

# Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

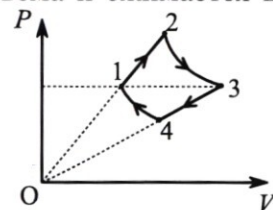
## Вариант 11-06

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

1. Шарик подвешен в поле тяжести на легкой упругой пружине с неизвестной жесткостью. Шарик поднимают вверх до положения, когда пружина не деформирована, и отпускают. При дальнейшем движении шарика вдоль вертикали в некоторые моменты времени силы, действующие на шарик со стороны пружины, отличаются в 2,5 раза, а модули ускорений равны.

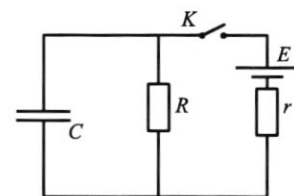
- 1) Найти модуль ускорения в эти моменты.
- 2) Найти отношение кинетических энергий шарика в эти моменты.
- 3) Найти отношение максимальной энергии деформации пружины к максимальной кинетической энергии шарика.

2. Идеальный одноатомный газ из состояния 1 с температурой  $T_1$  расширяется в процессе 1-2 прямо пропорциональной зависимости давления  $P$  от объема  $V$ . Затем газ расширяется в изотермическом процессе 2-3, сжимается в процессе 3-4 прямо пропорциональной зависимости давления от объема и сжимается в изотермическом процессе 4-1. В процессе 3-4 объем газа уменьшается в  $k = 1,9$  раза. Давления газа в состояниях 1 и 3 равны.



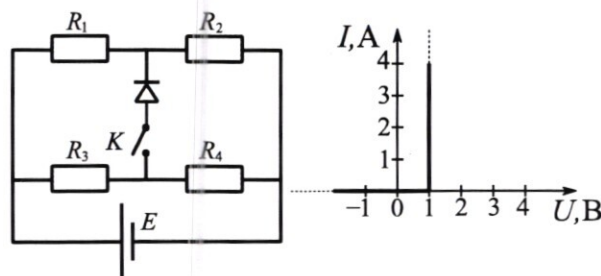
- 1) Найти температуру газа в процессе 2-3.
- 2) Найти отношение объемов газа в состояниях 2 и 4.
- 3) Найти молярную теплоемкость газа в процессе 3-4.

3. В электрической цепи (см. рис.) все элементы идеальные, конденсатор не заряжен. Величины  $E, R, C$  известны,  $r = 2R$ . Ключ  $K$  на некоторое время замыкают, а затем размыкают, когда скорость роста энергии конденсатора максимальна.



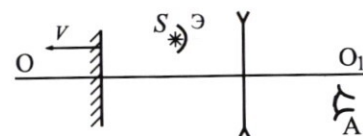
- 1) Найти напряжение на резисторе  $R$  сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти заряд конденсатора непосредственно перед размыканием ключа.
- 3) Найти максимальную скорость роста энергии, запасаемой конденсатором.

4. В цепи используется мостовая схема (см. рис.). ЭДС идеального источника  $E = 12$  В,  $R_1 = 5$  Ом,  $R_2 = 1$  Ом,  $R_4 = 22$  Ом. Вольтамперная характеристика диода показана на рисунке, пороговое напряжение диода  $U_0 = 1$  В.



- 1) Найти ток через резистор  $R_1$  при разомкнутом ключе  $K$ .
- 2) При каких значениях  $R_3$  ток потечет через диод при замкнутом ключе  $K$ ?
- 3) При каком значении  $R_3$  мощность тепловых потерь на диоде будет равна  $P_D = 3$  Вт?

5. Оптическая система состоит из тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием  $-F$  ( $F > 0$ ), 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 линзы  $OO_1$ . Источник  $S$  находится на расстоянии  $8F/15$  от оси  $OO_1$  и на расстоянии  $4F/5$  от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью  $V$  вдоль оси  $OO_1$ . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии  $8F/5$  от линзы.



- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель  $A$  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

Дано: Решение: №1.

$$\frac{F_2}{F_1} = 2,5$$

$$|a_1| = |a_2|$$

$$1) |a_1| = |a_2| = ?$$

$$2) \frac{E_{k2}}{E_{k1}} = ?$$

$$3) \frac{E_{\Delta \max}}{E_{k \max}}$$

$$1) m a_1 = m g - F_1 ; m - \text{масса шарика}$$

$$- m a_2 = m g - F_2$$

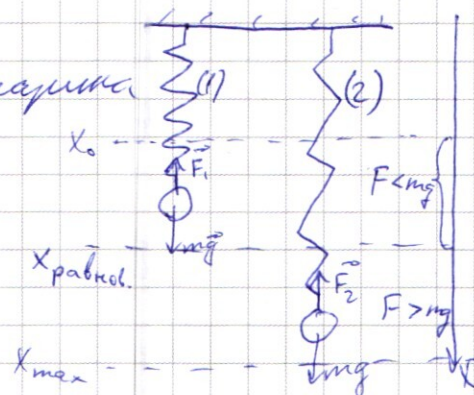
$$m g - F_1 = F_2 - m g$$

$$3,5 F_1 = 2 m g$$

$$F_1 = \frac{4}{7} m g$$

$$m a_1 = m g - \frac{4}{7} m g$$

$$|a_1| = |a_2| = \frac{3}{7} g$$



$$2) \quad (1): m g x_1 = \frac{K x_1^2}{2} + E_{k1} ; K - \text{коэф. жесткости}; x_1, x_2 - \text{расстояния пружины в соот. (1) и (2) соотв.}$$

$$(2): m g x_2 = \frac{K x_2^2}{2} + E_{k2}$$

$$F_2 = 2,5 F_1 ; F = K x \Rightarrow x_2 = \frac{5}{2} x_1$$

$$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{m g x_2 - \frac{K x_2^2}{2}}{m g x_1 - \frac{K x_1^2}{2}} = \frac{m g \cdot \frac{5}{2} x_1 - \frac{25 K x_1^2}{8}}{m g x_1 - \frac{K x_1^2}{2}} = \frac{\frac{5}{2} m g - \frac{25}{8} K x_1}{m g - \frac{K x_1}{2}}$$

$$F_1 = K x_1 = \frac{4}{7} m g$$

$$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{\frac{5}{2} m g - \frac{25}{8} \cdot \frac{4}{7} m g}{m g - \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{7} m g} = 1$$

$$3) E_{\Delta \max} = E_{\text{полнmax}} = \frac{K x_{\max}^2}{2} = m g x_{\max} \Rightarrow x_{\max} = \frac{2 m g}{K} \quad (x_{\max} - \text{max растяж.})$$

$$E_{k \max} = m g x_{\text{равнов}} + \frac{K x_{\text{равнов}}^2}{2} \quad (x_{\text{равнов}} - x, \text{ при кт. } m g = K x_{\text{равнов}})$$

$$x_{\text{равнов}} = \frac{m g}{K} = \frac{1}{2} x_{\max}$$

$$\frac{E_{\Delta \max}}{E_{\kappa \max}} = \frac{\frac{K x_{\max}^2}{2}}{mg x_{\text{раб}} + \frac{K x_{\text{раб}}^2}{2}} = \frac{\frac{K x_{\max}^2}{2}}{\frac{mg x_{\max}}{2} + \frac{K x_{\max}^2}{8}} = \frac{\frac{K \cdot 2mg}{2K}}{\frac{mg}{2} + \frac{K \cdot 2mg}{4K}} = \frac{mg}{\frac{3}{4}mg} = \frac{4}{3}$$

$$\boxed{\frac{E_{\Delta \max}}{E_{\kappa \max}} = \frac{4}{3}}$$

Ответ: 1)  $\frac{3}{4} g = 1$ ; 2)  $\frac{E_{\kappa 2}}{E_{\kappa 1}} = 1$ ; 3)  $\frac{4}{3} = \frac{E_{\Delta \max}}{E_{\kappa \max}}$

Дано:

Решение:

$i=3$ ;  $T_1$ ;  $\frac{V_3}{V_4} = 1,9$   
 ~~$p_1 = p_3$~~

Известно  $p_1 = p_0$ ;  $V_1 = V_0$ , тогда

$p_1 = p_3 = 1,9 p_0$  (т.к.  $V_3 = 1,9 V_4$ )  $1,9 p_0$

1)  $T_2 = T_3$  - ?

