

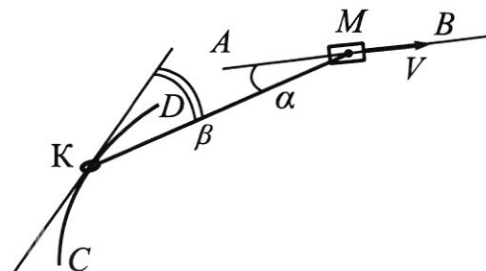
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

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

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.



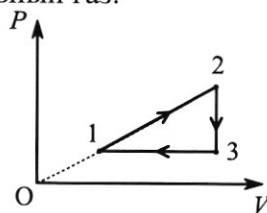
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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.

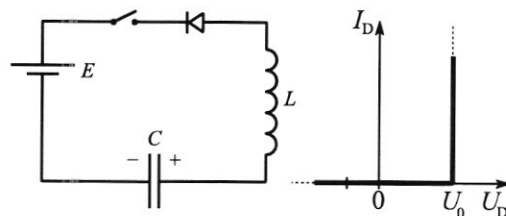
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

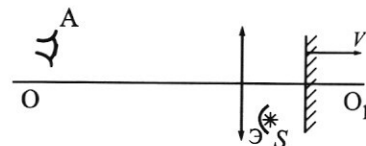


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + dE, q$$

вз (продолжение)

$$v_0^2 - v_1^2 = 2dyE, \quad E \text{ у первого ЗСЭ} = \frac{v_1^2}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$E_1 = \frac{E}{2}$ ввиду симметрии

$$v_0^2 - v_1^2 = dy \frac{v_1^2}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$v_0^2 = \left(1 + \frac{10}{16}\right) v_1^2$$

$$v_0 = v_1 \frac{\sqrt{26}}{4} \approx 1,25 v_1$$

3) Ответ: $v_0 = 1,25 v_1$

№ 4

Решение:

Дано:

$$C = 20 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 6 \text{ В}$$

$$E = 3 \text{ В}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$

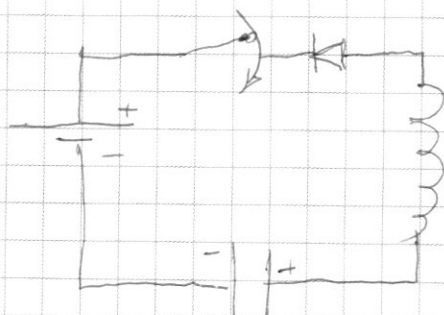
$$L = 0,2 \text{ Гн}$$

Найти:

1) I'

2) I_{max}

3) U ?



В момент замыкания ключа

$$U_L \text{ (напряжение на катушке)} = U_1 = E - U_0$$

$$U_L = L \frac{dI}{dt}$$

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

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

$$\frac{dI}{dt} = \frac{6 \text{ В} - 3 \text{ В} - 1 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = 10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

1) Ответ: $10 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

В

В момент замыкания ключа ток через катушку не идет

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

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U_1 - E}{L} = \frac{6 \text{ В} - 3 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = 15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2) Ответ: $15 \frac{\text{А}}{\text{с}}$

