

Олимпиада «Физтех» по физике, (

Класс 11

Вариант 11-07

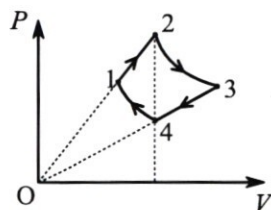
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без в.

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 3 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.

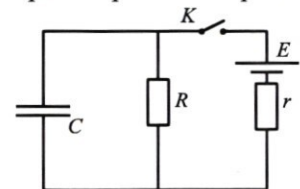
2. Идеальный одноатомный газ из состояния 1 с температурой T_1 расширяется в процессе 1-2 прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V . В процессе 1-2 объем газа увеличивается в $k = 1,8$ раза. Затем газ расширяется в изотермическом процессе 2-3, сжимается в процессе 3-4 прямо пропорциональной зависимости давления от объема и сжимается в изотермическом процессе 4-1. Объемы газа в состояниях 2 и 4 равны.

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



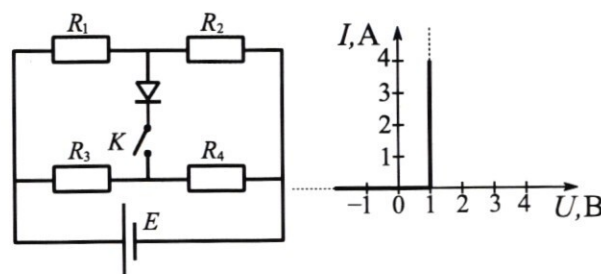
3. В электрической цепи (см. рис.) все элементы идеальные, конденсатор не заряжен. Величины E, R, C известны, $r = 3R$. Ключ K на некоторое время замыкают, а затем размыкают, когда скорость роста энергии конденсатора максимальна.

- 1) Найти ток, текущий через источник, сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти ток, текущий через конденсатор, непосредственно перед размыканием ключа.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



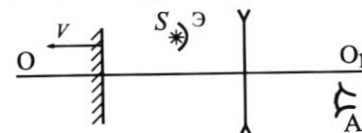
4. В цепи используется мостовая схема (см. рис.). ЭДС идеального источника $E = 8$ В, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 2$ Ом. Вольтамперная характеристика диода показана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

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

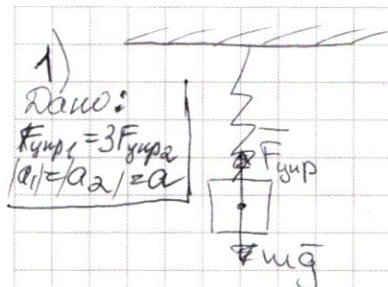


5. Оптическая система состоит из тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $-F$ ($F > 0$), плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси линзы OO_1 . Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии F от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/2$ 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



Условие По условию заданы пружина
идеальная, значит ее масса можно
пренебречь, и грузы (колебания
совершаются только в поле тяжести) $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ колебания можно считать
гармоническими

1. Запишем II закон Ньютона для двух систем:

$$\begin{cases} ma_1 = F_{\text{упр}1} - mg \\ ma_2 = mg - F_{\text{упр}2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} ma = 3F_{\text{упр}2} - mg \\ ma = mg - F_{\text{упр}2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} ma = 3kx_2 - mg \\ ma = mg - kx_2 \end{cases} \Rightarrow$$

$\Rightarrow ma = kx_2 \Rightarrow 2ma = mg \Rightarrow a = g/2$, поскольку
сказано, что равны модули ускорений, расстановка
знаков в II ЗН не имеет значения (лучше либо дво-
единицу к направлению, либо и ~~против~~ противоречия)

2. Запишем закон сохранения механической энергии:

$$\frac{kx_1^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} + mgx_1 = \frac{kx_2^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + mgx_2$$

$$\frac{kx_1^2}{2} + E_{k1} + 2mgx_2 = \frac{kx_2^2}{2} + E_{k2} + mgx_2 \quad \text{из предыдущего пункта:}$$

$$mg = 2kx_2 \Rightarrow 4kx_2^2 + E_{k1} = E_{k2} + 4kx_2^2 \Rightarrow E_{k1} = E_{k2}$$

