

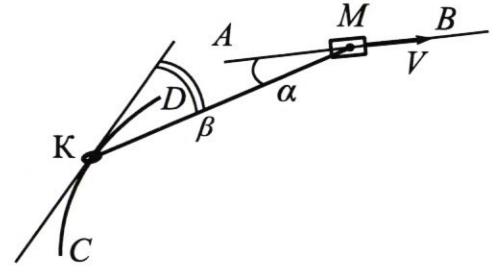
# Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

## Вариант 11-04

Класс 11

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

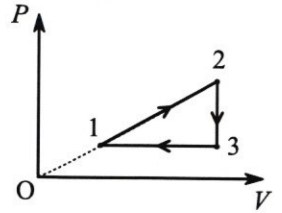
1. Муфту М двигают со скоростью  $V = 2$  м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой  $m = 0,4$  кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом  $R = 1,9$  м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной  $l = 17R/15$ . Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол  $\alpha$  ( $\cos \alpha = 4/5$ ) с направлением движения муфты и угол  $\beta$  ( $\cos \beta = 8/17$ ) 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.

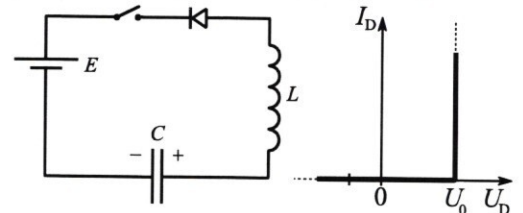
- 1) Найдите удельный заряд частицы  $\gamma = \frac{|q|}{m}$ .
- 2) Через какое время  $T$  после влета в конденсатор частица вылетит из него?
- 3) Найдите скорость  $V_0$  частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

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.

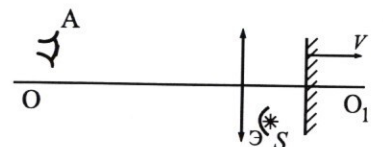


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием  $F$ , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника  $S$  может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси  $OO_1$  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  $\alpha$  к оси  $OO_1$  движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{2}$

$i = 3$

- 1)  $\frac{c_1}{c_2} - ?$
- 2)  $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} - ?$
- 3)  $\mu_{\max} - ?$

1)

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

Т.к. участок 1-2 - прямо-  
пропорциональная зависимость

давления  $p$  от объема  $V$ , то  $V_2 = n \cdot V_1$ ,  $p_2 = n \cdot p_1$ , где

$n$  - положительное число

$$\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ n \cdot p_1 \cdot n \cdot V_1 = \nu R T_2 \end{cases}$$

$$\frac{1}{n^2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$T_2 = T_1 \cdot n^2$$

Значит, на участке 1-2 температура газа повышается.

$$\begin{cases} p_2 V_2 = \nu R T_2 \\ p_3 V_2 = \nu R T_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_2 V_2 = \nu R T_2 \\ \frac{p_2}{n} V_2 = \nu R T_3 \end{cases} ; \quad n = \frac{T_2}{T_3}$$

$$p_3 = p_1 = \frac{p_2}{n}$$

$$T_3 = \frac{T_2}{n}$$

Значит, на участке 2-3 температура

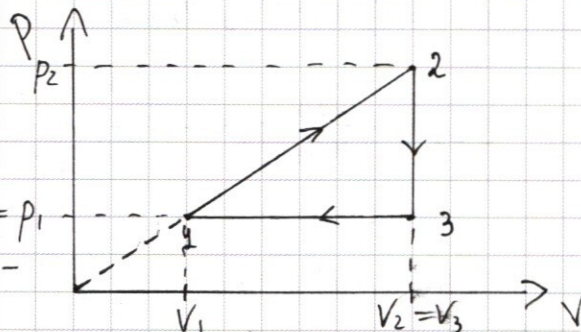
газа понижается.