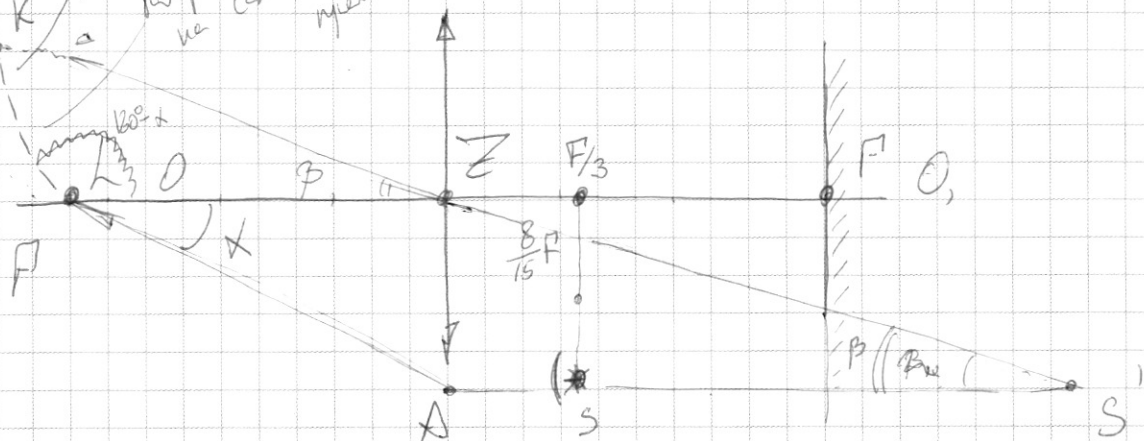
5

Дано: $F; F$

Пласти

погрешность изображения
на столь далеком, конечно
пределах

- 1) $f = ?$
- 2) $x = ?$
- 3) $u = ?$



1. На основании хода лучей при отражении от
плоского зеркала вполне очевидно, что мнимое изображение
источника в зеркале будет действительным источником
для линзы. Тогда по формуле тонкой линзы, где
 F - фокус линзы, f - расстояние до изображения, d - расстояние
до источника лучей:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{-F+d}{dF} = \frac{\frac{5}{3}F-F}{\frac{5}{3}F^2} = \frac{2/3}{5/3F} = \frac{2}{5F}$$

$$f = 2,5F$$

$$d = F \cdot \frac{1}{1} + \left(1 - \frac{F}{3}\right) = 2F - \frac{F}{3} = \frac{5}{3}F$$

$$\text{расстояние от зеркала до линзы} = \frac{2}{5F}$$

$$1) \text{ Ответ: } 2,5F$$

2. Возьмем на расстоянии S' линзы, что его
расстояние до $O; O = \text{const} = \frac{8}{15}F \Rightarrow$ по очевидному
построению (проведемного вогнутого луча из S' через оптический
центр линзы) Лучи линзы, что изображение всегда
будет формироваться на протяжении A , при том, что
точка L находится в фокусе линзы, а A удалена от
 OO , на $\frac{8}{15}F \Rightarrow$ скорость движения изображения

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$v = 40 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

$m = 1 \text{ кг}$

$R = 1,7 \text{ м}$

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

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

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

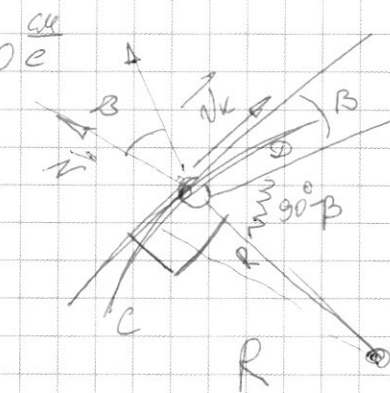
Найти:

1) $v_k = ?$

2) $v_{\text{отн}} = ?$

3) $T = ?$

Решение



из основного
приближения
В многоугольнике:

$\sin \alpha = \frac{4}{5}$

$\sin \beta = \frac{15}{17}$

$\angle \text{TK} \angle \neq 0$, то $T \neq 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ трое ведёт себя как жесткое
тело и:

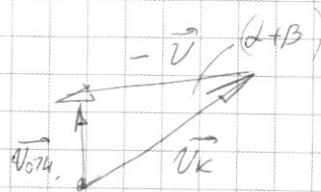
$v_k \cos \beta = v \cos \alpha$

$v_k = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 40 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{17}{8} = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

1) Ответ: $51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

2. $\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_k - \vec{v}$

по теореме кос в треугольнике
скоростей.



