

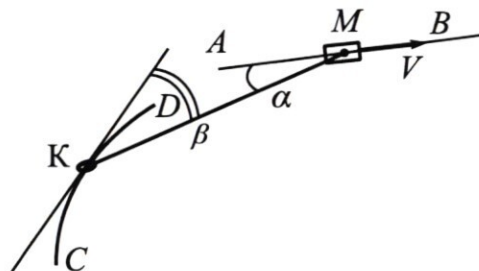
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-04

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

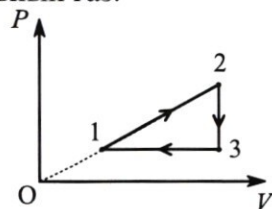
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) 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 изменения внутренней энергии газа 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. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

- 1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

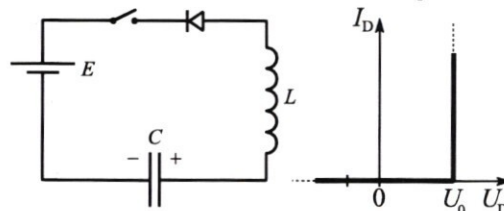
3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ 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.

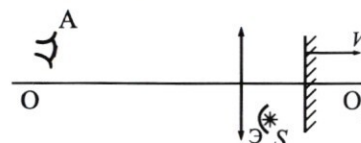


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ 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

Дано: F
 U
 $h = \frac{25}{135} F$
 $L = \frac{9F}{5}$

Решение

1) f_1 - ?
2) α - ?
3) $U_{из}$ - ?

ОТВЕТ:

1) По формуле плоской линзы, т.к. S^* является мнимым (мнимым) фокусом

1) $f_1 = \frac{9F}{4}$ мкм

2) $\alpha = \arctg\left(\frac{56}{135}\right)$ $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}$, $d_1 = L + \left(L - \frac{3F}{5}\right) = 2L - \frac{3F}{5} = \frac{9F}{5}$

3) $U_{из} = \frac{25U}{8 \cdot \cos(\arctg\frac{56}{135})}$ $f_1 = \frac{F \cdot d_1}{d_1 - F} = \frac{F \cdot \frac{9F}{5}}{\frac{9F}{5} - \frac{3F}{5}} = \frac{9F}{4}$

2) т.к. зеркало движется с U , а S - неподвижно 2) S^* имеет скорость $2U$

Из подобия треугольников следует: $\frac{d_1 - L}{L} = \frac{h}{H_1} \Rightarrow$

$\Rightarrow H_1 = \frac{L \cdot h}{d_1 - L} = \frac{\frac{25}{135} F \cdot \frac{9F}{5}}{\frac{9F}{5} - \frac{3F}{5}} = \frac{24}{25} F = F \cdot \frac{24}{25} = \frac{24}{25} F$

