

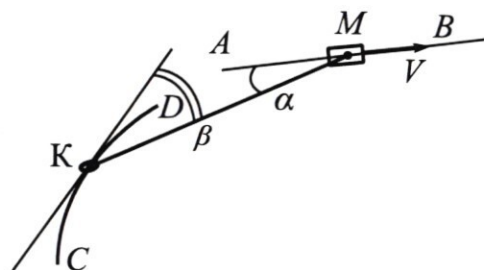
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-01

Класс 11

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

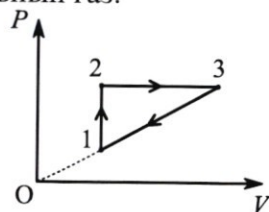
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной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



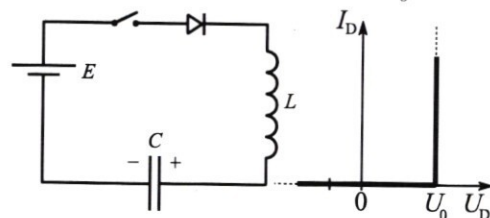
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица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

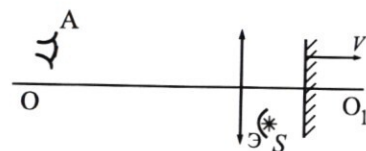
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

N 1

1) Т.к. мы не растягивали!

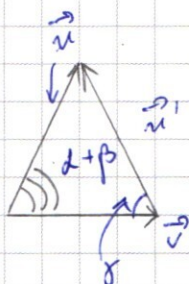
$$u_x = v_x$$

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

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

2) $\vec{v}_{\text{до с}} = \vec{v}_{\text{стн}} + \vec{v}_{\text{пер}}$ (з. сложение скоростей)

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



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

$$\sin \alpha = \frac{8}{17}$$

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

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{60 - 24}{17 \cdot 5} = \frac{36}{85}$$

$$u' = \sqrt{(75 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 + (68 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 - 2 \cdot 75 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{36}{85}} = \sqrt{75^2 + 68^2 - 36 \cdot 30 \cdot 4 \frac{\text{см}}{\text{с}}} = \sqrt{75^2 + 68^2 - 15 \cdot 36 \cdot 8} \frac{\text{см}}{\text{с}} = \sqrt{4624 + 1305} \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$\begin{array}{r} 68 \\ \times 68 \\ \hline 544 \\ + 4080 \\ \hline 4624 \end{array}$$

$$45(75 \cdot 5 - 36 \cdot 8) = 45(125 - 12 \cdot 8) = 45 \cdot (125 - 96) = 28 \cdot 45 = 30 \cdot 45 - 45 = 1350 - 45 = 1305$$

$$= \sqrt{5929} \frac{\text{см}}{\text{с}} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$\cos \gamma = \frac{v^2 + u^2 - u'^2}{2vu'} = \frac{(68 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 + (77 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2 - (75 \frac{\text{см}}{\text{с}})^2}{2 \cdot 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}} =$$

$$= \frac{68^2 + 2 \cdot 152}{2 \cdot 68 \cdot 77} = \frac{4624 + 304}{2 \cdot 68 \cdot 77} = \frac{4928}{17 \cdot 1068} = \frac{8}{17}$$

$$3) \vec{F}_2 = m\vec{a} \quad (II \text{ закон Ньютона})$$

$$\text{на ось } x: m a_x = T \cdot \cos \beta$$

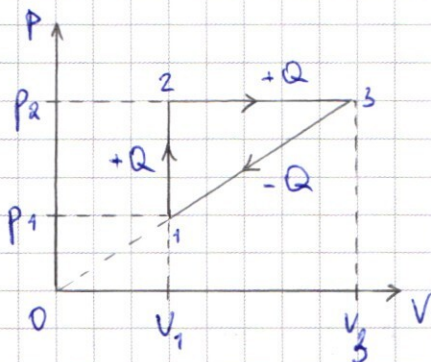
$$\text{на ось } n: m a_n = T \sin \beta - N$$

$$\text{Ответ: 1) } u = 75 \text{ см/с}$$

$$2) u' = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}, \text{ направлена под углом } \gamma = \arccos \frac{8}{17} \text{ к } (AB)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



$$\alpha = \frac{c_{12}}{c_{23}} = \frac{\frac{3}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{3}{5}$$

