_0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ ток не течет и остается равным нулю.

$$\text{Ответ: } I'(t) = 0 \text{ А/с}$$

2) Закон сохранения энергии при замыкании ключа:

$$E \cdot q(t) = \frac{(CU_1 + q(t))^2}{2C} + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2} + U_0 \cdot q(t) - \frac{CU_1^2}{2}$$

$$I(q) = \sqrt{\frac{2(E - U_0)q}{L} - \frac{C^2U_1^2 + 2CU_1q + q^2 + CU_1^2}{CL}}$$

$$I'(q) = \frac{\frac{2(E - U_0)}{L} - \frac{2U_1}{L} - \frac{2q}{CL}}{2\sqrt{I(q)}} = 0 \Rightarrow q = (E - U_0)C - U_1C \quad \text{Ⓢ}$$

1) Найти: $I'(t)$
2) Найти: I_{max}
3) Найти: U_2

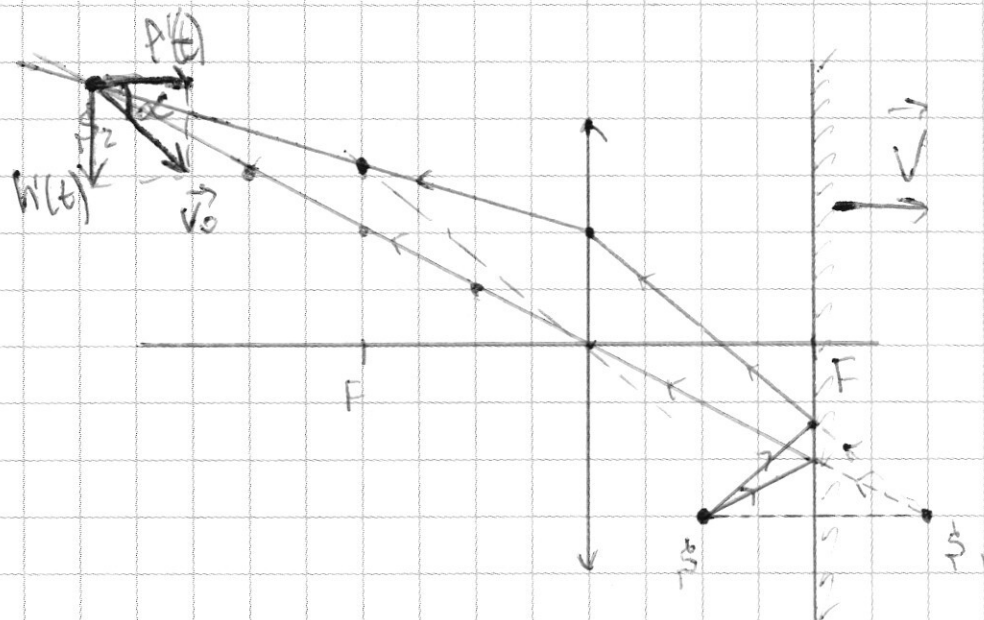
Я не затеряла!
попытайся решить,
ты решишь!

~~2) Максимальный ток~~ $\Rightarrow I_{\max} = I(q) = \sqrt{\frac{2(E-U_0)q}{L} - \frac{(CU_0 + q)^2}{8L} + \frac{U_0^2}{L}}$
 $= \sqrt{\frac{2(E-U_0) \cdot ((E-U_0)C - U_0 C)}{L} - \frac{(E-U_0)^2 C^2}{CL} + \frac{CU_0^2}{L}}$
 $I_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8 \cdot (8 \cdot 4 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5} \cdot 4)}{0,1} - \frac{64 \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{0,1} + \frac{100 \cdot 10^{-4}}{0,1}}$
 $= 6 \cdot 10^{-2} \text{ A} = 60 \text{ mA}$

3) В установившемся режиме конденсатор зарядится и ток в цепи не будет. Напряжение на конденсаторе будет равно $E - U_0 = 8 \text{ В}$

Ответ: 1) 0; 2) $I_{\max} = 60 \text{ mA}$; 3) 8 В

5)



1) расстояние от частицы до зеркала $\frac{F}{2}$, значит, в формуле так же писать:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{2}{3F} + \frac{1}{F} \Rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{1}{F} = \frac{dF}{dF} = \frac{\frac{3}{2}F}{\frac{3}{2}F} = 3F$$