$v_{\text{отн}} = \sqrt{v_k^2 + v^2 - 2 \cos(\alpha + \beta) v_k v}$

$= \sqrt{v_k^2 + v^2 - 2(\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta) v_k v} =$
 $= \sqrt{v_k^2 + v^2 - 2(\frac{3}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5}) \cdot 51 \cdot 40} = \sqrt{5929} \frac{\text{см}}{\text{с}} \approx 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

3. Рассмотрим II закон Ньютона радиальное направление при
плыве по двум окружностям ($r = R$; $r = R$)

$+N + T \sin \beta = m \frac{v_k}{R}$

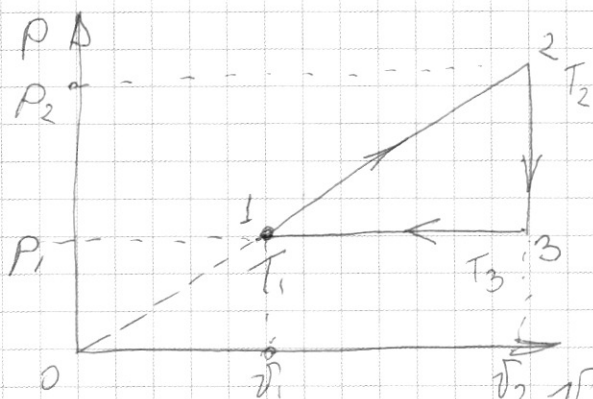
$+N = \frac{mv_k^2}{R} - T \sin \beta$

$+N \sin \beta + T = m \frac{v_k^2 \sin^2 \beta}{R}$

$\frac{mv_k^2}{R} \sin \beta + T \sin^2 \beta + T = m \frac{v_k^2 \sin^2 \beta}{R}$

$T = \frac{\sin \beta m v_k^2}{(1 - \sin^2 \beta) \frac{1}{R} - \frac{1}{R}} \Rightarrow T = 0$

№2



$$\left. \begin{aligned} P \cdot v^{\gamma} &= \text{const} \\ \gamma &= \frac{C_p}{C_v} \end{aligned} \right\} \Rightarrow T_1 < T_3 < T_2 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ температура снижается на участках 2-3 и 3-1

здесь, то

т.к. 2-3 - изохорный процесс, то C_v (молярная теплоемкость этого процесса) $= \frac{i}{2} R$,

где i - степень свободы, равная для одноатомного газа 3 $\Rightarrow$

$$C_v = \frac{3}{2} R$$

3-1 - изобарный процесс $\Rightarrow$

Согласно уравнению Майера $C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R$

$$\frac{C_v}{C_p} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6 \quad \text{1) Ответ: } 0,6$$

2. процесс 1-2 описывается прямой пропорциональностью

$P \propto v^{\gamma} \Rightarrow A_{12}$ (работа газа из этого участка процесса) =

$$= \frac{1}{2} (P_2 v_2 - P_1 v_1) = \frac{1}{2} OR (T_2 - T_1)$$

ΔU_{12} (изменение внутренней энергии газа в этом же процессе) $= \frac{i}{2} OR (T_2 - T_1)$

$$= \frac{3}{2} OR (T_2 - T_1)$$

$$\frac{Q_{12}}{A_{12}} = \frac{A_{12} + \Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\left(\frac{1}{2} + \frac{3}{2}\right) OR (T_2 - T_1)}{\frac{1}{2} OR (T_2 - T_1)} = \frac{4/2}{1/2} = 4$$

2) Ответ: 4

$$3. \eta (\text{КПД}) = \frac{Q^+ (\text{полезная теплота})}{Q_{12} + A_{12} + A_{23} + A_{31}} = \frac{Q_{12}}{A_{12} + \Delta U_{12}} = \frac{\frac{1}{2} OR (T_2 - T_1) - OR (T_3 - T_1)}{2 OR (T_2 - T_1)} =$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