Введём обозначения V_1, V_2, P_1, P_2 ;
 T_i - температура в i -ом (см. рис.) состоянии

2) Газ получает тепло в процессах:

$$1 \rightarrow 2 - \text{изохора, } c_{12} = c_V = \frac{3}{2}R$$

$$2 \rightarrow 3 - \text{изобара, } c_{23} = c_P = \frac{5}{2}R$$

2) $pV = \nu RT$ (у-е Менделеева - Клапейрона)

$$Q = \Delta U + A_{\text{газа}} \quad (\text{I закон Т.Д.})$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} (\nu R T_3 - \nu R T_2) = \frac{3}{2} (p_2 V_3 - p_2 V_1) =$$

$$= \frac{3}{2} p_2 (V_3 - V_1)$$

$$A_{23} = p_2 (V_3 - V_1)$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} p_2 (V_3 - V_1) + p_2 (V_3 - V_1) = \frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_1)$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_1)}{p_2 (V_3 - V_1)} = \frac{5}{2}$$

$$3) \quad \eta = \frac{A_{\text{цикла}}}{Q_+}$$

$$A_{\text{цикла}} = S_{\text{внутри}} = \frac{1}{2} (V_3 - V_1) (p_2 - p_1)$$

$$Q_+ = Q_{12} + Q_{23} \quad Q_{12} = \frac{\nu}{2} R (T_2 - T_1) + \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) =$$

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

$$\eta = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{2 \left(\frac{5}{2} p_2 (V_3 - V_1) + \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) \right)} = \frac{(p_2 - p_1)(V_3 - V_1)}{5p_2 V_3 - 5p_2 V_1 + 3p_2 V_1 - 3p_1 V_1}$$

$$= \frac{p_2 V_3 - p_2 V_1 - p_1 V_3 + p_1 V_1}{5p_2 V_3 - 2p_2 V_1 - 3p_1 V_1}$$

$$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_3} \quad (\text{т.к. процесс } 1 \rightarrow 3 : p = k \cdot V)$$

$$\eta = \frac{p_2 \cdot V_3 - p_2 V_1 - p_2 \cdot \frac{V_1}{V_3} \cdot V_3 + p_2 \cdot \frac{V_1}{V_3} \cdot V_1}{5p_2 V_3 - 2p_2 V_1 - 3p_2 \frac{V_1}{V_3} \cdot V_1} = \frac{p_2 V_3 - 2p_2 V_1 + p_2 \cdot \frac{V_1^2}{V_3}}{5p_2 V_3 - 2p_2 V_1 - 3p_2 \frac{V_1^2}{V_3}}$$

$$= \frac{V_3^2 - 2V_1 V_3 + V_1^2}{5V_3^2 - 2V_1 V_3 - 3V_1^2}$$

Пусть $V_3 = dV_1$,

$$\eta = \frac{d^2 V_1^2 - 2d V_1^2 + V_1^2}{5d^2 V_1^2 - 2d V_1^2 - 3V_1^2} = \frac{d^2 - 2d + 1}{5d^2 - 2d - 3} = \frac{(d-1)^2}{(d-1)(5d+3)} = \frac{d-1}{5d+3}$$

$$= \frac{d + \frac{3}{5} - \frac{8}{5}}{5d+3} = \frac{1}{5} - \frac{1,6}{5d+3}$$