Участок 3-1:

$$\begin{cases} p_3 V_3 = \nu R T_3 \\ p_1 V_1 = \nu R T_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p_1 V_3 = \nu R T_3 \\ p_1 V_1 = \nu R T_1 \end{cases}$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_1} ; \quad T_1 = \frac{T_3 V_1}{V_3}$$



Т.к.  $V_1 < V_3$ , то  $T_1 < T_3$ . На участке 3-1 температура газа понижается.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} \quad (A_{23} = 0 \text{ т.к. } V = \text{const})$$

$$Q_{23} = \frac{i}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$C_{23} = \frac{Q_{23}}{\nu (T_3 - T_2)} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)}{\nu (T_3 - T_2)} = \frac{3}{2} R$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + A_{31}$$

~~Посчитаем  $A_{31}$  как площадь фигуры под участком 3-1~~

$A_{31}$  = Т.к. на участке 3-1  $p = \text{const}$ , то  $A_{31} = \nu R (T_3 - T_1)$

$$Q_{31} = \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3)$$

$$C_{31} = \frac{Q_{31}}{\nu (T_1 - T_3)} = \frac{\frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3)}{\nu (T_1 - T_3)} = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{2} R \cdot \frac{2}{5 R} = \frac{3}{5}$$

2) Процесс 1-2:

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

Выразим  $A_{12}$  как площадь <sup>фигуры</sup> под графиком процесса 1-2

$$A_{12} = \frac{(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)}{2}$$

$$\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_2 V_2 = \nu R T_2 \end{cases} ; \quad T_2 - T_1 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\nu R} ; \quad \text{Т.к. } p_2 = n \cdot p_1, \quad V_2 = n \cdot V_1,$$

$$\text{то } T_2 - T_1 = \frac{n^2 p_1 V_1 - p_1 V_1}{\nu R} = \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{\nu R} ; \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{\nu R}$$

$$A_{12} = \frac{(p_1 + n \cdot p_1)(n \cdot V_1 - V_1)}{2} = \frac{p_1 V_1 (n+1)(n-1)}{2} = \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (n^2 - 1) \cdot \frac{2}{p_1 V_1 (n^2 - 1)} = 3$$

3)

$\eta = \frac{A_{cy}}{Q}$ , где  $A_{cy}$  — работа цикла,  
 $Q$  — кол-во теплоты, полученное газом за цикл.

$Q = Q_{12}$  (также в процессе 1-2 повышалась температура газа)

$A_{cy}$  — площадь фигуры, ограниченной графиком

$$A_{cy} = \frac{1}{2} \cdot (V_3 - V_1) \cdot (p_2 - p_3)$$

$$Q = Q_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (n^2 - 1) + \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{2} = 2 p_1 V_1 (n^2 - 1) \quad (\text{из п. 2})$$

$$A_{cy} = \frac{1}{2} (n \cdot V_1 - V_1) \cdot (n \cdot p_1 - p_1) = \frac{1}{2} p_1 V_1 (n - 1)^2$$

$$\eta = \frac{A_{cy}}{Q_{12}} = \frac{\frac{1}{2} p_1 V_1 (n - 1)^2}{2 p_1 V_1 (n^2 - 1)} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(n - 1)}{(n + 1)}$$

$$\eta_{\max} \approx \frac{1 \cdot 100\%}{4} = 25\%$$

~~Ответ: 1)  $\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}$ ; 2)~~

~~Ответ: 1)  $\frac{C_{23}}{C_{31}} = \frac{3}{5}$ ; 2)~~

Ответ: 1)  $\frac{3}{5}$ , 2) 3; 3) 25%.

№ 4

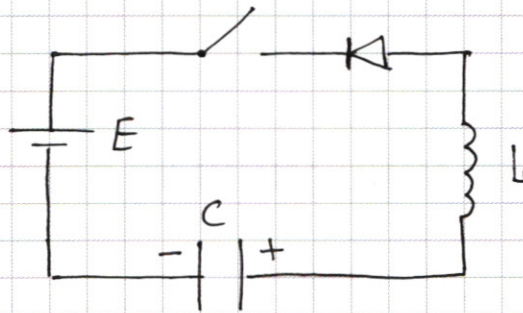
$$E = 6 \text{ В}$$

$$C = 10 \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 9 \text{ В}$$

$$L = 0,4 \text{ Гн}$$

$$U_0 = 1 \text{ В}$$



1)  $I_1$  - ?

2)  $I_{\max}$  - ?

3)  $U_2$  - ?