Ответ: $F = 3F$

2) Изображение движется в двух взаимноперпендикулярных направлениях: вдоль OO_1 и перпендик. OO_1 . Первое движение происходит со скоростью $P'(t)$, а второе — $h'(t)$

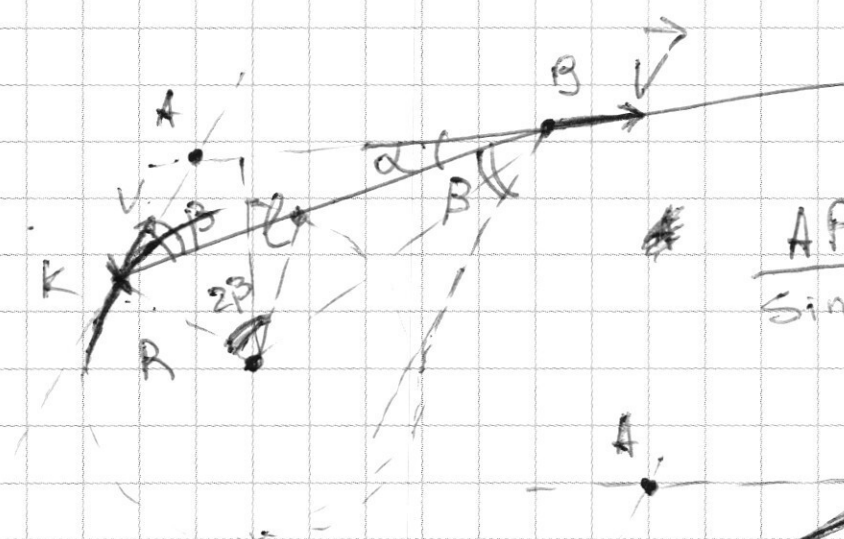
$$\bullet P(t) = \frac{d(t) \cdot F}{d(t) - F} = \frac{3F^2 + 4FVt}{F + 2FVt} \Rightarrow P'(t) = \frac{-8F^2V}{(F + 4Vt)^2} \Rightarrow P'(0) = -8V$$

$$\bullet h(t) = h \cdot P(t) = \frac{3F}{4} \cdot \frac{P(t)}{d(t)} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{F}{d(t) - F} = \frac{3F^2}{2F + 8Vt} \Rightarrow h'(t) = \frac{-24F^2V}{(2F + 8Vt)^2} \Rightarrow$$

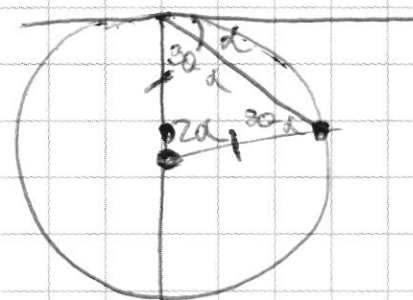
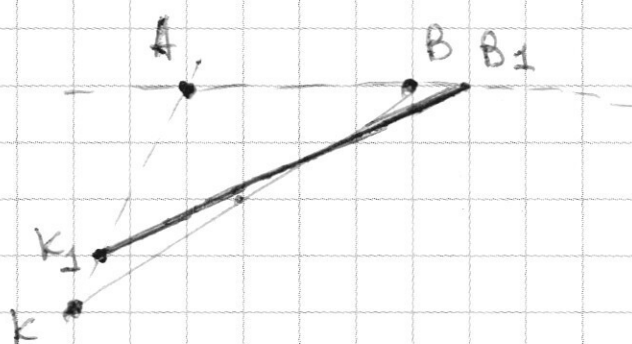
$$\Rightarrow h'(0) = -6V \Rightarrow \tan \alpha = \frac{h'(0)}{P'(0)} = \frac{3}{4}$$

