

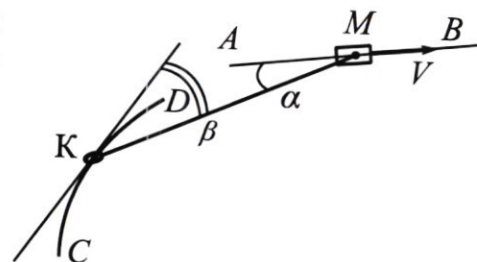
Олимпиада «Физтех» по физике

Класс 11

Вариант 11-03

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вложенного задания не проверяются.

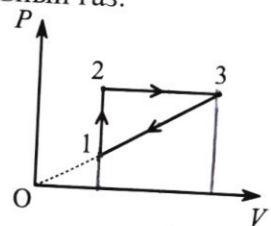
1. Муфту M двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей AB (см. рис.). Кольцо массы $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной 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.



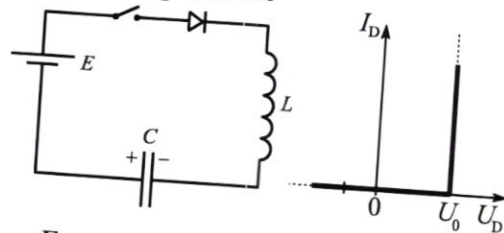
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица 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.

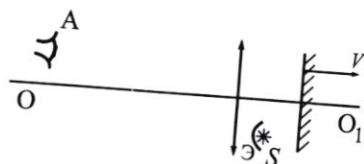
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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 $\mathcal{E}$, 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 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 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

№1.

Дано: $v = 34 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $m = 0,3 \text{ м}$; $\cos \alpha = \frac{15}{17}$; $\cos \beta = \frac{3}{5}$
 $l = \frac{5R}{4}$

Опред: v_1 ; v_2 ; T

1) Запишем условие неразрывности нити:

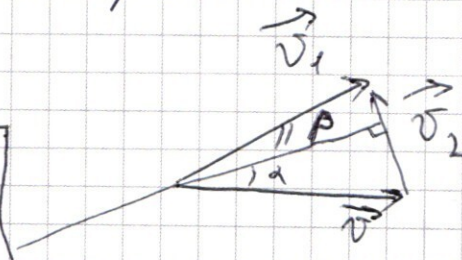
$$v \cdot \cos \alpha = v_1 \cdot \cos \beta$$

$$\boxed{v_1} = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{34 \cdot 15 \cdot 5}{17 \cdot 3} = \boxed{50 \frac{\text{см}}{\text{с}}}$$

2) По правилу сложения скоростей

$$\vec{v}_1 = \vec{v}_2 + \vec{v}$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + v^2 - 2v_1 v \cos(\alpha + \beta)}$$



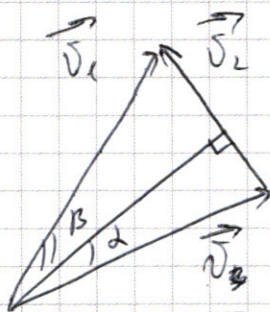
$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{3}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} = \frac{9}{17} - \frac{32}{17 \cdot 5} = \frac{13}{17 \cdot 5}$$

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

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

$$v_2 = \sqrt{50^2 + 34^2 - 2 \cdot 50 \cdot 34 \cdot \frac{13}{17 \cdot 5}} =$$

$$v_2 = \sqrt{2500 + 34^2} = 40,13$$



$$v_1 \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_2 = v_1 \cdot \sin \beta + v \cdot \sin \alpha$$

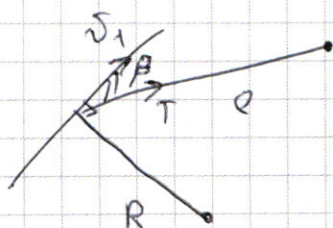
$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \frac{4}{5}$$

$$v_2 = \frac{50 \cdot 4}{5} + \frac{34 \cdot 8}{17} =$$

$$= 40 + 16 = 56 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

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

3)