1) сразу после замыкания ключа

$$-E = +U_1 + L \frac{\Delta I}{\Delta t} + U_0$$

$$I_1 = \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{E + U_1 - U_0}{L} = \frac{-6 + 9 - 1}{0,4} = \frac{2}{0,4} = 5 \text{ А/с}$$

~~$$I_1 = \frac{E + U_1 - U_0}{L} = \frac{-6 + 9 - 1}{0,4} = \frac{2}{0,4} = 5 \text{ А/с}$$~~

$$= \frac{2}{0,4} = 5 \text{ А/с}$$

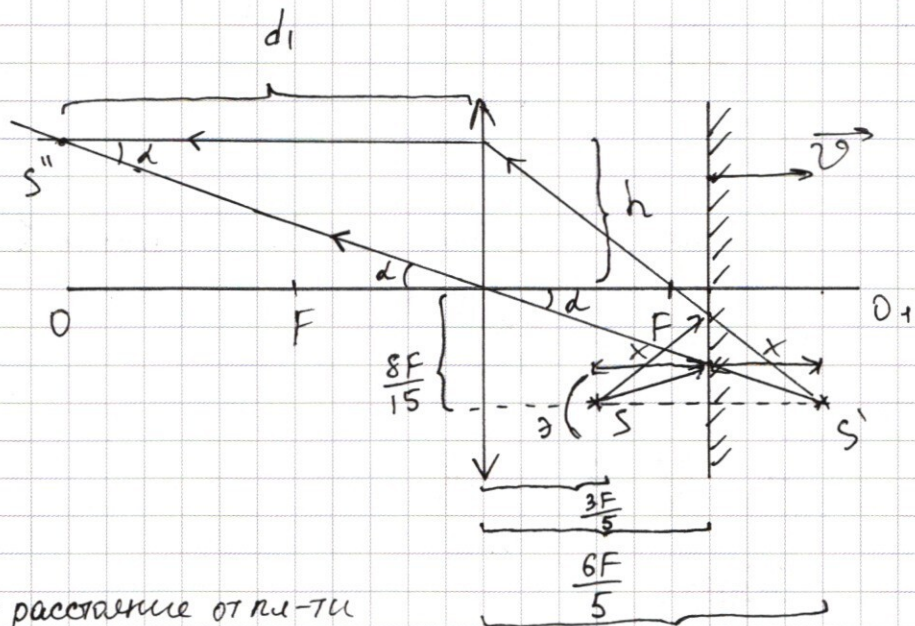
2)  $I_{\max}$

~~$$I_{\max} = \frac{E + U_1 - U_0}{L}$$~~

Ответ: 1) ~~5 А/с~~ 5 В/Гн

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- №5
- F
- 1)  $d_1$  - ?
  - 2)  $d$  - ?
  - 3)  $v_{из}$  - ?



- 1)  $d_1$  - расстояние от глаза  
лицу, на котором наблюдатель А сможет увидеть  
изображение источника в системе.  $S'$  - источник для глаза  
лицу.  
 $S'$  - изображение источника в зеркале

$$\frac{h}{F} = \frac{h + \frac{8F}{15}}{\frac{6F}{5} + (\frac{6F}{5} - \frac{3F}{5})}$$

$$\frac{h}{F} = \frac{h + \frac{8F}{15}}{\frac{9F}{5}}$$

$$\frac{h}{F} = \frac{5(h + \frac{8F}{15})}{9F}$$

$$9h = 5h + \frac{8F}{3}$$

$$4h = \frac{8F}{3}$$

$$h = \frac{2F}{3}$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{\frac{9F}{5}}{\frac{8F}{15}}$$

$$\frac{d_1}{\frac{2F}{3}} = \frac{9F \cdot 153}{8F \cdot 81}$$

$$\frac{3d_1}{2F} = \frac{3 \cdot 9}{8}$$

$$3d_1 = 18F$$

$$d_1 = \frac{18F}{3} = \frac{9F}{1}$$

2)  $\text{tg } \alpha = \frac{8F}{15} \cdot \frac{5}{9F} = \frac{8}{3 \cdot 9} = \frac{8}{27}$   $S''$  - изображение для зеркала

3) ~~Скорость изображения  $v_{из}$  равна  $2v$ .~~  
 $v_{из} = 2v$

Ответ:

Скорость  $S'$  равна  $2v$ , Скорость  $S'' = v_{из}$ .

$$\Gamma = \frac{d_1}{\frac{9F}{5}} = \left( \frac{v_{из}}{2v} \right)^2$$

$$\Gamma = \frac{9F}{4} \cdot \frac{5}{9F} = \frac{5}{4}$$

$$\frac{v_{из}}{2v} = \Gamma^2$$

$$v_{из} = 2v \Gamma^2 = 2v \cdot \frac{25}{16} = \frac{25v}{8}$$

Ответ: 1)  $\frac{9F}{4}$ ; 2)  $\text{tg } \alpha = \frac{8}{27}$ ; 3)  $\frac{25v}{8}$ .