$p_2 = \alpha \cdot 1,9 p_0$  (т.к. 1-2 - изохора  $p_2$ )  $p_0$

2)  $\frac{V_2}{V_4}$  - ?

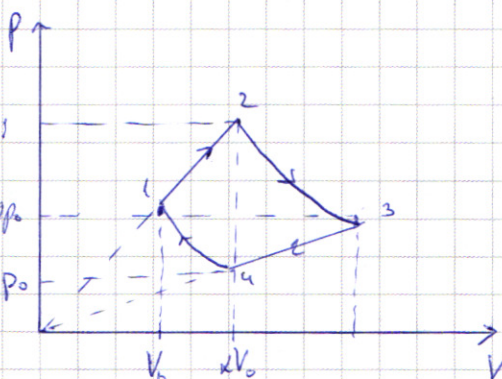
$V_2 = \alpha V$ ;  $V_3 = 1,9^2 V_0$

3)  $C_{34}$  - ?

$V_4 = 1,9 V_0$  ( $p_1 V_1 = p_4 V_4$  (изохора.))

$p_2 V_2 = p_3 V_3$ ;  $V_3 = \alpha^2 V_0 = 1,9^2 V_0 \Rightarrow \alpha = 1,9$

$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ ;  $T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \cdot T_1 = \alpha^2 T_1$   
 $T_2 = 3,61 T_1$



2)  $\frac{V_2}{V_4} = \frac{\alpha V_0}{1,9 V_0} = 1$

3)  $T_2 = T_3 = 3,61 T_1 = 3,61 T_4$

$Q = A + \Delta U$

$C_{34} \nu (T_4 - T_3) = - \frac{p_4 + p_3}{2} (V_3 - V_4) + \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3)$

$C_{34} \nu \cdot 2,61 T_1 = \frac{2,9 \cdot 1,71}{2} p_0 V_0 + \frac{3 \cdot 2,61}{2} \nu R T_1$ ;  $p_0 V_0 = \frac{\nu R T_1}{1,9}$

$C_{34} = R \left( \frac{2,9 \cdot 1,71}{2 \cdot 1,9 \cdot 2,61} + \frac{3}{2} \right) = 2R$

Ответ: 1)  $T_2 = 3,61 T_1$ ; 2)  $\frac{V_2}{V_4} = 1$ ; 3)  $C_{34} = 2R$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:  $E, R, C, r=2R$

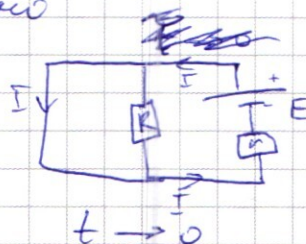
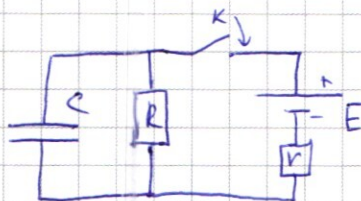
Решение: №3

1)  $U_{R_0}$  - ?  
2)  $q_C$  - ?  
3)  $W_{C_{max}}$  - ?

В первый момент времени весь заряд пойдет на конденсатор  $\Rightarrow$  его можно заменить на нулевой?