Максимальное возможное (в пределе) $\eta_{\max} = \frac{1}{5}$ или 20%

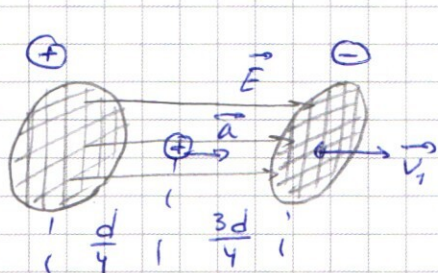
$$\eta_{\max} = \lim_{d \rightarrow \infty} \eta(d)$$

Ответ: 1) $C_{12} : C_{23} = 3 : 5$

2) $O_{23} : A_{23} = 5 : 2$

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$1) E = \frac{Q}{S \cdot \epsilon_0}$$

$$\vec{F}_E = m\vec{a} \quad (5 \text{ з. Ньютона})$$

$$qE = ma$$

$$a = qE = \frac{qQ}{S\epsilon_0}$$

$$\frac{aT^2}{2} = \frac{3d}{4}$$

$$v_1 = aT$$

$$\frac{qQT^2}{2S\epsilon_0} = \frac{3d}{4}$$

$$v_1 = \frac{qQ}{S\epsilon_0} \cdot T = \frac{q}{S\epsilon_0} \cdot \frac{3dS\epsilon_0}{2qT^2} \cdot T = \frac{3d}{2T}$$

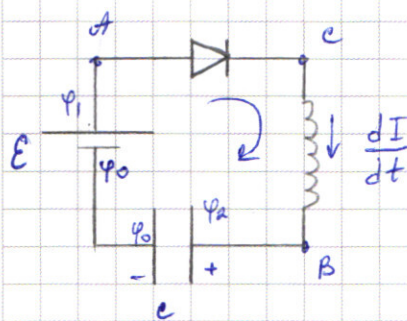
$$Q = \frac{3dS\epsilon_0}{2qT^2}$$

$$2) \frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + A_{поле} \quad (3. \text{с. 9.})$$

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2A_{поле}}{m}}$$

Ответ: 1) $v_1 = \frac{3d}{2T}$ 2) $Q = \frac{3dS\epsilon_0}{2qT^2}$

№4



$$I_{\varphi_0} = 0 \text{ В}$$

Тогда $\varphi_1 = E = 9 \text{ В}$ $\varphi_2 = U_1 = 5 \text{ В}$

$$1) U_{AB} = \varphi_1 - \varphi_2 = 9 \text{ В} - 5 \text{ В} = 4 \text{ В}$$

$$U_{AB} > U_0 \Rightarrow U_{AC} = U_0 = 1 \text{ В}$$

$$U_{CB} = (\varphi_1 - U_{AC}) - \varphi_B = (9 \text{ В} - 1 \text{ В}) - 5 \text{ В} = 3 \text{ В}$$

$$-U_{CB} = U_{\text{напряжение на катушке}} = -L \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_{CB}}{L} = \frac{3 \text{ В}}{0,15 \text{ м}} = 30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$2) I = \text{max} \Rightarrow \frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow U_L = 0, U_2 = E - U_0 = 9 \text{ В} - 1 \text{ В} = 8 \text{ В}$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = C U_2 - C U_1 = C (U_2 - U_1)$$

$$W_1 = \frac{C U_1^2}{2}$$

$$W_2 = \frac{C U_2^2}{2} + \frac{L I_{\text{max}}^2}{2}$$

$$\Delta W = A_{\text{ист}} \text{ (З.С.Э.)}$$

$$\frac{C U_2^2}{2} + \frac{L I_{\text{max}}^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} = C (U_2 - U_1) \cdot E$$

$$L I_{\text{max}}^2 = 2 E (U_2 - U_1) C + C (U_1^2 - U_2^2)$$

$$I_{\text{max}}^2 = \frac{(2 E - (U_1 + U_2)) (U_2 - U_1) C}{L} = \frac{4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф} (2 \cdot 9 \text{ В} - (5 \text{ В} + 8 \text{ В})) (8 \text{ В} - 5 \text{ В})}{0,15 \text{ м}}$$