№3

$d, U,$

$v_1, 0, 2d$

---

1)  $\gamma = \frac{|q|}{m} - ?$

2)  $T - ?$

3)  $v_0 - ?$

$E = \frac{U}{d}$

$F = ma$

$F = Eq$

1)  $Eq = ma$

$\frac{Uq}{d} = ma$

$\gamma = \frac{|q|}{m} = \frac{ad}{U}$

$\gamma = \frac{v_1^2 d}{U \cdot 1,6d} = \frac{v_1^2}{1,6 \cdot U}$

$a = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot (d - 0,2d)} \quad v_2 = 0$

$a = \frac{v_1^2}{1,6d}$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2)

$$S = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a} \quad T = 2t$$

$$t = \frac{v_1 - v_2}{a} \quad (v_2 = 0)$$

$$t_a = \frac{v_1 \cdot 1,5d}{v_1^2} = \frac{1,6d}{v_1}$$

$$T = 2t = \frac{3,2d}{v_1}$$

3) На бесконечно большом расстоянии от конденсатора

Ответ: 1)  $\frac{v_1^2}{1,5d}$  ; 2)  $\frac{3,2d}{v_1}$

$m = 0,4 \text{ кг}$

$v = 2 \text{ м/с}$

$R = 1,9 \text{ м}$

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

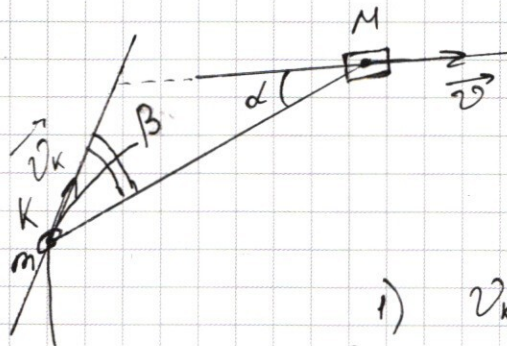
$\cos \alpha = \frac{4}{5}$

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

1)  $v_k$  - ?

2)  $v_{\text{относ}}$  - ?

3)  $F$  - ?



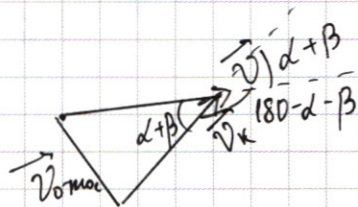
1)  $v_k = v \cdot \sin \alpha \cdot \frac{1}{\sin \beta}$

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

$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{64}{17^2}} = \sqrt{\frac{289 - 64}{289}} = \frac{15}{17}$

$v_k = \frac{v \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 17}{5 \cdot 15} \approx \frac{100}{75} \approx \frac{4}{3} \text{ м/с}$

$$2) \quad \vec{v}_{\text{относ}} = \vec{v} - \vec{v}_k$$



$$v_{\text{относ}}^2 = v_1^2 + v_k^2 - 2v_1 \cdot v_k \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$\begin{aligned} \cos(\alpha + \beta) &= \cos\alpha \cdot \cos\beta - \sin\alpha \cdot \sin\beta = \\ &= \frac{4 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{3 \cdot 15}{5 \cdot 17} = \frac{4 \cdot 8 - 3 \cdot 15}{5 \cdot 17} = \frac{32 - 45}{5 \cdot 17} = -\frac{12}{65} \end{aligned}$$

$$v_{\text{относ}}^2 = 4 + \frac{16}{9} + 2 \cdot 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{12}{65} =$$

$$= \frac{52}{9} + \frac{16 \cdot 12}{65 \cdot 3} = \frac{52}{9} + \frac{16 \cdot 4}{65} \approx \frac{420}{63} = 7 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{относ}} = \sqrt{7} = 2,7 \text{ м/с}$$

Ответ: 1)  $\frac{4}{3}$  м/с ; 2) 2,7 м/с.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$f(n) = \frac{(n-1)}{n+1}, \quad f'(n) = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)' = \frac{(n-1)' \cdot (n+1) - (n-1) \cdot (n+1)'}{(n+1)^2} = \frac{1 \cdot (n+1) - (n-1) \cdot 1}{(n+1)^2} = \frac{n+1 - n+1}{(n+1)^2} = \frac{2}{(n+1)^2}$