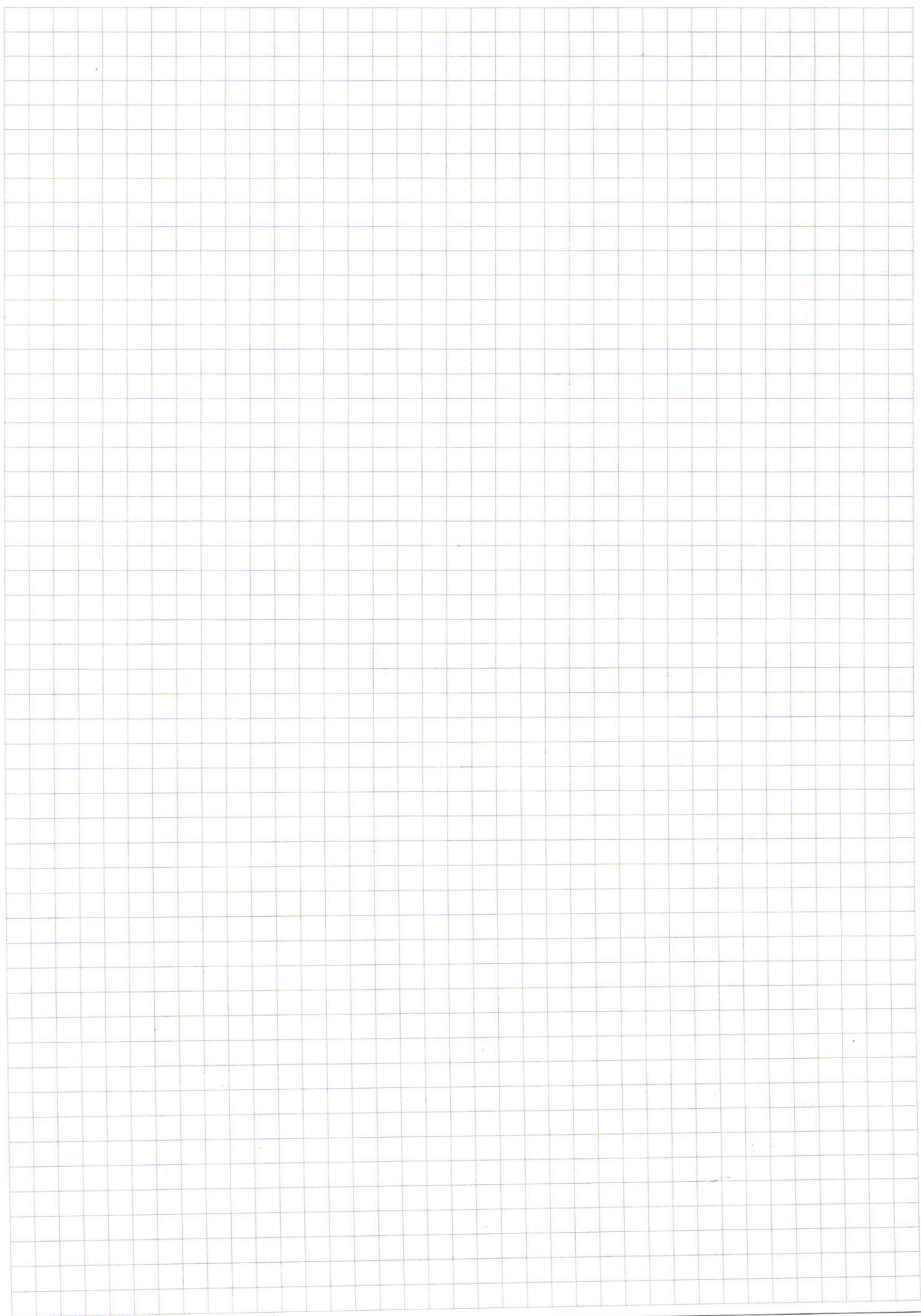
Изобразим $U_{из}$ на вертикальную ось

$\tan \alpha = \frac{H_1 - H}{f_1} = \frac{\frac{24}{25} F - \frac{2}{3} F}{\frac{9}{4} F} = \frac{\frac{24-10}{25} F}{\frac{9}{4} F} = \frac{14-10}{15} F = \frac{4}{15} = \frac{56}{135} \Rightarrow \alpha = \arctg\frac{56}{135}$

3) $U_{из} = F - 2U$

$F = \frac{f_1}{d_1} = \frac{9F}{4} \cdot \frac{9F}{5} = \frac{5}{4}$

$U_{из} \cdot \cos \alpha = \frac{25}{168} \cdot U \Rightarrow U_{из} = \frac{25U}{8 \cdot \cos(\arctg\frac{56}{135})}$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

U
 v_1
 d

Найти: 1) δ ?
2) T ?
3) v_0 ?

Решение

1) т.к. рассматриваем микро шарики $\Rightarrow$ применим
силу Кулона, действующую на шарик.

ЗЗЗ: $A_{эл.н} = W_2 - W_1$
 $A_{эл.н} = -|q| \cdot E \cdot 0,8d$, $U = Ed \Rightarrow E = \frac{U}{d}$
 $W_2 = 0$
 $W_1 = \frac{mv_1^2}{2}$
 $|q| \cdot U \cdot 0,8 = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow \frac{|q|}{m} = r = \frac{v_1^2}{1,6U}$

2) I. Рассм. движение шарика до остановки:
по II ЗН. ох: $ma = |q| \cdot E \Rightarrow a = \frac{|q|}{m} \cdot E = \frac{v_1^2}{1,6U} \cdot \frac{U}{d}$
 $= \frac{v_1^2}{1,6d}$; время $T = t_1 + t_2$; t_1 - время до остановки; t_2 - время от остано-
вки до возврата из конденсатора.
Рассм. изменение скорости
 $0 = v_1 - a \cdot t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{1,6d}{v_1}$
I. Рассм. движение шарика после начала движения и возврата из
конденсатора
 $0,8d = \frac{at_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{1,6d}{a}} = \frac{1,6d}{v_1}$
 $\Rightarrow T = t_1 + t_2 = \frac{3,2d}{v_1}$