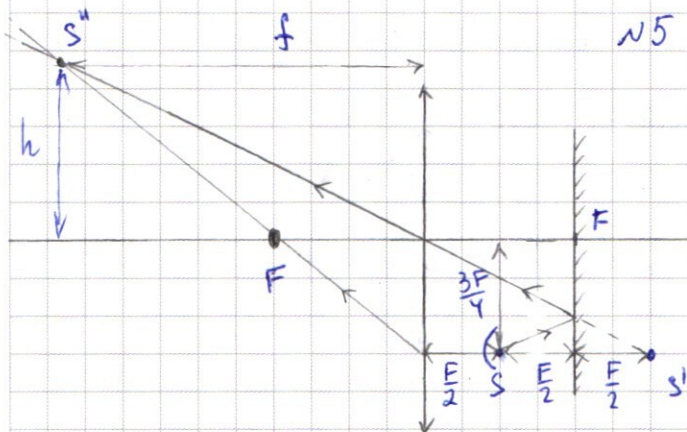
$$= \frac{5 \text{ В} \cdot 3 \text{ В} \cdot 4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}}{0,15 \text{ м}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ А}^2 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ А}^2$$

$$I_{\text{max}} = \sqrt{60 \cdot 10^{-4} \text{ А}^2} \approx 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ А} = 78 \text{ мА}$$

Примечание: при $U_C > U_2$
 $U_{\text{напряж}} < U_0 \Rightarrow$ он закрыва-
 ется и заряд на
 конденсатор перестает по-
 ступать $\Rightarrow U_2 = U_{\text{уст}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: 1) $\frac{dI}{dt} = 30 \frac{A}{c}$ 2) $I_{max} \approx 48 \text{ мА}$ 3) $U_{уст} = 8 \text{ В}$



Путь лучей такой же,
как если бы мы помести-
ли на место S' источ-
ник и убрали экран и
зеркало. В таком слу-
чае $d = \frac{3F}{2}$

1) $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ (ф-ла тонкой линзы)

$$\frac{2}{3F} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

$$h = \frac{3F}{4} \cdot \frac{f}{d} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{3F}{\frac{3F}{2}} = \frac{3F}{2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{2}{3F} = \frac{3-2}{3F} = \frac{1}{3F}$$

$$f = 3F$$

2) Рассмотрим смещение зеркала на ^{малое} расстояние $x \ll F$.

S' сместится на $2x \Rightarrow d_1 = d + 2x = 1,5F + 2x$

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F}$$

$$f_1 = \frac{d_1 F}{d_1 - F} = \frac{(1,5F + 2x) F}{1,5F + 2x - F} = \frac{(1,5F + 2x) F}{0,5F + 2x} = \frac{1,5F^2 + 6xF - 4xF}{0,5F + 2x}$$

$$= 3F - \frac{4xF}{0,5F + 2x} = f - \frac{4xF}{0,5F + 2x}$$

брось $2x$ в знаменателе

$$f_1 = f - 8x$$

При $x \ll F$ можно прене-

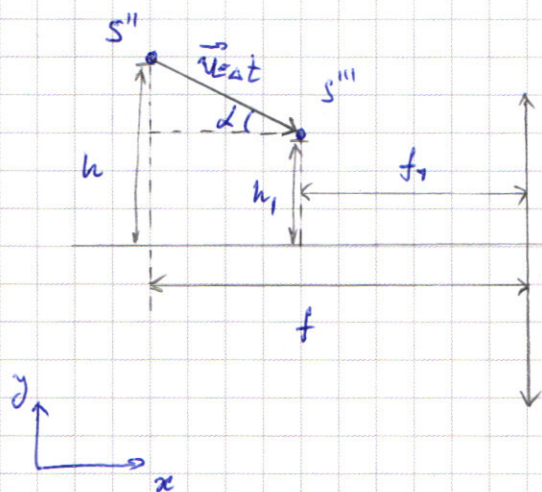
$$\frac{h_1}{\frac{3F}{4}} = \frac{f_1}{d_1}$$

$$h_1 = \frac{3F}{4} \cdot \frac{3F - 8x}{1,5F + 2x} = \frac{9F^2 - 24Fx}{6F + 8x}$$