$n=1.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{0.5}{2.5} = \frac{1}{20} = 5\%$

$n=2.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{1.5}{3.5} = \frac{3}{28}$

$n=3.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{2.5}{4.5} = \frac{5}{36}$

$n=4.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{3.5}{5.5} = \frac{7}{44}$

$n=5.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{4.5}{6.5} = \frac{9}{52}$

$n=6.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{5.5}{7.5} = \frac{11}{60}$

$n=7.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{6.5}{8.5} = \frac{13}{68}$

$n=8.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{7.5}{9.5} = \frac{15}{76}$

$n=9.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{8.5}{10.5} = \frac{17}{84}$

$n=10.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{9.5}{11.5} = \frac{19}{92}$

$n=11.5 \quad \eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{10.5}{12.5} = \frac{21}{100} = 21\%$

$Q_x = Q_{23} + Q_{31} = \Delta U_{23} + \Delta U_{31} + \Delta U_{A31} =$

$= \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) =$

$= \nu R \left( \frac{5}{2} T_1 - \frac{5}{2} T_3 + \frac{3}{2} T_3 - \frac{3}{2} T_2 \right) = \nu R \left( \frac{5}{2} T_1 - \frac{3}{2} T_2 - \frac{1}{2} T_3 \right) = \nu R \left( \frac{5}{2} T_1 - \frac{3}{2} \cdot n^2 T_1 - T_3 \right) = \nu R \left( T_1 \left( \frac{5}{2} - \frac{3}{2} n^2 \right) - T_3 \right) =$

$= \nu R \left( T_1 \left( \frac{5}{2} - \frac{3}{2} n^2 - n \right) \right) = 2 \nu R T_1 \left( -3n^2 + 5 - 2n \right)$

$2 \nu R T_1 \left( -3n^2 - 2n + \frac{5}{2} \right) = 0$

$3n^2 + 2n - \frac{5}{2} = 0$

$D = 4 + 60 = 64 = 8^2$

$n_1 = \frac{-2+8}{6} = 1$

$n_2 = \frac{-2-8}{6} = -\frac{10}{6} = -\frac{5}{3}$

$T_3 = \frac{T_1 \cdot n^2}{n} = T_1 \cdot n$

$\frac{1}{4} \cdot \frac{100}{101} = \frac{25}{101}$

$n=8: \quad n=9$

$\frac{7}{9} \quad 0,8 \cdot \frac{1}{4} = 0,2$

$n=10 \quad \frac{9}{11} \cdot \frac{1}{4} = \frac{9}{44}$

$\eta = \frac{1}{4} \cdot \frac{(n-1)}{(n+1)} \quad \eta_{\max} \text{ достигается при:}$

$n=2: \quad \frac{(n-1)}{(n+1)} = \frac{1}{3}$

$n=3: \quad \frac{2}{4} = 0,5$

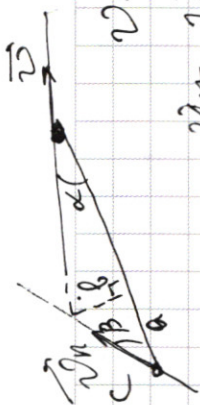
$n=4: \quad \frac{3}{5} = 0,6$

$n=5: \quad \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$

$n=6: \quad \frac{5}{7}$

$n=7: \quad \frac{6}{8}$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} = \frac{b}{c}$$



$$v \cdot \sin \alpha = U = \frac{v \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$$

$$Q_x = Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \frac{(p_1 + p_2)(V_3 - V_1)}{2} =$$

$$s = v$$

$$L = \frac{v_1 - v_0}{a}$$

$$c = \frac{u}{c} \cdot \frac{cc}{u}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\nu R} = \frac{n^2 p_1 V_1 - p_1 V_1}{\nu R} = \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{\nu R}$$