Запишем 2-ой закон Ньютона

$$m a_n = T \cdot \sin \beta$$

$$T = \frac{m a_n}{\sin \beta} = \frac{m v_1^2}{R \cdot \sin \beta}$$

$$T = \frac{m \cdot v_1^2}{R \cdot \sin \beta} = \frac{0,3 \cdot 50^2 \cdot 5}{0,53 \cdot 4}$$

$$m a_n = T$$

$$\frac{m v_1^2 \cdot \sin^2 \beta}{R} = T$$

$$T = \frac{0,3 \cdot 50^2 \cdot 4^2 \cdot 4}{5^3 \cdot 0,53 \text{ м}} = \frac{0,3 \cdot 4^3 \cdot 10^2}{5 \cdot 0,53} =$$

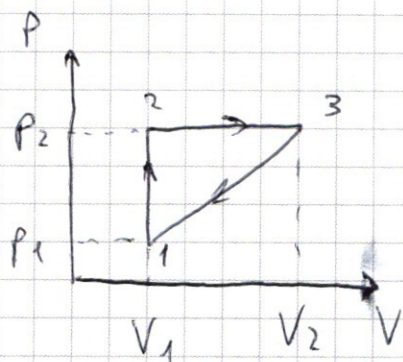
$$= \frac{0,3 \cdot 4^3 \cdot 0,01}{5 \cdot 0,53} = \frac{19,2 \cdot 0,01}{5 \cdot 0,53} =$$

$$= \frac{0,192}{5 \cdot 0,53} = \frac{0,192}{2,65} \text{ Н} = 0,072 \text{ Н}$$

$$T = 0,072 \text{ Н}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2



1) Повышение температуры произошло
на участках $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$, т.е.
 $P \cdot V \uparrow$

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

$$3) Q_{23} = P_2 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$4) P_1 = k V_1; P_2 = k V_2$$

$$5) P_1 V_1 = \nu R T_1; P_2 V_1 = \nu R T_2; P_2 V_2 = \nu R T_3.$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{P_2 V_1}{\nu R} - \frac{P_1 V_1}{\nu R} \right) = \frac{3}{2} (P_2 V_1 - P_1 V_1)$$

$$Q_{23} = P_2 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) =$$

$$= \frac{5}{2} (P_2 V_2 - P_2 V_1) = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)$$

$$\frac{Q_{12}}{Q_{23}} = \frac{\frac{3}{2} (P_2 V_1 - P_1 V_1)}{\frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)} = \frac{3}{5} \frac{-V_1^2 + V_1 V_2}{V_2^2 - V_1 V_2} =$$

$$= \frac{3}{5} \frac{V_1 (V_1 - V_2)}{V_2 (V_2 - V_1)}$$

$$= \frac{3}{5} \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q_{12} = C_{12} \cdot \nu (T_2 - T_1)$$

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

$$\frac{3}{5} \frac{V_1 (V_1 - V_2)}{V_2 (V_2 - V_1)} = \frac{C_{12}}{C_{23}} \cdot \frac{P_2 V_1 - P_1 V_1}{P_2 V_2 - P_2 V_1} = \frac{C_{12}}{C_{23}} \frac{k \cdot V_1 V_2 - V_1^2}{k \cdot V_2^2 - V_1 V_2}$$

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

$$6) \quad \frac{\Delta U}{A} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (\bar{T}_3 - \bar{T}_2)}{p_2 (V_3 - V_1)} = \frac{\frac{3}{2} \frac{p_2 V_3 - p_2 V_1}{p_2}}{p_2 (V_3 - V_1)} = \frac{3}{2}$$

$$\frac{\Delta U}{A} = \frac{3}{2}$$

$$7) \quad \eta = \frac{A}{Q} ; \quad A = \frac{1}{2} p_2 (V_3 - V_1) (p_2 - p_1)$$

В конт. во теплоота полученное в процессе $3 \rightarrow 1$ отрицательное $\Rightarrow$ газ отдает тепло.