При $x \ll F$ можно пренебречь $8x$ в знаменателе.

$$h_1 = \frac{3F}{2} - 4x = h - 4x$$

Рассмотрим перемещение изображения $S'' \rightarrow S'''$.



$$\Delta x = f - f_1 = f - (f - 8x) = 8x$$

$$\Delta y = h - h_1 = h - (h - 4x) = 4x$$

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} = \arctg \frac{1}{2}$$

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \sqrt{64x^2 + 16x^2} = 4\sqrt{5}x$$

$$x = v \cdot \Delta t$$

$$\Delta r = u \cdot \Delta t$$

$$u \cdot \Delta t = 4\sqrt{5} v \cdot \Delta t$$

$$u = 4\sqrt{5} v$$

Ответ: 1) $f = 3F$

$$2) \alpha = \arctg \frac{1}{2}$$

$$3) u = 4\sqrt{5} \cdot v$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$a_n = \frac{T \cos \beta}{m}$
 $a_n = T \sin \beta - N$

$\int \frac{kQ_2}{r^2} \cdot dx =$
 $= -\frac{kQ_2}{r} \Big|_0^\infty =$

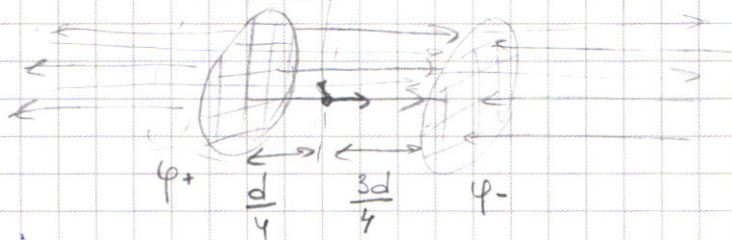
$\int (a^2 + b^2 + 2ab \cos(\alpha + \beta)) = l^2$
 $(a - dx)^2 + (b + dy)^2 + 2(a - dx)(b + dy) \cos(\alpha + \beta) = l^2$
 $a^2 - 2a \cdot dx + b^2 + 2b \cdot dy + 2(ab + a dy - b dx) \cos(\alpha + \beta) = l^2$
 $a^2 - 2a dx + b^2 + 2b dy + 2ab \cos(\alpha + \beta) + 2(a dy - b dx) \cos(\alpha + \beta) = l^2$
 $b dy - a dx + (a dy - b dx) \cos(\alpha + \beta) = 0$
 $b dy - a dx + a dy \cdot \cos(\alpha + \beta) - b dx \cos(\alpha + \beta) = 0$

$\sqrt{1 + \frac{51}{40} \cos(\alpha + \beta)} = u (\cos(\alpha + \beta) + \frac{51}{40})$
 $\left(\frac{36}{85} \cdot \frac{51}{40} + 1\right) u = u \left(\frac{36}{85} + \frac{51}{40}\right)$
 $\frac{(p_2 - p_1)}{(V_3 - V_1)} =$
 $\frac{427}{400} V_2 =$
 $= \frac{36 \cdot 8 + 51 \cdot 17}{8 \cdot 8 \cdot 17} u = \frac{V_3 - V_1}{3V_1 + 5V_3 - 5V_1} = \frac{V_3 - V_1}{5V_3 - 2V_1} = \frac{(2-1)V_1}{(5-2)V_1} = \frac{2-1}{5-2} =$
 $u = \frac{427 \cdot 17}{10(36 \cdot 8 + 51 \cdot 17)} V$
 $2x = 2 \cdot \frac{5}{16} x^2$
 $2x = 2 \cdot \frac{5}{16} x^2$
 $x = \frac{3}{4} R$
 $a = \frac{51}{40} g$
 $\frac{3}{5a} = \frac{8}{6 \cdot 17}$