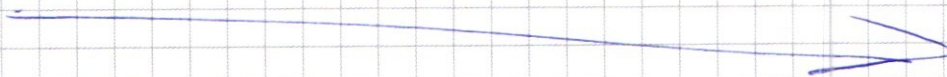
$$U_{R_0} = E - I r ; I = \frac{E}{r}$$

$$\Downarrow$$

$$U_{R_0} = 0 \text{ В}$$


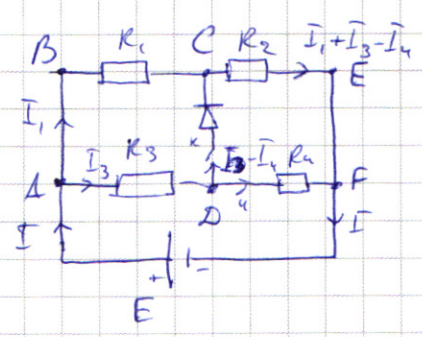
2)  $U_R(t) = U_C(t)$

см. ~~фр~~ след. стр.



Дано:  
 $E = 12 \text{ В}$   
 $R_1 = 5 \text{ Ом}$   
 $R_2 = 1 \text{ Ом}$   
 $R_3 = 22 \text{ Ом}$   
 $U_0 = 1 \text{ В}$

Решение:  
 1)  $\bar{I}_{10} = \bar{I}_{20} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{12}{6} = 2 \text{ А}$



- 1)  $\bar{I}_{10} = ?$
- 2)  $R_{3\text{эф}} = ?$
- 3)  $R_3 = ?$ ;  $P_D = ?$

2) 23-е Кирхгоффа:

$$E = \bar{I}_3 R_3 + U_0 + \bar{I}_2 R_2$$

$$U_0 = E - \bar{I}_3 R_3 - \bar{I}_2 R_2$$

$$U_0 = E - \bar{I}_1 R_1 - \bar{I}_4 R_4$$

Если  $U_0 > U_0$ , то ток идет...

$$\bar{I}_2 = \bar{I}_1 + \bar{I}_3 + \bar{I}_4$$

$$\varphi_B - \varphi_E = \varphi_A - \varphi_F = E; \quad \varphi_B = \varphi_A = E; \quad \varphi_E = \varphi_F = 0$$

$$\varphi_D - \varphi_C \geq U_0$$

Также  $\varphi_D - \varphi_C = U_0$ , тогда:

$$\bar{I}_{BE} = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

$$\bar{I}_{AF} = \frac{E}{R_3 + R_4}$$

$$\varphi_D = \varphi_A - \bar{I}_{AF} \cdot R_3$$

$$\varphi_C = \varphi_B - \bar{I}_{BE} \cdot R_1$$

$$E - \frac{E}{R_3 + R_4} \cdot R_3 - E + \frac{E}{R_1 + R_2} R_1 = U_0$$

$$\frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{U_0}{E}$$

$$\frac{R_3}{R_3 + 22} = \frac{5}{6} - \frac{1}{12}$$

$$R_3 = \frac{3}{4} R_3 + \frac{3 \cdot 11}{2}$$

$$R_3 = 2 \cdot 3 \cdot 11 = 66 \text{ Ом} \Rightarrow \text{Если } R_3 \leq 66 \text{ Ом } \bar{I}_D > 0$$

3)  $P_D = U_0 \cdot \bar{I}_D \Rightarrow \bar{I}_D = 3 \text{ А}$

$$E = \bar{I}_3 R_3 + U_0 + \bar{I}_2 R_2$$

Ответ: 1) 2 А; 2)  $R_3 \leq 66 \text{ Ом}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$h = \frac{8}{15} F$$

$$l = \frac{4}{5} F$$

$$V, L = \frac{8}{5} F$$

1) f - ?