всегда направлена вдоль $AK \Rightarrow \angle ZLA = \chi$

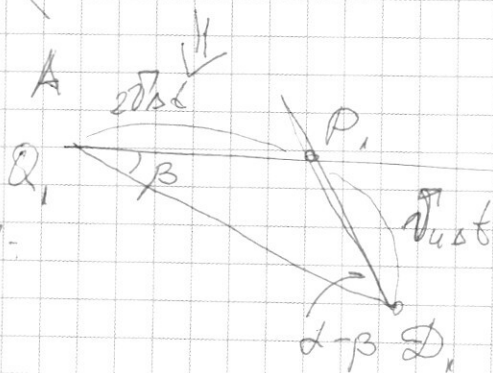
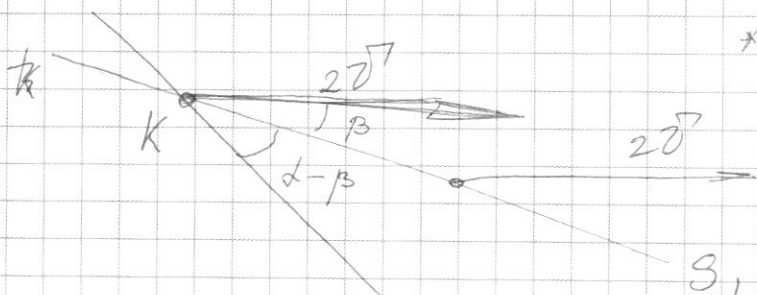
$$\operatorname{tg} \chi = \frac{AZ}{ZK} = \frac{v/5F}{F} = \frac{v}{15} \Rightarrow \chi = \operatorname{arctg} \left(\frac{v}{15} \right)$$

2.) Ответ: $\operatorname{tg} \chi = \frac{v}{15}$

3. при $\angle ZSA = \beta$ нуль прохода с учетом $\angle ZKB = \chi - \beta$
тогда найдем скорости удра схода к нахлест-
жению α скорости точки пересечения двух тел, рас-
ходящихся так:

$v_{S_1} = 2v$ очевидно:

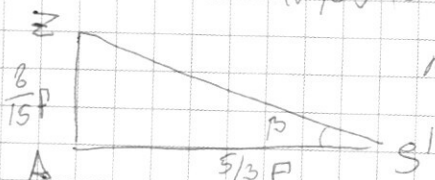
χ β то есть скорость точки
к направлению AK , но в действитель-
ности скорость удра схода
направлена по направ-
лению KA



по теореме синусов:

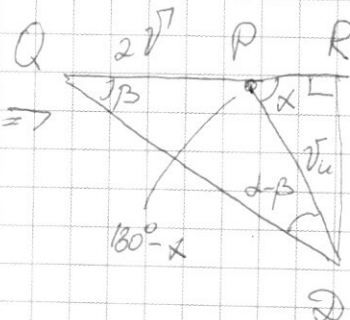
$$\frac{2v}{\sin(\chi - \beta)} = \frac{v_u}{\sin \beta}$$

$$v_u = 2v \frac{\sin \beta}{\sin(\chi - \beta)} = \frac{\sin \beta}{(\sin \chi \cos \beta - \sin \beta \cos \chi)}$$



по т. Пифагора: $ZS^2 = \frac{64}{225} + \frac{625}{225} = \frac{F^2}{15} \Rightarrow \sqrt{689}$

$$\sin \beta = \frac{8}{\sqrt{689}} \quad \cos \beta = \frac{25}{\sqrt{689}}$$



Оконечно:

$$\sin \alpha = \frac{8}{15} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{64+225}{225}}} = \frac{8}{17}$$

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

$$U_4 = 2V \cdot \frac{\frac{8}{17} \cdot \frac{25}{\sqrt{685}} - \frac{15}{17} \cdot \frac{8}{\sqrt{685}}}{8(25-15)} = 2V \cdot \frac{8 \cdot 17}{8(25-15)} = 2V \cdot \frac{17}{10} = 3,4V$$

3) Ответ: 3,4V

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$= \frac{\frac{1}{2}T_2 - \frac{1}{2}T_1 - T_3 + T_1}{2T_2 - 2T_1} = \frac{\frac{1}{2}(T_1 + T_2) - T_3}{2(T_2 - T_1)}$$