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} (kV_1 V_2 - kV_1^2) + \frac{5}{2} k(V_2^2 - V_1 V_2)$$

$$= \frac{5}{2} kV_2^2 - \frac{3}{2} kV_1^2 - kV_1 V_2$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{5kV_2^2 - 3kV_1^2 - 2kV_1 V_2} = \frac{kV_2^2 - kV_1 V_2 + kV_1^2 - kV_1 V_2}{5kV_2^2 - 3kV_1^2 - 2kV_1 V_2} =$$

$$= \frac{V_2^2 + V_1^2 - 2V_1 V_2}{5V_2^2 - 3V_1^2 - 2V_1 V_2} = \frac{(V_2 - V_1)^2}{5V_2^2 - 3V_1^2 - 2V_1 V_2} =$$

$$= \frac{(V_2 - V_1)^2}{(V_2 - V_1)^2 + 4(V_2^2 - V_1^2)}$$

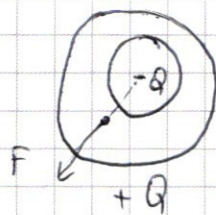
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

Дано: S ; $\gamma = \frac{191}{m}$; d ; v_1

Искать: T ; Q ; v_2 .

1)



Запишем теорему Гаусса.

$$E \cdot 2\pi r \cdot l = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

2) Второй закон Ньютона:

$$ma = |q|E$$

$$r_0 = R + 0,3d$$

$$a = \gamma E$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot 2\pi r l} = \frac{Q}{\epsilon_0 \frac{R}{S} l}$$

$$l = \frac{S}{2\pi R}$$

$$2) E = \frac{Q R}{\epsilon_0 S r}$$

$$\Delta\varphi = + \frac{Q R}{\epsilon_0 S} \int_{R+0,3d}^{R+d} \frac{dr}{r}$$

$$\varphi = + \int \frac{Q R}{\epsilon_0 S r} dr = \frac{Q R}{\epsilon_0 S} \ln \frac{R+d}{R+0,3d}$$

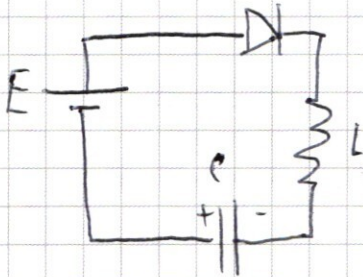
3-й закон сохранения энергии.

$$\frac{m v_1^2}{2} = |q| \Delta\varphi$$

$$v_1^2 = \frac{2\gamma Q R}{\epsilon_0 S} \ln \frac{R+d}{R+0,3d}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

24.



1) сразу после замыкания ключа:

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

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

$$\boxed{\dot{I}} = \frac{E + U_1 - U_0}{L} = \frac{7 \text{ В}}{0,1 \text{ Гн}} = \boxed{70 \frac{\text{А}}{\text{с}}}$$

2) когда ток максимален, то $\frac{dI}{dt} = 0$

$$E = U_0 + U_c \Rightarrow U_c = 5 \text{ В}$$

$$q_c = U_c \cdot C; \quad q_1 = U_1 \cdot C$$

3) запишем 3-и сохр. энергии:

$$(q_c + q_1) E = \frac{L I_m^2}{2} + \frac{C U_c^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} + U_0 (q_c + q_1)$$

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

$$2CE^2 + 2CEU_1 - 2CEU_0 + CU_1^2 - CE^2 - CU_0^2 + 2CEU_0 = L I_m^2$$

$$\frac{CE^2 + 2CEU_1 + CU_1^2 - CU_0^2}{L} = I_m^2$$

$$I_m = \sqrt{\frac{((E + U_1)^2 - U_0^2) C}{L}} = \sqrt{\frac{(64 - 1) \cdot 40 \cdot 10^{-6}}{0,1}}$$

$$E = U_0 + U_2 \Rightarrow \boxed{U_2 = 5 \text{ В}}$$

3) Запишем 3-и сохр. энергии.