Ответ: $\alpha = \arctg \frac{3}{4}$

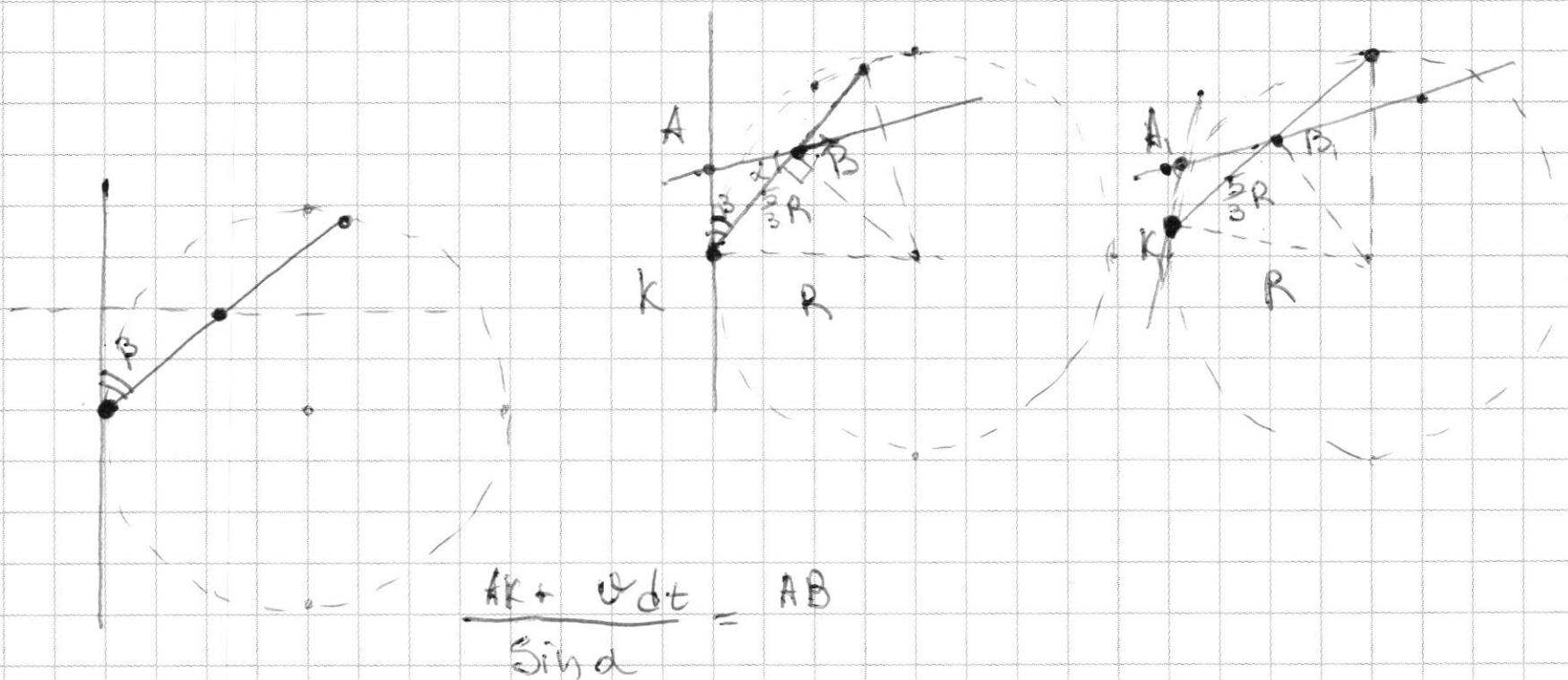
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