2)  $\alpha - ?$

3)  $v_a - ?$

## Решение:

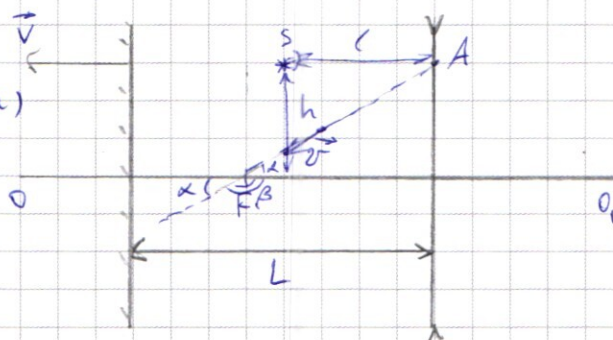
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \quad (\text{расчет линзы})$$

$$d = L + (L - l) = 2L - l$$

$$d = \frac{16}{5} F - \frac{4}{5} F = \frac{12}{5} F$$

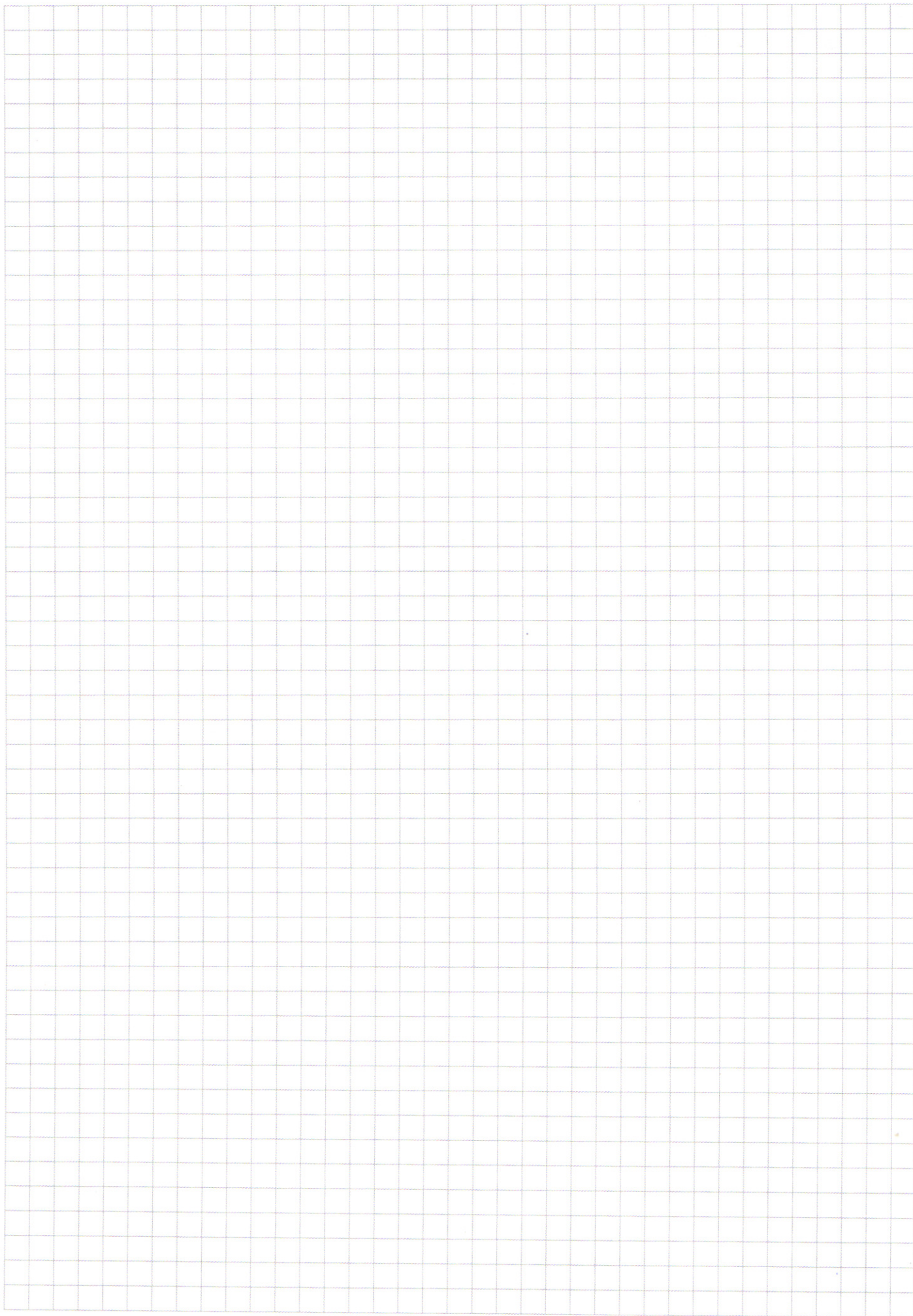
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}$$