Ответ: $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = 1$

$$3) \frac{W_{\text{max}}}{E_{k\text{max}}} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{mv_{\text{max}}^2} = \frac{k\omega^2}{m} = \left(\frac{k}{m}\right)^2$$

2) Дано:

$$V_2 = 1.8V_1$$

$$V_2 = V_4$$

Из условия для процесса 1-2: $p = f \cdot V$, где
 f - коэфф. пропорциональности
2-3: $T = \text{const} \Rightarrow p_2 V_2 = p_3 V_3; T_2 = T_3$
3-4: $p = g \cdot V$, где g - коэфф. пропорц.
4-1: $T = \text{const} \Rightarrow p_4 V_4 = p_1 V_1; T_4 = T_1$

1. Запишем уравнение Менделеева - Клапейрона
для состояний 1 и 2: $p_1 V_1 = \nu R T_1; p_2 V_2 = \nu R T_2$, разделим (2)
на (1): $\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1.8 \cdot V_1^2}{V_1^2} = 1.8^2 \Rightarrow T_2 = T_3 = 1.8^2 T_1 = 3.24 T_1$
Ответ: $T_2 = T_3 = 3.24 T_1$

2. Запишем ур. энергосохранения для соед. 3 и 4: $p_3 V_3 = \Delta RT_3 = \Delta RT_2$; $p_4 V_4 = \Delta RT_4 = \Delta RT_1 \rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{p_3 V_3}{p_4 V_4} = \frac{T_2}{T_1} = 3,24 = \frac{8 \cdot V_3^2}{8 \cdot V_4^2} \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} = 1,8; \frac{p_3}{p_4} = 1,8;$$

По 3. Бойле-Мариотта: $p_1 V_1 = p_4 V_4 = \frac{p_3 V_3}{3,24} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{p_3}{p_1} = \frac{V_1}{V_3} \cdot 3,24; V_4 = V_2 = 1,8 V_1 \Rightarrow \text{из ур. (3) имеем:}$$

$$\frac{V_3}{V_4} = 1,8 \Rightarrow \frac{V_3}{1,8 V_1} = 1,8 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = 3,24 \Rightarrow \frac{V_1}{V_3} = \frac{1}{3,24}, \text{ тогда из ур. (4):}$$

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{V_1}{V_3} \cdot 3,24 = \frac{3,24}{3,24} = 1 \quad \text{Ответ: } \frac{p_3}{p_1} = 1.$$

$$3. Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = c m \Delta T_{12} \Leftrightarrow \frac{i}{2} \Delta R (T_2 - T_1) + \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = c m (T_2 - T_1)$$

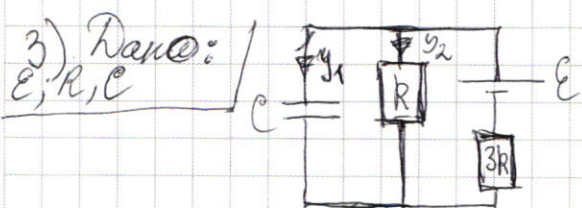
рассчитаем 12-ую часть под графиком процесса 12

$$\frac{i}{2} \Delta R T_1 (3,24 - 1) + \frac{p_1 (1,8 + 1)}{2} \cdot V_1 (1,8 - 1) = c m T_1 (3,24 - 1)$$

$$\frac{i}{2} \Delta R T_1 \cdot 2,24 + \Delta R T_1 \cdot 1,4 \cdot 0,8 = c m \cdot T_1 \cdot 2,24$$

$$3,36 R \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} + 1,12 \frac{\text{м}}{\text{м}} R = c m \cdot 2,24$$

$$2448 R = c m \cdot 224 \Rightarrow c m \approx 16,62 \quad \text{Ответ: } c m \approx 16,62$$



1. Сразу после замыкания ключа ~~во~~ весь ток пойдет через резистор R , т.е. из 3. Ома для полной цепи: $y_0 = \frac{E}{R + 3R} = \frac{E}{4R}$ (источник и R соед. последовательно)

Ответ: ток через источник $y_0 = \frac{E}{4R}$.