перез условие $p = k v^{\gamma}$ для процесса 1-2 и уравнение Менделеева-Клапейрона

$$T_1 = \frac{p_1 v_1^{\gamma}}{R} = \frac{k v_1^{\gamma}}{R}; \quad T_2 = \frac{k v_2^{\gamma}}{R}; \quad T_3 = \frac{k v_1 v_2^{\gamma}}{R}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{k v_1^{\gamma}}{R} + \frac{k v_2^{\gamma}}{R} \right) - \frac{k v_1 v_2^{\gamma}}{R}}{2 \left(\frac{k v_2^{\gamma}}{R} - \frac{k v_1^{\gamma}}{R} \right)} = \frac{\frac{1}{2} (v_2^{\gamma} - v_1^{\gamma})}{2 (v_2^{\gamma} - v_1^{\gamma})} = \frac{v_2^{\gamma} - v_1^{\gamma}}{4 (v_2^{\gamma} + v_1^{\gamma})}$$

следовательно, то максимальное

η будет при $v_1^{\gamma} \rightarrow 0 \Rightarrow$

$$\eta_{\max} = \lim_{v_1^{\gamma} \rightarrow 0} \left(\frac{v_2^{\gamma} - v_1^{\gamma}}{4 (v_2^{\gamma} + v_1^{\gamma})} \right) = \frac{v_2^{\gamma}}{4 v_2^{\gamma}} = \frac{1}{4}$$

3) Ответ: $\eta_{\max} = \frac{1}{4}$

№3.

1. т.к. $q > 0$ останавливается внутри конденсатора, то он легел со стороны отрицательно заряженной пластинки, тогда:
 напряженность поле внутри конденсатора $= E$:
 по Закоу Сохранения Энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} = qE \cdot 0,8d$$

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = E \quad E = \frac{v_1^2}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

по II закону Ньютона:

$$ma = qE \quad a = \gamma E$$

$$v_1 - aT = 0 \quad T = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1}{\gamma \frac{v_1^2}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{v_1}$$

1) Ответ: $\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{v_1}$

2. Если представить E как дину напряженности поля от двух разноименно заряженных бесконечных плоскостей (что правильно, т.к. $d \ll$ размеров пластин конденсатора) $|E| = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

то ЗСЭ примет вид

$$\begin{cases} v_1^2 = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4\pi k_2 \cdot \frac{Q}{S} \cdot d \cdot q, \text{ где } Q - \text{заряд одной обкладки, } S - \text{ее площадь} \\ Q = \frac{C}{U^{-1}} = \frac{S}{4\pi k_2 d U^{-1}} = \frac{S U}{4\pi k_2 d} \end{cases}$$

$$U^{-1} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4\pi k_2 \cdot d \cdot q \cdot \frac{S}{4\pi k_2 d S \cdot U^2} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{U^2}$$

$$U = \frac{v_1^2}{\gamma} \quad 2) \text{ Ответ: } U = \frac{v_1^2}{\gamma}$$

3. ЗСЭ для положений бесконечной пластины и прохождения сквозь отрицательно заряженную обкладку:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{mv_1^2}{2} = 0,8d \cdot 4\pi k_e \frac{Q}{S} q \gamma$
 $v_1^2 = 1,6d \cdot 4\pi k_e \frac{Q}{S} q \gamma$
 $v_1 - aT = 0 \quad T = \frac{v_1}{a_1} = \frac{v_1}{4\pi k_e \frac{Q}{S} q \gamma}$
 $C = \frac{803}{d}$
 $U_k \cos \beta = T \cos \alpha$
 $U_k = T \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{40 \text{ cm}}{e} \cdot \frac{3/5}{8/14} = \frac{3 \cdot 14}{5 \cdot 8} \cdot 40 = 16,8$
 $4\pi k_e \frac{Q}{S} q \gamma$
 $E = 5 \cdot 10^{10}$
 $4\pi k_e \cdot 5 \cdot 10^{10} = E \cdot 20^2$
 $E = \frac{4\pi k_e \cdot 5}{2}$
 $C = \frac{8}{d}$
 $4\pi k_e \cdot \frac{Q}{S} q \gamma = \frac{4\pi k_e \cdot Q}{S} q \gamma$
 $\frac{4}{k_e} \cdot \frac{Q}{S} q \gamma = \frac{4\pi k_e \cdot Q}{S} q \gamma$
 $170 + 20 + 49 = 289$
 $k_e = \frac{82 \cdot 10^4}{0^2 k_e^2} = \frac{H \cdot 10^3}{k_e^2}$
 $226 \cdot \frac{15}{\sin \beta} = 17$
 U_k
 $R^2 + \frac{289}{225} R^2 - 2 \sin \beta \cdot \frac{17}{15} R^2 =$
 $R \sqrt{1 + \frac{289}{225} - 2 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{17}{15}} =$
 $\sqrt{\frac{64}{225}} = \frac{8}{15} R$
 $\frac{64 + 289}{225} R^2 - R^2 = \frac{2 \cdot 64}{2 \cdot 8 \cdot 17} \cdot \frac{8}{17}$
 $\frac{k_e \cdot e^2}{k_e \cdot u^2} = \frac{k_e}{c} = \frac{k_e \cdot e}{k_e \cdot u^2}$
 $\frac{k_e}{u \cdot n} = \frac{Dm}{k_e}$
 $\frac{RT_1}{v_1^2} = \frac{RT_2}{v_2^2}$
 $A = \frac{1}{2} (P_2 v_2 - P_1 v_1) = \frac{1}{2} (RT_2 - RT_1) = \frac{1}{2} RT_2$
 $U = \frac{3}{2} RT$
 $\Phi = kT$
 $\frac{RT}{v} = \text{const.}$
 $\gamma = \frac{\frac{1}{2} (v_2^2 + v_1^2) - v_1 v_2}{2 (T_2 - T_1)}$
 $\frac{1}{2} \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 (v_2 - v_1) (v_2 + v_1)} = \frac{v_2 - v_1}{4 (v_2 + v_1)}$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + d \cdot \frac{E}{2} q$$