3)

Дано:

$\mathcal{E} = 6\text{В}$
 $r = 0$
 $L = 10 \cdot 10^{-3}\text{Гн}$
 $U_1 = 9\text{В}$
 $L_1 = 0,4\text{Гн}$
 $U_0 = 1\text{В}$

Решение



Найти: 1) $I' = ?$

2) $I_m = ?$

3) $U_2 = ?$

1) Сразу после замыкания ключа $L_{\text{св}} \rightarrow \infty (dt \rightarrow 0) \Rightarrow$ напряжение на
 катушке будет равно ЭДС $\mathcal{E}$. $\Rightarrow$ ~~напряжение на катушке равно ЭДС~~
 и катушка с другой катушкой ~~не имеет связи~~

2) сразу после замыкания.

По 2-му закону Кирхгофа: $\mathcal{E} + (L_{\text{св}}) = U_1$

$$\mathcal{E} - LI' = U_1$$

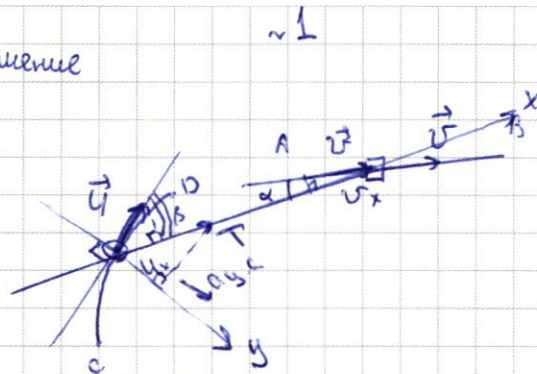
$$I' = \frac{(\mathcal{E} - U_1)}{L} = \frac{3}{\frac{4}{10}} = \frac{30}{4} = 7,5 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

2)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано: $v = 2 \text{ м/с}$
 $m = 0,4 \text{ кг}$
 $R = 1,9 \text{ м}$
 $l = \frac{13}{5} \text{ м}$
 $\cos \alpha = 0,8$
 $\cos \beta = 9/17$

Решение



Найти: 1) U - ?

2) $U_{\text{общ}}$ - ?

3) T - ?

Ответ: 1) $U = 3,4 \text{ м/с}$

2) $U_{\text{общ}} = 4 \text{ м/с}$

3) $T = 2,5 \text{ Н}$

1) Векторы u и v вдоль троса, тогда проекции скоростей на эту ось будут равны:

$$v_x = v \cos \alpha$$

$$U_x = U \cos \beta$$

так, трос нерастяжим и не имеет массы (печка) $\Rightarrow v_x = U_x \Rightarrow$

$$v \cos \alpha = U \cos \beta \Rightarrow U = \frac{v \cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{2 \cdot \frac{4}{5}}{9/17} = \frac{13}{5} \cdot \frac{17}{9} = \frac{17}{5} = 3,4 \text{ м/с}$$

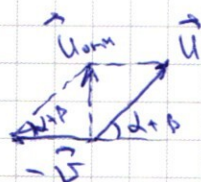
2) Перейдем в со лодки.

Тогда по закону сложения скоростей: $\vec{v}_{\text{общ}} = \vec{v}_{\text{общ}} + \vec{v}_{\text{пер}}$

$$v_{\text{общ}} = U$$

$$v_{\text{общ}} = U_{\text{общ}}$$

$$v_{\text{пер}} = v$$



$$U_{\text{общ}} = \sqrt{v^2 + U^2 - 2 \cdot v \cdot U \cdot \cos(\alpha + \beta)} =$$

$$= \sqrt{2^2 + 3,4^2 - 2 \cdot 2 \cdot 3,4 \cdot \frac{13}{5 \cdot 17}} =$$

$$= \sqrt{4 + 11,56 - \frac{176,8}{85}} \approx 4 \text{ м/с}$$

3) $T = 3,4$

$$m \cdot a_{\text{г,л}} = T \cdot \cos(\gamma_0 - \beta)$$

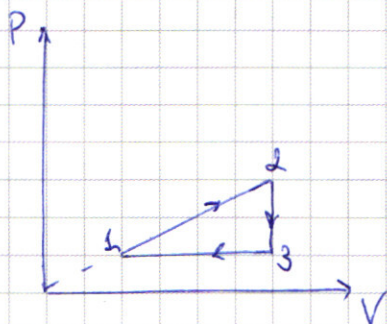
$$m \cdot \frac{U^2}{R} = T \cdot \sin \beta$$