2. Скорость роста энергии — мощность $\Rightarrow P = P_{\text{max}}$

$$P = y_1 U_C; U_C = y_2 \cdot R \Rightarrow P = y_1 y_2 R + y_2 = y_0 \quad (\text{I правило Кирхгофа})$$

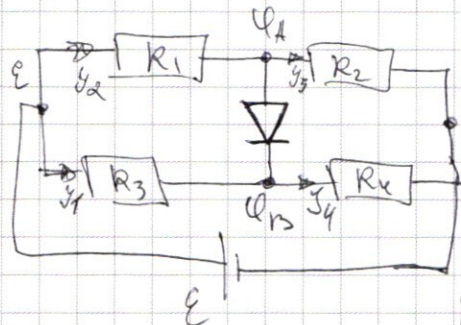
$\Rightarrow P = y_1 (y_0 - y_1) R = R y_0 y_1 - y_1^2 R$ — параболa, ветви вниз, максимум достигается в вершине:

$$y_1 = \frac{-R y_0}{-2R} = \frac{y_0}{2} \Rightarrow \text{Ток перед размыканием ключа: } y_1' = \frac{y_0}{2} = \frac{E}{8R} \quad \text{Ответ: } y_1' = \frac{E}{8R}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. $U_C = U_R$, $y_1 = y_2 \Rightarrow U_C = \frac{E}{8R} \cdot R = \frac{E}{8}$; $Q_R = W_{C_{max}} =$
 $= \frac{CU^2}{2} = \frac{CE^2}{128}$ Ответ: $Q_R = \frac{CE^2}{128}$.

4) Дано:
 $E = 8В$
 $R_2 = 30\Omega$
 $R_3 = 60\Omega$
 $R_4 = 20\Omega$
 $U_0 = 1В$



При разомкнутом ключе
 общее сопротивление
 цепи: $R_0 = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} =$
 $= \frac{8(3+R_1)}{11+R_1}$ По 3. Ома где полный
 ток: $y_0 = \frac{E}{R_0} = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)}$

$U_{34} = U_{12} \Rightarrow 8y' = (3+R_1)y''$; $y' + y'' = y_0$

(по 1 Правилу Кирхгофа) $\Rightarrow y' + \frac{8y'}{3+R_1} = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)} \Rightarrow y' = \frac{E}{8} = 1А$

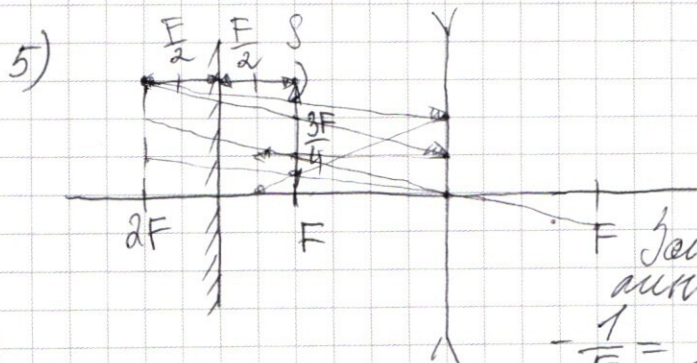
2. Для того чтобы диод был открыт, нужно $\varphi_A - \varphi_B = 1В$

Тогда $U_{R_1} = E - \varphi_A$, $U_{R_3} = E - \varphi_B \Rightarrow U_{R_3} - U_{R_1} = \varphi_A - \varphi_B = 1$

Запишем правила Кирхгофа:

$$\begin{cases} y_1 \cdot R_3 + y_3 \cdot R_2 = E \\ y_2 R_1 + y_4 R_4 = E \\ y_1 R_3 + y_4 R_4 = E \end{cases}$$