$$v_0^2 - v_1^2 = 2d \frac{E}{2} q = 2d \frac{v_1^2}{1,6yd} \cdot \frac{2}{1,6} v_1^2 = \frac{1}{0,8} v_1^2 = 1,25 v_1^2$$

$$\frac{15}{15} \cdot \frac{14}{15} = \frac{225}{15}$$

$$v_0^2 = 2,25 v_1^2$$

$$v_0 = 1,5 v_1$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2 \cdot 0,8d \cdot E q = \frac{2v_1^2}{2yd}$$

$$\begin{array}{r} 12 \\ \times 24 \\ \hline 288 \\ 144 \\ \hline 288 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 514 \\ \hline 24-60 \\ 18 \cdot 3 \cdot 40 \\ \hline 12 \cdot 3 \cdot 40 \end{array}$$

$$U_k = E = h \gamma'$$

$$\gamma' = \frac{GB - 3B}{0,2P_n} = \frac{3B}{0,2P_n}$$

$$5102 \cdot mv_1^2 \left(\frac{5102 \cdot 1}{P} - \frac{1}{P} \right) \frac{325}{1525}$$

$$\begin{array}{r} 24 \times 242 \\ \hline 57600 \\ 14400 \\ \hline 72000 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 689 \cdot 2022 \\ \hline 243 \cdot 3429 \end{array}$$

$$\frac{5}{3} \cdot \frac{15}{15}$$

$$90^\circ - 90^\circ - 2 \times 90^\circ = 90^\circ$$

$$U_n = \frac{8F^2}{3} \Delta t + 16v_n \Delta t^2$$

$$2500 + 50 + 512$$

$$= 2601 + 1600 = 4201$$

$$8F^2$$

$$\begin{aligned} \frac{40}{3} P \cdot v_n \Delta t + 16v_n v_n \Delta t^2 &= 8F^2 + 8Fv_n \Delta t \\ v_n \left(\frac{40}{3} P \Delta t + 16v_n \Delta t^2 - 8F \Delta t \right) &= 8F^2 \end{aligned}$$

$$\frac{8}{15} v_n \Delta t = \frac{8F(P + v_n \Delta t)}{25P + 30v_n \Delta t}$$

$$\frac{8}{15} a = \frac{(P + a) \cdot 8P}{25P + 30v_n \Delta t}$$

$$\frac{8P}{15P} = \frac{8P}{15P}$$

$$a \Delta t + \frac{1}{15} P = \frac{8P}{25P + 30v_n \Delta t} (P + a) \Delta t$$