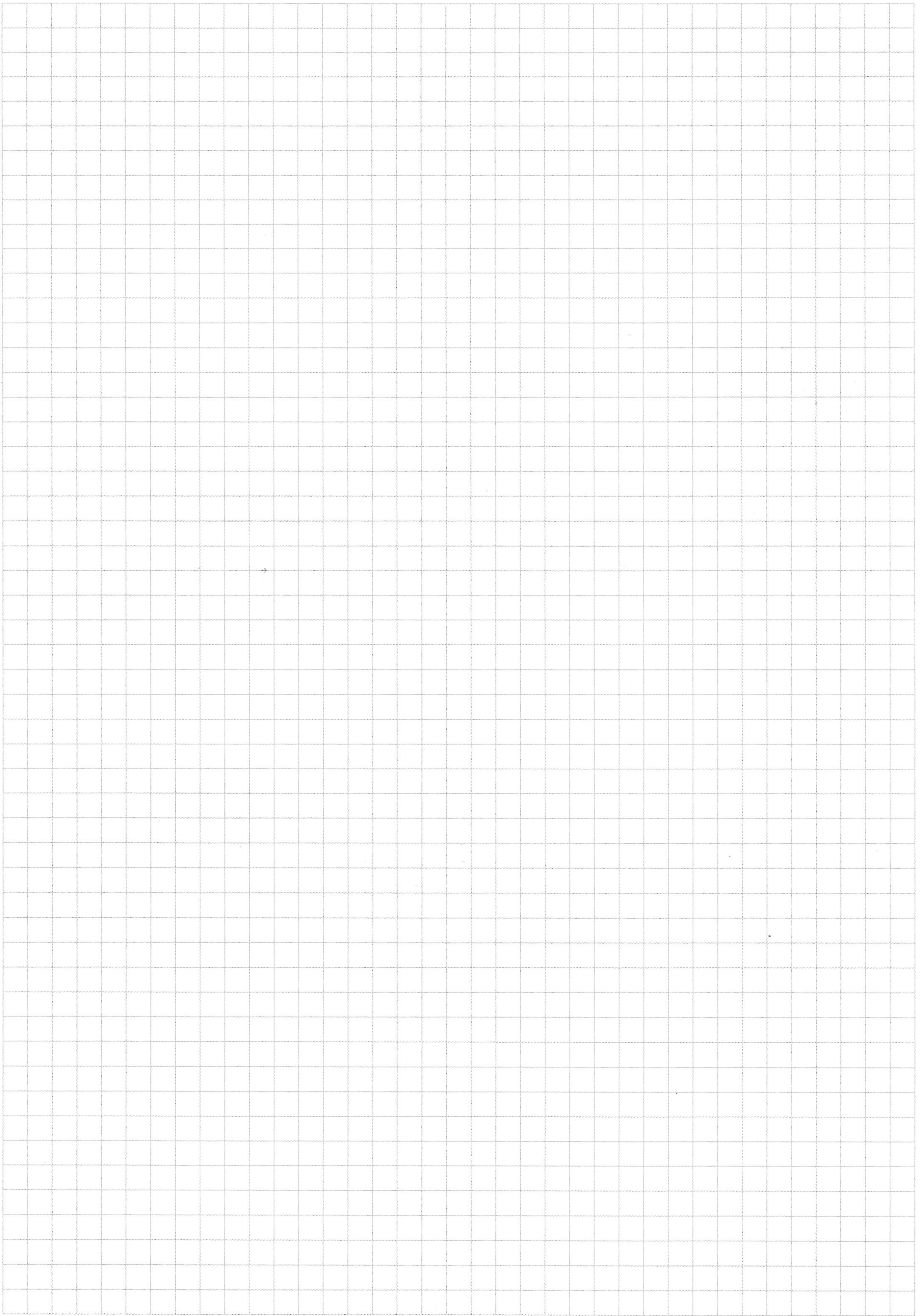
$$\frac{AB}{\sin \beta} = \frac{AK}{\sin \alpha} = \frac{BR}{\sin(\alpha + \beta)}$$



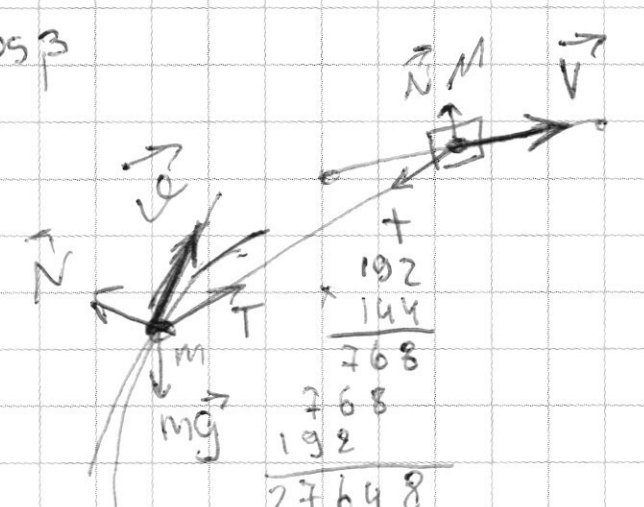
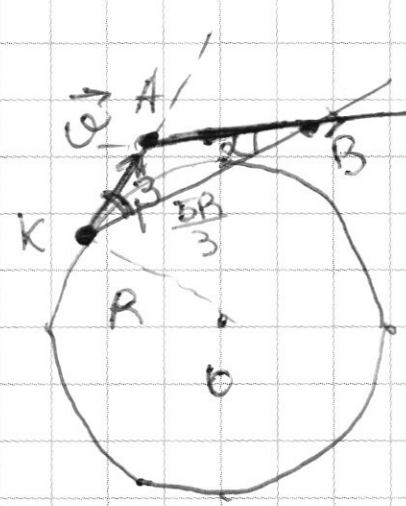
$$2R \sin \beta = 2R \cdot \frac{3}{5} = \frac{6}{5} R$$