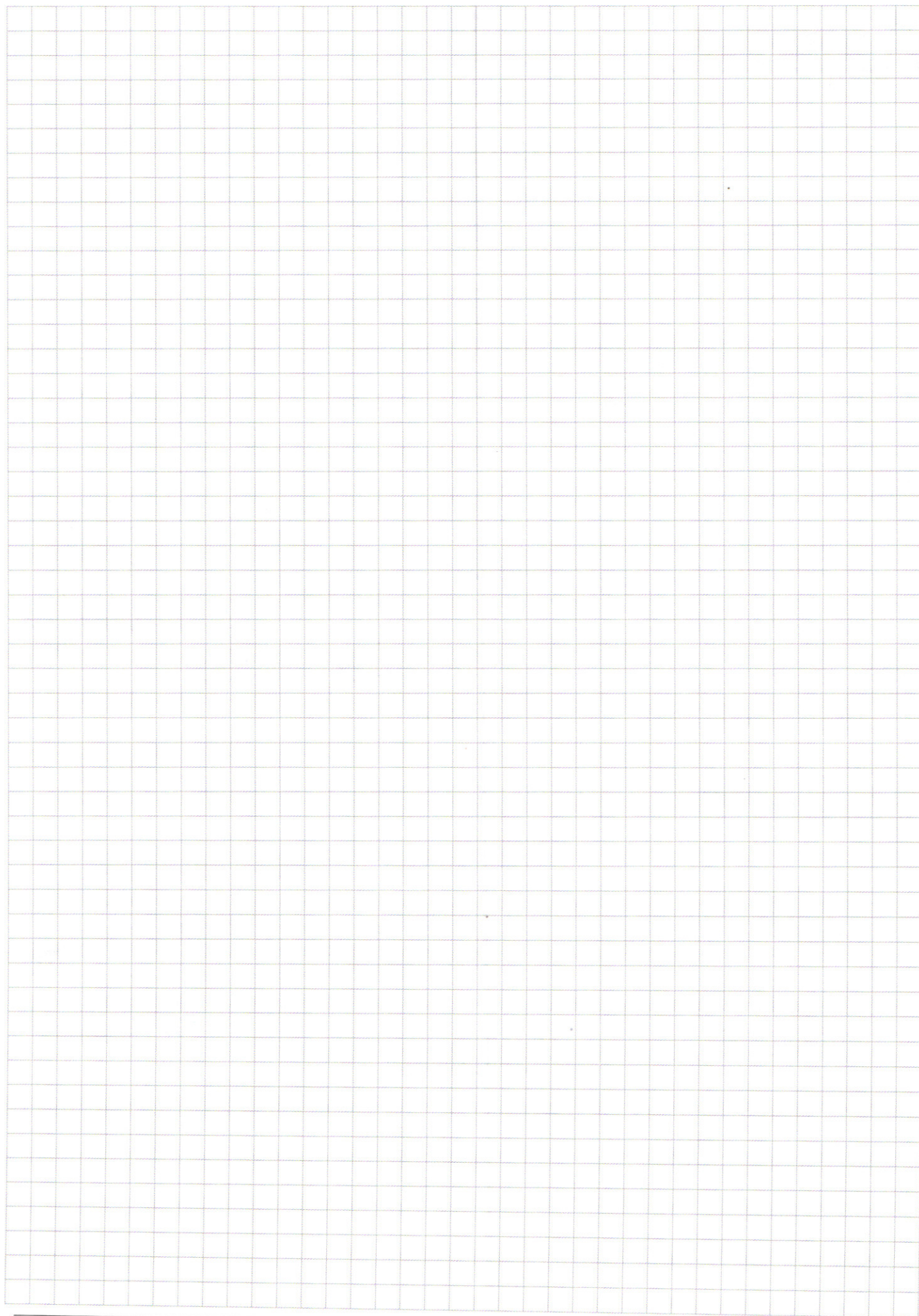
Чтобы плоское зеркало
 давало минимальное изобр. по
 равном расстоянию, пото-
 кое становится ~~вторичным~~
 источником света для
 рассеивающей линзы.



Запишем формулу тонкой
 линзы:

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

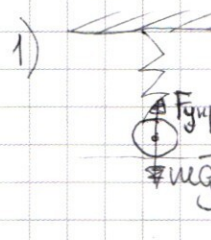
Ответ: $f = \frac{2}{3}F$.