$$f = \frac{Fd}{F+d} = \frac{K \cdot \frac{12}{5} K}{K + \frac{12}{5} K} = \frac{12}{5 \cdot 17} = \frac{12}{85} F \quad (\text{изображение уменьшено, сила отливки})$$



2) Все изобразим. Элементы  $S$  при  $h = \text{const}$  лежат  
 на прямой  $FA \Rightarrow \angle \alpha = \text{tg} \alpha = \frac{h}{F} = \frac{8}{15}$   
 $\beta = 180 - \arctg\left(\frac{8}{15}\right)$

Ответ:  $t = \frac{12}{17} F$  (мгн, слева); 2)  $\beta = 180 - \arctg(\frac{8}{15})$



☐ черновик    ☒ чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 6  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

$E, R, C$   
 $r = 2R$

- 1)  $U_{0R}$  - ?
- 2)  $q_c$  - ?
- 3)  $W_c$  - ?

Решение:

$$1) U_{0R} = E - I \cdot r; I = \frac{E}{r} = \frac{E}{2R}$$

$$U_{0R} = E(1 - 1) = 0$$

$$2) W_c = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{2C}$$

$$W_c = qE - I^2 r t = qE - \frac{E^2}{r} \cdot t$$

$$W_c = E(q - \frac{E}{r})$$

$$U_c = \frac{q}{C}$$

$$W_c = IE \cdot t - \frac{E^2}{r} \cdot t$$

$$W_c = qE$$

$$qE = W_c + I$$

$$I r = E - U_c$$

$$\frac{q}{t} r = E - \frac{q}{C}$$

$$q = \frac{E}{\frac{r}{t} + \frac{1}{C}}$$

$$W_c = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{2C}$$

$$W_c' = \frac{I q}{2}$$

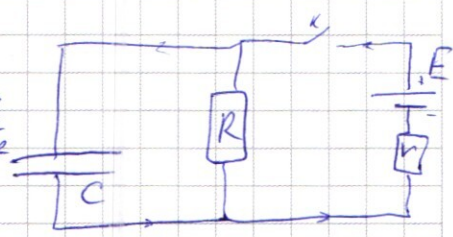
$$W_c' = \frac{q I}{C}$$

$$I_c = I - I_r$$

$$I_r = \frac{U_c}{R}$$

$$\frac{d(q)}{dt} = 2qI$$

$$I = \frac{E}{r + R}$$



✓4

$$\begin{aligned} E &= 12 \text{ В} \\ R_1 &= 5 \text{ Ом} \\ R_2 &= 1 \text{ Ом} \\ R_3 &= 22 \text{ Ом} \\ U_0 &= 1 \text{ В} \end{aligned}$$

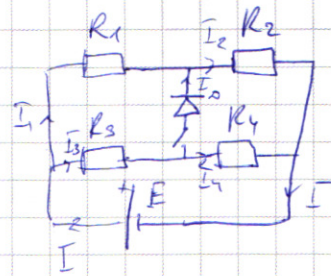
1)  $I_1$  - ?

2)  $R_3$  - ?