$$T = \frac{m U^2}{R \sin \beta} = \frac{0,4 \cdot 3,4^2}{1,9 \cdot \frac{15}{17}} = \frac{\frac{4}{10} \cdot \frac{1156}{100}}{\frac{15 \cdot 15}{10 \cdot 17}} \approx 2,5 \text{ Н}$$

Дано:

$$l=3$$

Решение



Найти: 1) $\frac{C_{23}}{C_{31}} = ?$

2) $\frac{\Delta H_{12}}{A_{12}} = ?$

3) $\eta = ?$

Ответы: 1) $\frac{C_{23}}{C_{31}} = 0,6$

2) $\frac{\Delta H_{12}}{A_{12}} = 3$

3) $\eta =$

1) 2-3 Прог. изохоры $\Rightarrow A_{23} = 0$

I Модем Термодинамики: $Q_{23} = \Delta H_{23} + A_{23} = \Delta H_{23}$

$$Q_{23} = C_{23} \cdot J \cdot \Delta T_{23}$$

$$\Delta H_{23} = \frac{l}{2} J R \Delta T_{23}$$

$$C_{23} \cdot J \cdot \Delta T_{23} = \frac{l}{2} J R \Delta T_{23} \Rightarrow C_{23} = \frac{l}{2} R$$

3-1 Прог. изохоры $\Rightarrow A_{31} = p \cdot \Delta V = J R \cdot \Delta T_{31}$

I Модем Термодинамики: $Q_{31} = \Delta H_{31} + A_{31} = \frac{l+2}{2} J R \Delta T_{31}$

$$\frac{l+2}{2} J R \Delta T_{31} = C_{31} \cdot J \cdot \Delta T_{31}$$

$$2) C_{31} = \frac{l+2}{2} R \Rightarrow \frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{\frac{l}{2} R}{\frac{l+2}{2} R} = \frac{l}{l+2} = \frac{3}{5} = 0,6$$

2) 1-2 $\Delta H_{12} = \frac{l}{2} J R (T_2 - T_1) = \frac{l}{2} J R \Delta T_{12}$

$$A_{12} = \frac{1}{2} p_2 V_2 - \frac{1}{2} p_1 V_1 = \frac{1}{2} (J R T_2 - J R T_1) = \frac{1}{2} J R (T_2 - T_1)$$

$$\frac{\Delta H_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{l}{2} J R (T_2 - T_1)}{\frac{1}{2} J R (T_2 - T_1)} = l = 3$$

3)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано: $L=3$

Решение

1) $\frac{C_{23}}{C_{31}} = ?$

2) ΔU_{12}
 A_{12}

3) $\eta = ?$

1) 2-3 | Прогр. изохорн $\Rightarrow A_{12} = 0$
I Моноатомный газ:
 $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{12} = \Delta U_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23}$
 $Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23}$
 $\Rightarrow C_{23} \Delta T_{23} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23} \Rightarrow C_{23} = \frac{i}{2} \nu R$

3-1 | Прогр. изохорн $\Rightarrow A_{12} = p \cdot \Delta V$
 $Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{12} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{31} + A_{12}$
 $Q_{31} = C_{31} \Delta T_{31}$
 $A_{12} = p_{31} (V_{23} - V_1) = \nu R \Delta T_{31}$
 $C_{31} \Delta T_{31} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{31}$
 $C_{31} = \frac{i+2}{2} \nu R$

2) $A_{12} = p_2 V_{23} \cdot \frac{1}{2} - p_{13} V_1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{1}{2} \nu R \Delta T_{21}$
 $\Delta U_{12} = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{21}$
 $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{\frac{i}{2} \nu R \Delta T_{21}}{\frac{1}{2} \nu R \Delta T_{21}} = i = 3$