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) 

$F_{\text{up}1} = 3F_{\text{up}2}$ $kx_1 = 3kx_2$ $x_1 = 3x_2$
 $a_1 = a_2$ $ma_1 = F_{\text{up}1} = 3kx_1 = 9kx_2$
 $ma_2 = kx_2$

$\begin{cases} ma = 3kx_2 - mg \\ ma = mg - kx_2 \end{cases}$ $\begin{cases} ma = 3kx_2 - kx_2 - ma \\ ma = kx_2 \end{cases}$

$ma = 3ma - mg$ $2ma = mg \Rightarrow a = g/2$

$ma = 3kx_2 - mg$ $ma = kx_2 - mg$ $\frac{mg}{2} 2kx_2 = mg$ $ma = mg - 3kx_2$
 $0 = 2kx_2 - \text{норм.}$ $mg = kx_0$
 $ma = kx_2 - ma - 3kx_2$

$\frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} + mgx = \text{const}$ $\frac{3kx_2^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + mgx_2 = 0$
 $kx + ma + mg = 0$ $\frac{kx_2^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - mgx_2 = 0$
 $v(kx + ma + mg) = 0$ $6kx_2^2 + \frac{mv_2^2}{2} + \frac{3mv_2^2}{2} = 0$
 $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + kx_{\text{max}}^2 = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2}$ $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{3mv_2^2}{2} + 12mgx_2 + 4E_{k1} + 12E_{k2} = 0$
 $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} + mgx_{\text{max}} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} + mgx_{\text{max}}$ $12mgx_2 + 4E_{k1} + 12E_{k2} = 0$
 $x = x_{\text{max}} \sin(\omega t)$ $E_{k1} - 9E_{k2} + 12mgx_2 = 0$
 $v = x_{\text{max}} \omega \cos(\omega t)$ $3E_{k1} + 2E_{k2} = 0$ $\left(\frac{1}{4}\right)$
 $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} \omega^2 + mgx_{\text{max}} \omega$ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
 $mv_{\text{max}} = kx_{\text{max}} \omega + mg \omega$ $\frac{kx_{\text{max}}^2}{mv_{\text{max}}} = \frac{k\omega^2}{m} = \left(\frac{k}{m}\right)^2$
 $D = 4m^2g^2 + 4kx_{\text{max}}^2 m$ $mg \leq kx$ $\omega = \frac{2mg}{kx_{\text{max}}}$
 $\omega_{1,2} = \frac{-2mg \pm \sqrt{D}}{2kx_{\text{max}}}$ $v_{\text{max}} = \frac{kx_{\text{max}} \omega^2 + 2g\omega}{m}$
 $2 \cdot kx_{\text{max}} \omega \cdot \omega = 2mg \omega$ $mg = kx_{\text{max}}$
 $ma_{\text{max}} = mg + kx_{\text{max}}$

$$1-2: p = f \cdot V \quad V_2 = 1,8V_1$$

$$2-3: T = \text{const} \Rightarrow p_2 V_2 = p_3 V_3; T_2 = T_3$$

$$3-4: p = 8 \cdot V$$

$$4-1: T = \text{const} \quad T_1 = T_4 \Rightarrow p_4 V_4 = p_1 V_1$$

$$V_2 = V_4 = 1,8V_1$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$1,8 \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 1,8 \cdot \frac{f V_2}{f V_1} = 1,8^2$$

$$\frac{T_4}{T_2} = \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^2 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{1,8^2}$$

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{1}{1,8} \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} = 1,8$$

$$\frac{V_3}{1,8V_1} = 1,8$$

$$\frac{V_3}{V_1} = 1,8^2$$

$$T_2 = 1,8^2 T_1$$

$$p_3 V_3 = \nu R T_2$$

$$p_4 V_4 = \nu R T_4 \Rightarrow$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_3 V_3 = \nu R T_2$$

$$p_1 = f V_1$$

$$p_2 = f V_2$$

$$\frac{p_2}{p_1} = 1,8$$

$$p_3 = 8 \cdot V_3$$

$$p_4 = 8 \cdot V_4$$

$$\frac{p_3}{p_4} = 1,8$$

$$p_4 V_4 = p_1 V_1 = \frac{p_3}{1,8} \cdot \frac{V_3}{1,8} = p_1 V_1$$

$$\frac{p_3}{p_1} = \frac{V_1}{V_3} \cdot 1,8^2 = \frac{1}{1,8^2} \cdot 1,8^2 = 1$$