$$\frac{AK + \omega dt}{\sin \alpha} = AB$$



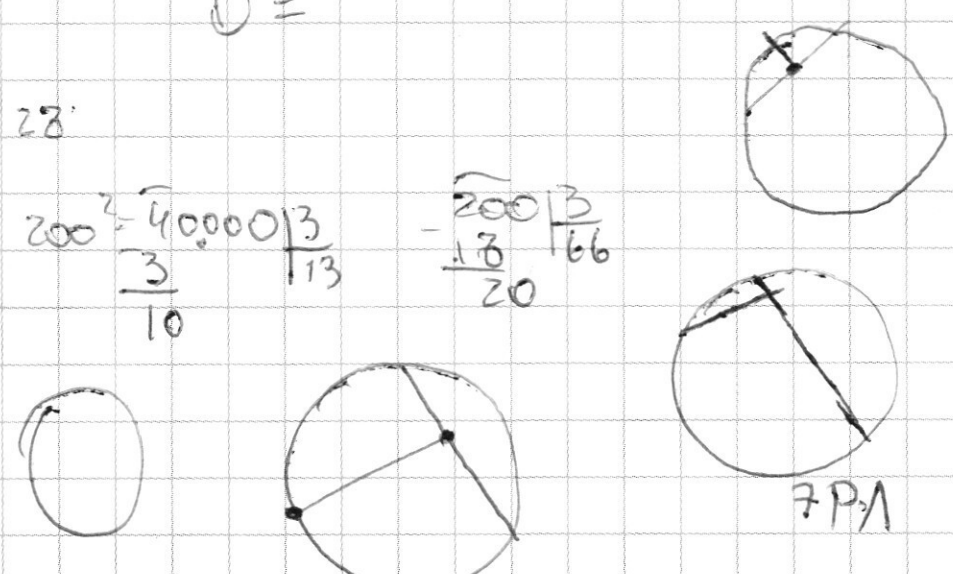
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$T \cos \beta$

 $\vec{v} = \vec{V} + \vec{\omega} \times \vec{r}$


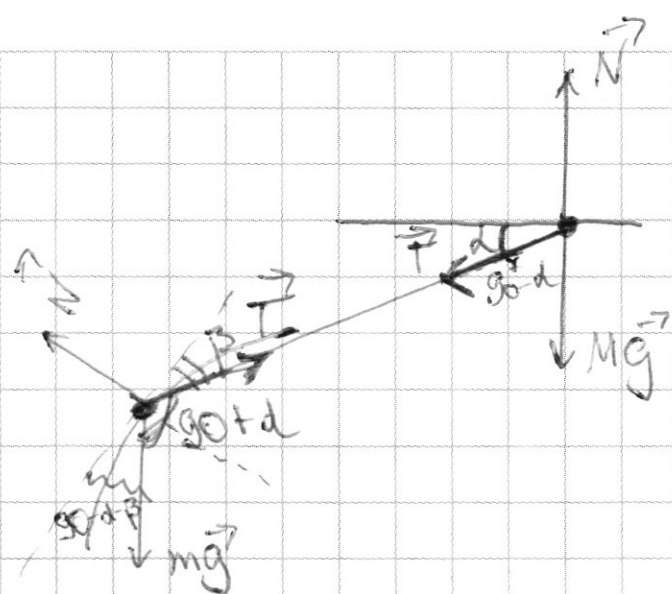
$AB = AB_0 + Vt$
 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{289 - 225}}{17} = \frac{8}{17}$
 $\sin \beta = \frac{3}{5}$
 $\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{36}{85}$
 $68^2 = 3600 + 64 + 960 = 4624$

$AB(t) = \frac{BK}{\sin \beta} = \frac{BK}{\sin(\alpha + \beta)}$
 $AB = \frac{BK}{3}$
 $\frac{AB(t)}{\sin \beta} = \frac{AK(t)}{\sin \alpha} = \frac{BK}{\sin(\alpha + \beta)}$
 $AB_0 = BK \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$
 $AK(t) = BK \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$
 $AK'(t) = V \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
 $\omega = 68 \cdot \frac{8 \cdot 5}{17 \cdot 3} = \frac{160}{3} \text{ рад/с}$