$Q_{12} = \frac{3}{2}(p_2 - p_1) V_1$
 $\frac{2}{5} - \frac{3}{5}$

$a_n = \frac{R}{u^2}$
 $a_n = T \sin \beta - N$

$$q(\varphi^+ - \frac{dE}{8}) + q(\varphi^- + \frac{3d}{8}E) = \frac{mv_1^2}{2} + (\varphi^+ - \frac{dE}{8})q + (\varphi^- + \frac{3d}{8}E)q = \frac{mv_2^2}{2}$$



$$U = \frac{3d}{4} \cdot E = \frac{3d}{4} \cdot \frac{Q}{S \cdot \epsilon \epsilon_0}$$

$$\frac{3d}{4} \cdot \frac{Q}{S \cdot \epsilon \epsilon_0} \cdot q = A = \frac{mv_1^2}{2}$$

$$\varphi(r) = \frac{kQ}{r}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{Q \cdot \gamma}{S \cdot \epsilon \epsilon_0} \cdot \frac{3d}{2}}$$

$$F = Eq = ma$$

$$a = \gamma E$$

$$\frac{aT^2}{2} = V_1$$

$$\int \frac{kQ}{r^2} \cdot dr = \int \gamma E \cdot dr$$

$$q \cdot \varphi_0 = q \cdot \varphi^- + \frac{mv^2}{2}$$

$$\gamma \varphi_0 = \varphi^- \cdot \gamma + \frac{v_1^2}{2}$$

$$\varphi_0 = \varphi^- + \frac{3d}{4} \cdot E$$

$$\gamma(\varphi^- + \frac{3d}{4}E) = \varphi^- \cdot \gamma + \frac{v_1^2}{2}$$

$$\frac{382E}{2 \cdot \gamma} = \frac{v_1^2}{2}$$

$$\frac{382^2}{4T^2} = \frac{382}{2} \cdot \frac{Q}{S \cdot \epsilon \epsilon_0}$$

$$\varphi^- +$$

$$\Phi = E \cdot S \cdot 2$$

$$\Phi = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$\frac{Q}{\epsilon \epsilon_0} = E \cdot S \cdot 2$$

$$E = \frac{Q}{2S \epsilon \epsilon_0}$$

$$J_H \cdot T_H = D_{max}$$

$$= B \cdot A \cdot c$$

$$J_H = \frac{B \cdot c}{A} \quad E =$$

$$\begin{array}{r} 75 \\ \times 75 \\ \hline 375 \\ 525 \\ \hline 5625 \end{array}$$

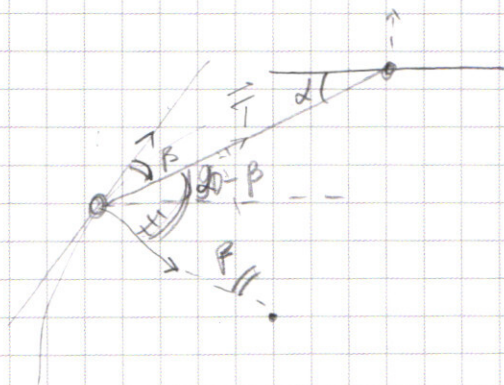
$$(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) u_0 = u(t)$$

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = A$$

$$(80-2)^2 =$$

$$\begin{array}{r} 48 \\ \times 77 \\ \hline \end{array}$$

$$= 6400 - 320 + 64$$



$$a_c \cdot \cos(2)$$

$$\gamma \cdot \cos \beta \cdot T = \frac{a_c}{r} \cdot \frac{m \cdot r}{T^2}$$

$$a_c = \frac{r T \cos \beta}{T^2 m}$$