3) $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$
 $Q_1 = Q_{12} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{12} + \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{12}$
 $Q_2 = Q_{23} + Q_{31} = \frac{i}{2} \nu R \Delta T_{23} + \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T_{31} = \frac{i+2}{2} \nu R (T_2 - T_1)$
 $\eta = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \nu R (T_2 - T_1)}{\frac{i+2}{2} \nu R (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{i+1}{i+2} = \frac{1}{i+2} = \frac{1}{5} = 0,2$

$$\eta = \frac{A}{Q_{in}} = \frac{P_{13} \cdot \Delta V \cdot (P_2 - P_{13}) \cdot V_{23}}{\frac{L_{11}}{2} JR (T_2 - T_1)} = \frac{JR (T_1 - T_3) \cdot JR (T_2 - T_3)}{\frac{L_{11}}{2} \cdot JR (T_2 - T_1)}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{iT_2 - iT_3 + iT_1 - iT_3 + 2T_1 - 2T_3}{Q_1}$$

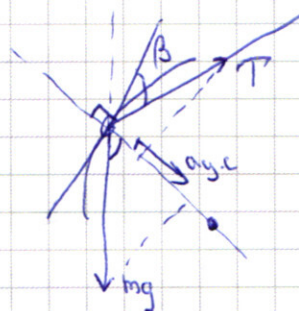
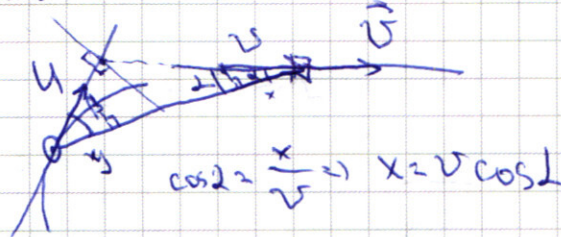
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{C_{12} \Delta T_{12} - (C_{23} \Delta T_{23} + C_{31} \Delta T_{31})}{C_{12} \Delta T_{12}}$$

$$= 1 - \frac{C_{31}}{C_{12}} \cdot \frac{(\Delta T_{23} \frac{C_{23}}{C_{31}} \Delta T_{31})}{\Delta T_{12}} = 1 - \frac{C_{31}}{C_{12}} \cdot \frac{(0,6T_2 - 0,6T_3 + T_1 - T_3)}{T_2 - T_1} =$$

$$= 1 - \frac{C_{31}}{C_{12}} \cdot \frac{T_1 - 1,6T_3 + 0,6T_2}{T_2 - T_1}$$

U
m R
cos α
cos β
c

Решение



1) U - ?

2) U_{ном} - ?

3) T - ?

$$\cos \beta = \frac{x}{V} \Rightarrow x = V \cos \beta$$

$$\text{т.к. проекции равны} \Rightarrow x = y \Rightarrow V \cos \beta = U \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U = \frac{V \cos \beta}{\cos \alpha}$$

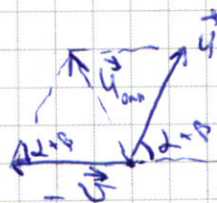
Применяем закон сохранения энергии

$$2) U_{acc} = U_{nom} + U_{exp}$$

$$\vec{U}_{nom} = \vec{U}_{acc} - \vec{U}_{exp}$$

$$\vec{U}_{exp} = \vec{V}$$

$$\vec{U}_{acc} = \vec{U}$$



$$\sin 2 = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = 0,6 = \frac{3}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{289}} = \sqrt{\frac{225}{289}} = \frac{15}{17}$$

$$\cos(2+\beta) = \cos 2 \cos \beta - \sin 2 \sin \beta$$

$$= \frac{4}{5} \cdot \frac{8}{17} - \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{17} = \frac{32-45}{5 \cdot 17} = -\frac{13}{85}$$

$$= -\frac{13}{85}$$

$$\frac{134}{1156} \cdot \frac{17}{17} = \frac{8092}{3375}$$

$$\frac{134}{1156} \cdot \frac{17}{17} = \frac{8092}{3375}$$

$$U_{nom} = \sqrt{U^2 + V^2 - 2UV \cos(2+\beta)} =$$

$$3) \frac{134}{1156} \cdot \frac{17}{17} = \frac{8092}{3375}$$

$$\frac{134}{1156} \cdot \frac{17}{17} = \frac{8092}{3375}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано: $q < 0$, $v_1, 0,8d$
 Найти: r ?, T ?, v_2 ?