3)  $R_3$  - ? ;  $P_0 = 3 \text{ Вт}$

1)  $I_1 = I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$

$$I_1 = \frac{12 \text{ В}}{5 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}$$



2)  $I = I_1 + I_3$  ;  $I_2 = I_1 + I_0$

$$I_3 = I_0 + I_4$$

$$E = I_3 R_3 + I_4 R_4$$

$$E = I_1 R_1 + I_2 R_2$$

$$I_1 R_1 = U_0 + I_3 R_3$$

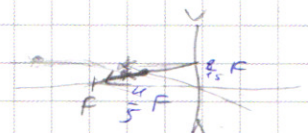
$$E = U_0 + I_3 R_3 + I_2 R_2$$

✓5

1)  $-\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}$  ;  $d = \frac{4}{5} F + \frac{8}{5} F = \frac{12}{5} F$

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

$f = \frac{\frac{12}{5} F \cdot \frac{8}{5} F}{\frac{17}{5} F} = \frac{12}{17} F$  (слова от линзы, мнимая)



2)  $\alpha = 180 - \arctg\left(\frac{8 \cdot 5}{17 \cdot 4}\right)$

$$\tan \alpha = \frac{2}{3}$$

3)  $v = \frac{ds}{dt}$  ;  $ds =$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{F_1}{F_2} = 2,5$   
 $|a_1| = |a_2|$   
 $F_1 = 2,5 F_2$   
 $-ma_1 = -F_1 + mg$ ,  $m$  — масса шарика

$\frac{F_2}{F_1} = 2,5$   
 $|a_1| = |a_2|$

1)  $ma_1 = mg - F_1$ ;  $m$  — масса

$-ma_2 = mg - F_2$

$F_2 - mg = mg - F_1$

$3,5 F_1 = 2mg$

$mg = \frac{7}{4} F_1$ ;  $F_1 = \frac{4}{7} mg$

$ma_1 = mg - \frac{4}{7} mg$

$|a_1| = |a_2| = \frac{3}{7} g = |a_2|$

2)  $\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = ?$

1)  $mgx_1 = \frac{Kx_1^2}{2} + E_{k1}$

2)  $mgx_2 = \frac{Kx_2^2}{2} + E_{k2}$ ;  $\frac{x_2}{x_1} = 2,5$

$\frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{mgx_2 - \frac{Kx_2^2}{2}}{mgx_1 - \frac{Kx_1^2}{2}} = \frac{mg \cdot 2,5x_1 - \frac{25Kx_1^2}{8}}{mgx_1 - \frac{Kx_1^2}{2}} = \frac{\frac{5}{2}mg - \frac{25}{8}Kx_1}{mg - \frac{1}{2}Kx_1}$

$= \frac{\frac{5}{2}mg - \frac{25}{8} \cdot \frac{4}{7}mg}{mg - \frac{1}{8} \cdot \frac{4}{7}mg} = \frac{\frac{5}{2} - \frac{25}{14}}{1 - \frac{2}{7}} = \frac{\frac{10}{2} - \frac{25}{14}}{\frac{5}{7}} = \frac{\frac{20}{14} - \frac{25}{14}}{\frac{5}{7}} = \frac{-\frac{5}{14}}{\frac{5}{7}} = -\frac{1}{2}$

3) ЗСЭ:  $E_n + E_k + E_{\Delta} = E_{n, \max} = E_{k, \max} = E_{\Delta, \max} = E_{\max}$

$\frac{Kx_{\max}^2}{2} = E_{\Delta, \max} = mgx_{\max}$

$E_{\Delta, \max} = E_{\max}$

$E_{k, \max} = mgx_p + \frac{Kx_p^2}{2}$

$E_{k, \max} = mgx_{\max} - \frac{Kx_{\max}^2}{2}$

$E_{k, \max} = E_{\max} - E_n - E_{\Delta}$

$Kx_p = mg$

$Kx_1 = \frac{4}{7}mg$

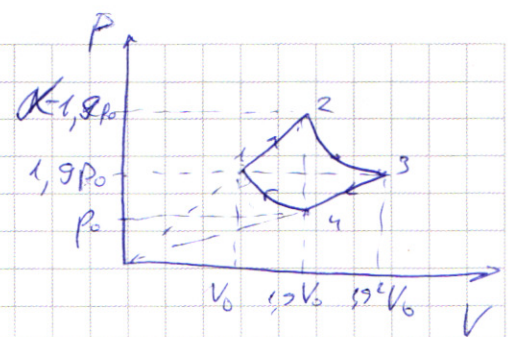
$x_1 = \frac{4}{7}x_p$

$mgx_{\max} = \frac{Kx_{\max}^2}{2}$

$x_{\max} = \frac{2mg}{K}$

$i = 3$   
 $T_1, T_2, T_3$   
 $2-3, 4-1$  — изохоры.  
 $\frac{V_3}{V_4} = 1,9$   
 $p_1 = p_3$