$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{V} - \vec{\omega}$
 $v_{\text{отн}} = \sqrt{V^2 + \omega^2 - 2V\omega \cos(\alpha + \beta)}$
 $v_{\text{отн}} = \sqrt{68^2 + \left(\frac{160}{3}\right)^2 - 2 \cdot 68 \cdot \frac{160}{3} \cdot \frac{36}{85}} = \sqrt{4624 \cdot 9 + 25600 - \frac{2 \cdot 68 \cdot 160 \cdot 3 \cdot 36}{85}}$
 $= \sqrt{36000 + 5400 + 180 + 36 + 25600 - 192 \cdot 144} = \sqrt{41400 + 216 + 25600 - 27648}$
 $= \sqrt{\frac{39578}{3}} = \sqrt{7 \cdot 5654} = \sqrt{14 \cdot 2827} = \sqrt{14 \cdot 11 \cdot 257} = 13 \cdot 11 = 143$
 $143 + 12 = 155$
 $155 \cdot 19 = 2945$
 $2945 \cdot 5 \cdot 0.1 = 1472.5$
 $\frac{1125}{5.7} \approx 197.37$



3)



$$T \cos \beta = mg \sin(\alpha + \beta)$$

2)

$$1) C_{12} = C_v = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = \frac{3}{2} R$$

$$C_{23} = C_p = \frac{\frac{3}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V}{\nu \Delta T} = \frac{5}{2} \frac{\nu R \Delta T}{\nu \Delta T} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{12}} = \frac{5}{3}$$

$$B_K = B_1 K_1$$

2)

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$$

$$A_{23} = p \Delta V = \nu R \Delta T$$

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

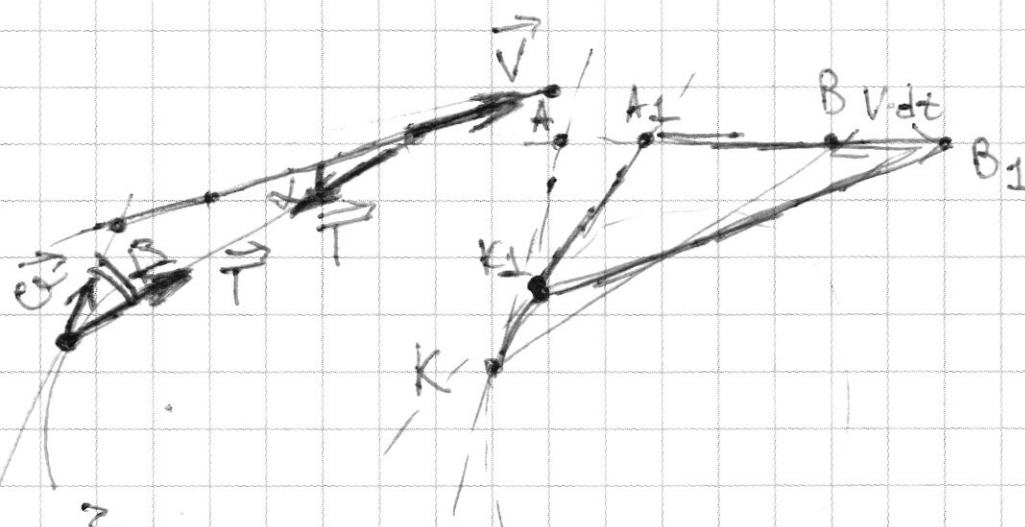
3)

$$\eta = \frac{dA_{\text{max}}}{dQ}$$

$$\eta_{12} = 0$$

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

$$\eta_{13} = \frac{\frac{\alpha}{2} (V_3^2 - V_1^2)}{\frac{5}{2} \cdot \frac{\alpha}{2} (V_3^2 - V_1^2)} = \frac{2}{5}$$



3)



$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$r = g \frac{I^2}{2}$$

$$\frac{3}{4} d = a \frac{I^2}{2}$$

$$C = \frac{S}{\epsilon_0 d}$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{C d} = \frac{\epsilon_0 Q}{S}$$

$$\frac{3}{4} d = \frac{V_1 T}{2}$$

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

$$V_2 = V_1$$

$$E q = m a$$

$$a = \frac{F q}{m} = E q = \frac{\epsilon_0 Q q}{S}$$

$$\frac{3}{4} d = \frac{\epsilon_0 Q q}{S} \cdot \frac{I^2}{2}$$

$$Q = \frac{3 d S}{2 \epsilon_0 q T^2}$$

$$\begin{aligned} 3.9 \cdot 2.9 \\ 12.16 \\ 144 + 400 \\ = 192 \end{aligned}$$