$$(q_c + q_1) E = \frac{L I_m^2}{2} + \frac{C U_c^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} + (q_c + q_1) U_0$$

$$2(q_c + q_1)(E - U_0) = L I_m^2 + C(E - U_0)^2 - C U_1^2$$

$$2(E - U_0 + U_1)(E - U_0) = L I_m^2 + C(E - U_0)^2 - C U_1^2$$

$$L I_m^2 = C(E - U_0 + U_1)^2$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L}} \cdot (E - U_0 + U_1) = 7 \cdot \sqrt{\frac{40 \cdot 10^{-6}}{0,1}} =$$

$$= 7 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,14 \text{ A.}$$

4) В уст. режиме ток в цепи отсутствует $\Rightarrow$

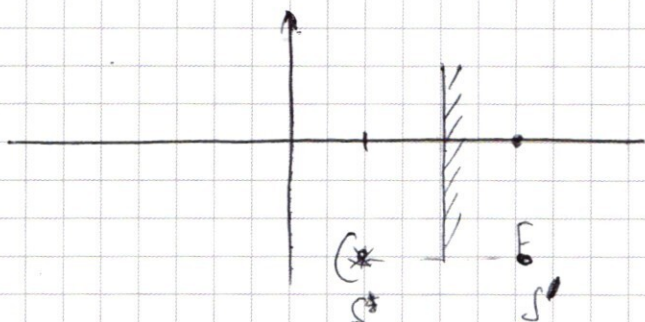
$$E = U_0 + U_2$$

$$U_2 = 5 \text{ В}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

Дано: $X_0 = \frac{3}{4} F$; $d_0 = \frac{F}{4}$; $y_0 = \frac{3}{4} F$



1) расстояние между
зеркалом и источником
 $a = \frac{F}{2}$

2) изображение источника в зеркале будет на расстоя-
нии $d_1 = \frac{3}{4} F + \frac{F}{2} = \frac{5}{4} F$

3) Ватим формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_1} \Rightarrow \boxed{f_1} = \frac{d_1 F}{d_1 - F} =$$

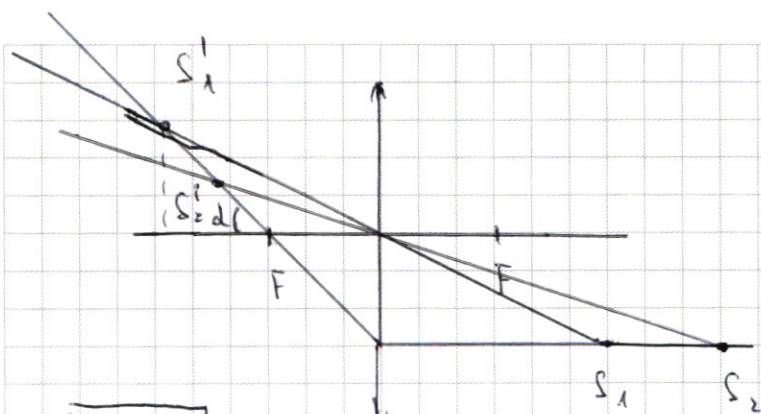
$$= \frac{\frac{5}{4} F^2}{\frac{1}{4} F} = \boxed{5 F}$$

4) $\Gamma_{\perp}$ - поперечное увеличение: $\Gamma_{\perp} = \frac{f_1}{d_1} =$

$$= 4; \Gamma_{\parallel} - \text{продольное ув-ние}$$

$$\Gamma_{\parallel} = \Gamma_{\perp}^2 = 16.$$

v' - скорость изображения в зеркале.
 $v' = 2 v.$



$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\Gamma_{\perp} \cdot \frac{3}{4} F}{f_1 - F} = \frac{3F}{4F} = \boxed{\frac{3}{4}}$$

$$5) \quad v_{\parallel} = \Gamma_{\parallel} \cdot v' = 2v \cdot \Gamma_{\parallel} = 32v$$

$$v_{\perp} = v_{\parallel} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{32}{4} \cdot 3v = 24v$$

$$v_0 = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2} = 8v \sqrt{16 + 9} = 40v.$$