$\sqrt{2}$   
 $p_{\text{участка}} p_4 = p_0$ , тогда  
 $p_1 = p_3 = 1,9 p_0$   
 $p_2 = \alpha \cdot 1,9 p_0$



- 1)  $T_{23} - ?$   
 2)  $\frac{V_2}{V_4} - ?$   
 3)  $C_{34} - ?$

$V_1 = V_0; V_2 = \alpha V_0$   
 $V_3 = 1,9 V_4$   
 $p_2 V_2 = p_3 V_3; V_3 = \frac{\alpha \cdot 1,9 p_0 \cdot \alpha V_0}{1,9 p_0} = \alpha^2 V_0$   
 $V_4 = \frac{\alpha^2}{1,9} V_0$

$$\begin{array}{r}
 \times 1,9 \\
 1,9 \\
 \hline
 1,71 \\
 + 1,9 \\
 \hline
 3,61
 \end{array}$$

$p_1 V_1 = \nu R T_1$   
 $p_2 V_2 = \nu R T_2$   
 $T_1 = T_4$   
 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}; T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} \cdot T_1 = \frac{\alpha \cdot 1,9 p_0 \cdot \alpha V_0}{1,9 p_0 \cdot V_0} \cdot T_1$   
 $T_2 = \alpha^2 T_1$

1)  $T_3 = \frac{p_3 V_3}{p_4 V_4} \cdot T_4 = \frac{1,9 p_0 \cdot \alpha^2 V_0}{p_0 \cdot \frac{\alpha^2}{1,9} V_0} T_1 = 1,9^2 T_1 = 3,61 T_1$

2)  $\frac{V_2}{V_4} = \frac{\alpha V_0}{\frac{\alpha^2}{1,9} V_0} = \frac{1,9}{\alpha}$

$p_1 V_1 = p_4 V_4; V_4 = \frac{1,9 p_0 V_0}{p_0} = 1,9 V_0$

$1,9 V_0 = \frac{\alpha^2}{1,9} V_0$   
 $\alpha = 1,9 \Rightarrow \frac{V_2}{V_4} = \frac{1,9 V_0}{\frac{1,9^2}{1,9} V_0} = 1$

3)  $T_2 = T_3 = 1,9^2 T_1 = 3,61 T_1$   
 $Q = A + \Delta U$   
 $-C_{34} \nu (T_3 - T_4) = -\frac{\nu R}{2} (T_3 - T_4) - \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_4)$

$C_{34} \nu \cdot 2,61 T_1 = \frac{3 p_0}{2} \cdot (3,61 - 1,9) V_0 + \frac{3}{2} \nu R \cdot 2,61 T_1$

$1,9 p_0 V_0 = \nu R T_1; C_{34} \nu \cdot 2,61 T_1 = \frac{2,9 \cdot 1,71}{2 \cdot 1,9} \nu R T_1 + \frac{3 \cdot 2,61}{2 \cdot 1,9} \nu R T_1$   
 $p_0 V_0 = \frac{\nu R T_1}{1,9}$

$$\begin{array}{r}
 \times 2,61 \\
 1,9 \\
 \hline
 2,349 \\
 + 2,349 \\
 \hline
 2,61 \\
 4,959
 \end{array}$$

$C_{34} = \left( \frac{2,9 \cdot 1,71}{2 \cdot 1,9 \cdot 2,61} + \frac{3}{2} \right) R$

$C_{34} = \left( \frac{4,959}{2 \cdot 4,959} + \frac{3}{2} \right) R = 2R$