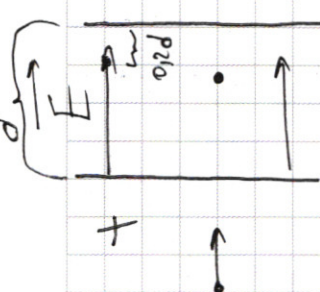
$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \cdot \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{\nu R} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (n^2 - 1)$$

$$A_{12} = \frac{(p_2 + p_1)(V_3 - V_1)}{2} = \frac{p_1(n+1) \cdot V_1(n-1)}{2} = \frac{p_1 V_1 (n^2 - 1)}{2}$$

$$\frac{16}{529} \times \frac{23}{69}$$

$$A_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 (n^2 - 1)$$

$$A_{12} = \frac{(p_2 - p_3)(V_3 - V_1)}{2} = \frac{p_1(n-1) \cdot V_1(n-1)}{2} = \frac{p_1 V_1 (n-1)^2}{2}$$

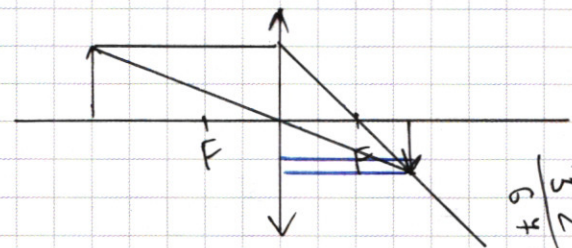


$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{p_1 V_1 (n-1)^2}{2} \cdot \frac{1}{2 p_1 V_1 (n^2 - 1)} = \frac{1}{4} \cdot \frac{(n-1)(n-1)}{(n-1)(n+1)} = \frac{1}{4} \frac{(n-1)}{(n+1)}$$

$$\eta = \frac{A_2}{Q_1} =$$

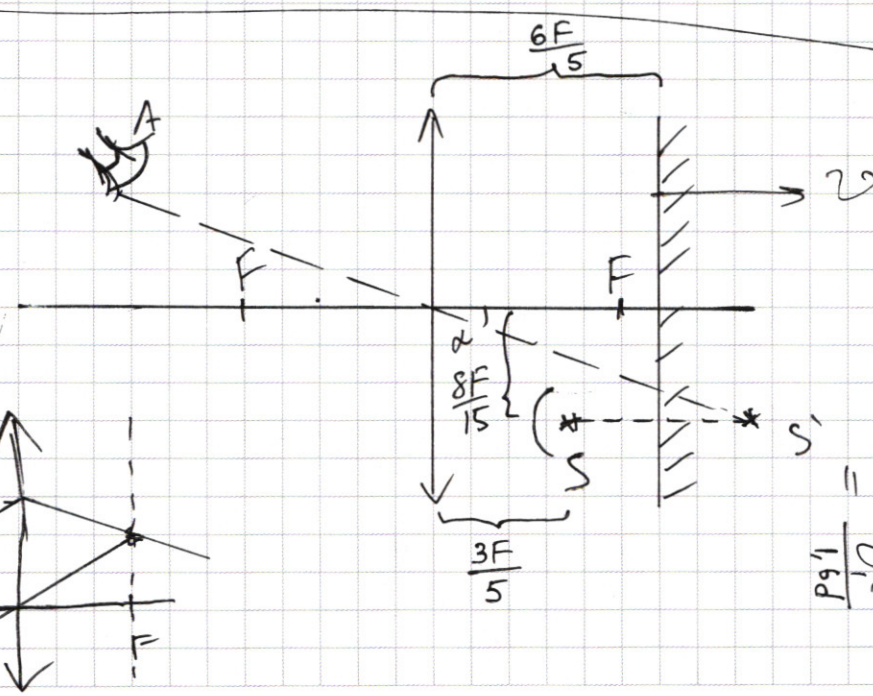
n = 1001

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1000}{1002} = \frac{250}{1002}$$



$$\frac{156}{526} \times \frac{26}{26}$$

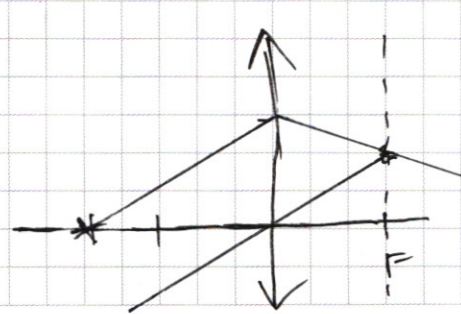
$$\frac{8F}{15} \cdot \frac{1}{5} = \frac{8F}{75}$$



$$\frac{189}{549} = m a$$

$$\frac{189}{549} = m a$$

$$\frac{189}{549} = m a$$



$$a = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2 \cdot 0.8d} = \frac{v_1^2 - v_0^2}{1.6d}$$