$$Q = \Delta U + A_2 = \nu R \Delta T \left\{ \begin{aligned} &= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{p_1 + p_2}{2} \cdot (V_2 - V_1) = \\ &= \frac{3}{2} \nu R T_1 (1,8^2 - 1) + 1,4 p_1 \cdot 0,8 V_1 = \\ &= \nu R T_1 \left(\frac{3}{2} (1,8^2 - 1) + 1,4 \right) \end{aligned} \right.$$

$$3) P = P_{\text{max}}$$

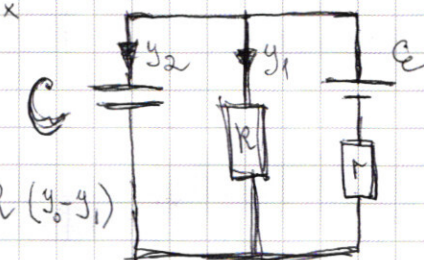
$$y \cdot U = y_{\text{max}} \cdot U_{\text{max}}$$

$$1) y_0 = \frac{\mathcal{E}}{r + R} = \left(\frac{\mathcal{E}}{4R} \right)$$

$$y_1 + y_2 = y_0$$

2)

$$\begin{cases} y_2 \cdot r = \mathcal{E} \\ y_1 \cdot R + y_1 \cdot r = \mathcal{E} \\ y_1 + y_2 = y_0 \end{cases} \quad P = y_1 R (y_0 - y_1)$$



$$y_2 = \frac{\mathcal{E}}{3R}$$

$$y_2 U_c = y_1 R$$

$$P = y_1 \cdot y_2 R = (y_0 - y_2) y_2 R =$$

$$= y_0 \cdot y_2 R - y_2^2 R$$

$$x_b = \frac{+y_0 R}{+2R} = \left(\frac{\mathcal{E}}{8R} \right) = y_2$$

$$P_R = \frac{C U^2}{2} = \frac{C \mathcal{E}^2}{128} ?$$

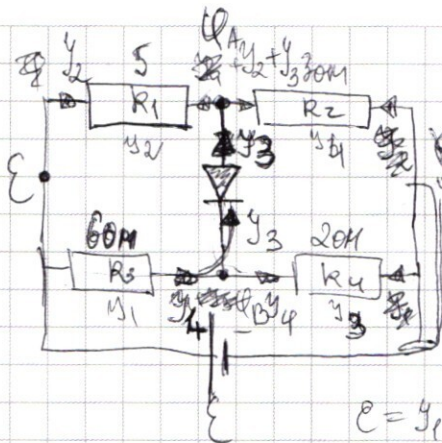
$$U_c = \mathcal{E} - y \cdot 3R$$

$$P_{\text{max}} = \frac{U_c^2}{R} = \frac{(\mathcal{E} - y \cdot 3R)^2}{R} = \frac{\mathcal{E}^2}{R} - 6 \mathcal{E} y + 9 y^2$$

$$q \mathcal{E} = \frac{C U_c^2}{2}$$

$$q = 2 C \mathcal{E}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$R_0 = \frac{(3+R_1) \cdot 8}{11+R_1}$$

$$y_0 = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)}$$

$$y_1 \cdot 8 = y_2 (3+R_1)$$

$$y_2 = \frac{8y_1}{R_1+3}$$

$$y_1 + \frac{8y_1}{R_1+3} = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)}$$

$$y_1 \left(\frac{R_1+11}{R_1+3} \right) = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)} = 1A$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 1V$$