1) ЗСЭ: $A_{эл.п.} = W_2 - W_1$
 $A_{эл.п.} = |q| \cdot U = 0 - \frac{mv_1^2}{2}$
 $|q| \cdot U = \frac{mv_1^2}{2}$
 $\frac{|q|}{m} = \frac{v_1^2}{2U}$

2) $ma = qE$
 $a = \frac{q}{m} \cdot E$
 $U = Ed \Rightarrow E = \frac{U}{d}$
 1. до остановки электронов. $T = t_1 + t_2$
 $0 = v_1 - a \cdot t_1$
 $t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1}{\frac{q}{m} \cdot \frac{U}{d}} = \frac{v_1 \cdot m}{U \cdot |q|}$
 2. После остановки

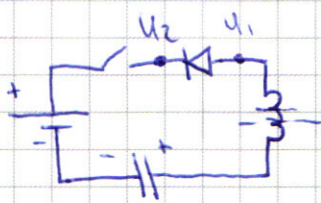
 $v_2 = a \cdot t_2$
 $0,8d = \frac{at_2^2}{2}$ $T = t_1 + t_2$
 $t_2 = \sqrt{\frac{1,6d}{a}}$
 3) ЗСЭ: $A_{эл.п.} = W_1 - W_0 = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$

4.

Дано:

U, C, R, φ

Решение



1) $I' = ?$

2) $I_m = ?$

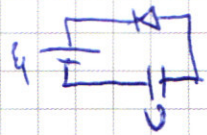
Сразу после замыкания ключа $I_{\text{ср}} \rightarrow \infty$ напряжение на конденсаторе не успевает измениться $\Rightarrow I' = 0$ сразу после замыкания ключа.

$$-q \dot{\varphi} = W$$

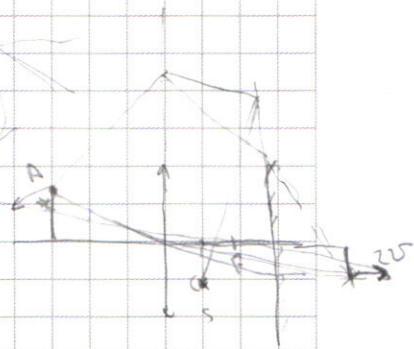
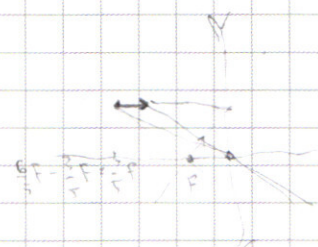
$$\frac{U I_m^2}{2} = C U, \varphi$$

$$\begin{aligned} \varphi + \varphi_0 &= \frac{q}{C} \\ \varphi - I' R &= U \end{aligned}$$

3) Векторное решение. Сом. $\varphi_0 = 0 \Rightarrow$ векторы не совпадают



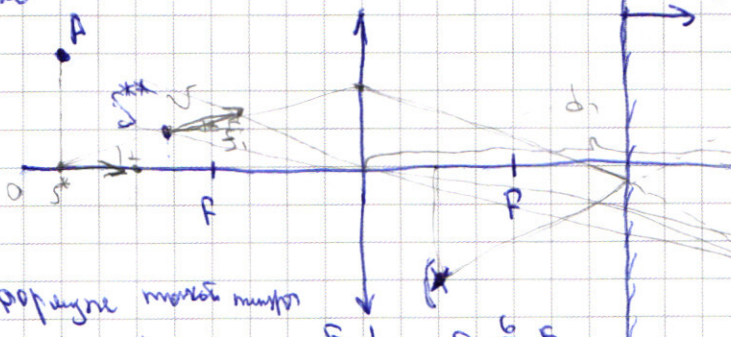
$$\cos \beta_0 - \beta \geq \frac{x}{l}$$



Дано:

F

Решение



Найти:

1)

По формуле жесткости пружины

$$1) \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F} \quad \sum F_i = \frac{F d_1}{d_1 + F} = \frac{F \cdot \frac{6}{5} F}{\frac{1}{5} F} = 6F, \text{ только от пружины}$$

$$2) \frac{F \cdot \frac{9F}{5}}{\frac{4}{5} F} = \frac{9F}{4}$$

$$\sum \frac{1}{d_i} = \frac{4}{5} \Rightarrow k_2 = h \cdot \frac{S_1}{d_1} = \frac{5}{15} F \cdot \frac{15}{15} F = \frac{1}{15} F \cdot \frac{1}{15} F = \frac{1}{25} F$$