v_0 - скорость движения изображения в линзе

$$\boxed{v_0 = 40v}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

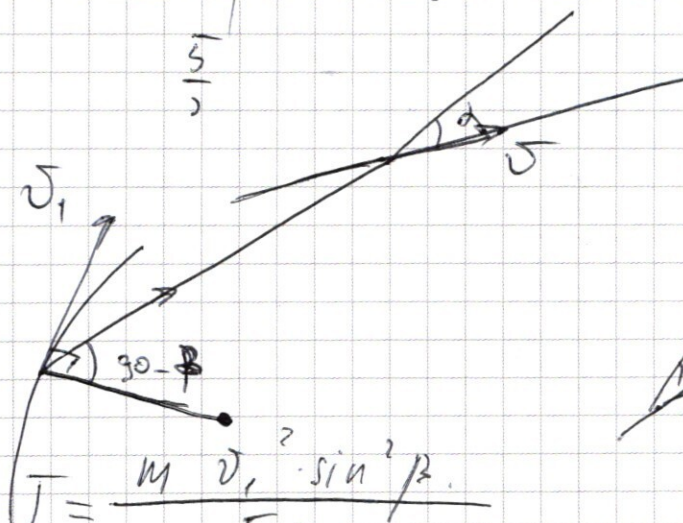
$$Q = (p_1 + p_2) \frac{1}{2} (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} 2R(T_1 - T_2) =$$

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

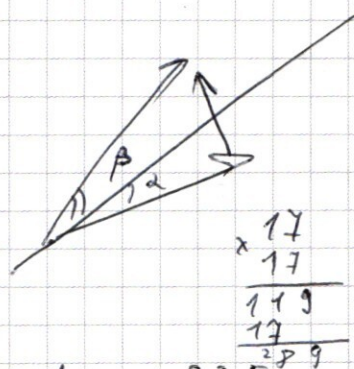
$$2Q = k V_1 V_2 + k V_2^2 - k V_1^2 - k V_1 V_2 + \frac{3}{2} k V_1^2 - \frac{3}{2} k V_2^2$$

$$\times \frac{64}{3} \\ \hline 192$$

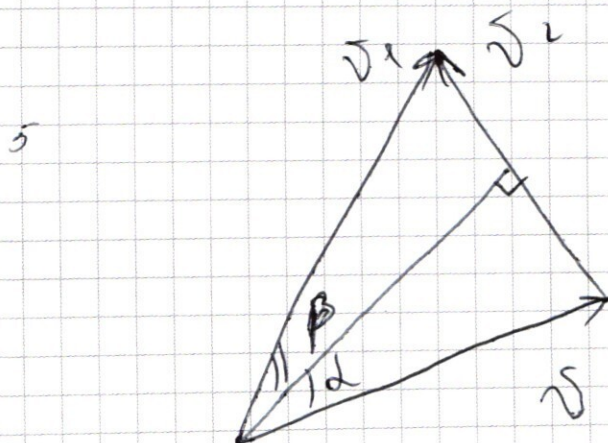
$$\frac{5}{2}$$



$$T = \frac{m v_1^2 \sin^2 \alpha}{R} \\ \frac{m v^2}{R} = \frac{5}{4} T \sin \alpha$$



$$\begin{array}{r} \times 17 \\ 17 \\ \hline 119 \\ 17 \\ \hline 289 \end{array} \\ 1 - 225 \\ \hline 288 - 225 \quad \frac{64}{14} \\ \hline 289$$

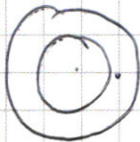


$$\begin{array}{r} 1920 \quad | \quad 265 \\ 1855 \quad | \quad 72 \\ \hline 650 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 265 \quad | \quad 265 \\ 6 \quad | \quad 1855 \\ \hline 1590 \end{array}$$

$$1920 \quad | \quad 265$$

$$S = 2\pi R \cdot e$$



$$S \cdot \frac{q}{m} = \gamma \quad ; \quad v_1$$

$$q = -\int E \cdot dr$$

$$E \cdot S = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

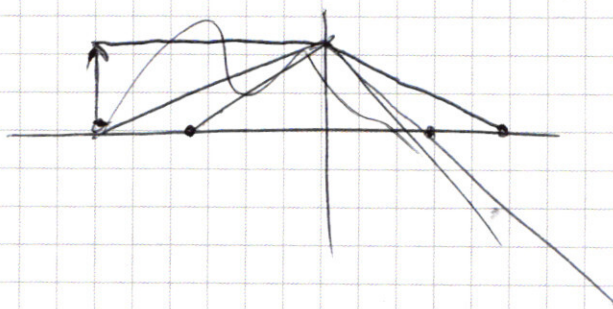
$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

q

$$ma = F_1$$

$$E \cdot 2\pi r \cdot e = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E \cdot q = ma$$



$v \cdot t$