$$U_{R_1} = E - \varphi_A$$

$$U_{R_0} = E - \varphi_B$$

$$U_{R_3} - U_{R_1} = E - \varphi_B - E + \varphi_A = 1V$$

$$y_1 R_3 - y_2 R_4 = 1V$$

$$y_3 \cdot 2 = y_4 \cdot 3 + 1$$

$$y_3 + y_4 = y_0 = y_2 + \frac{3}{2}y_4 + \frac{1}{2} = y_0$$

$$\frac{5}{2}y_4 + \frac{1}{2} = y_0$$

$$E = 6y_1 + 2y_4$$

$$E = y_2 R_1 + 3y_4$$

$$\frac{8E(11+R_1)}{8(3+R_1)} R_1 - y_1 R_1 = 1V$$

$$E = y_1 \cdot 2 + (y_1 + y_3) \cdot 6 = 8y_1 + 6y_3 = E$$

$$E = y_2 \cdot 3 + y_4 \cdot R_1 = 3y_2 + (3+R_1)y_4 = E$$

$$y_3 + y_4 = y_2$$

$$y_1 + y_2 = \frac{(11+R_1)E}{8(3+R_1)}$$

$$E = 6y_1 + 2y_4$$

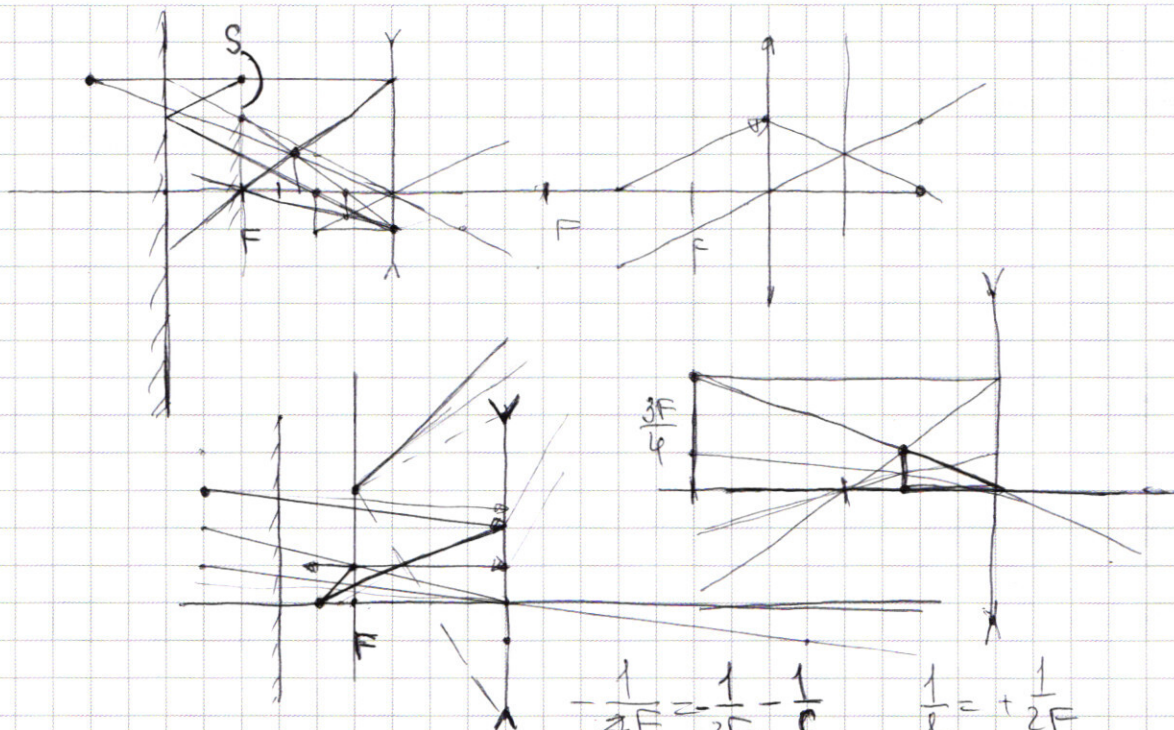
$$E = 6y_1 + (y_2 + y_3) \cdot 3$$

$$E = y_2 R_1 + (y_2 + y_3) \cdot 3$$

$$E = y_2 R_1 + 2y_4$$

$$6y_1 = y_2 R_1$$

$$6 \cdot (y_0 - y_2) = y_2 R_1$$



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

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

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

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

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

$$\begin{array}{r} 228 \\ 82 \\ 462 \\ \hline 812 \\ 812 \\ \hline 9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 112 \\ 211 \\ \hline 326 \\ 140 \\ \hline 810 \\ 1662 \\ \hline 2472 \end{array}$$

$$gkx^2 + m \frac{1}{2} + \frac{2}{2} (x_0 -$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

