

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-06

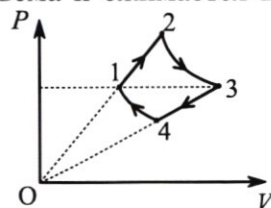
Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вло:

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.

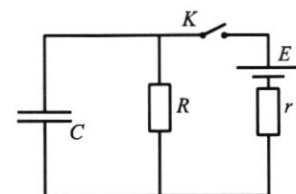
2. Идеальный одноатомный газ из состояния 1 с температурой T_1 расширяется в процессе 1-2 прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V . Затем газ расширяется в изотермическом процессе 2-3, сжимается в процессе 3-4 прямо пропорциональной зависимости давления от объема и сжимается в изотермическом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

Давления газа в состояниях 1 и 3 равны.



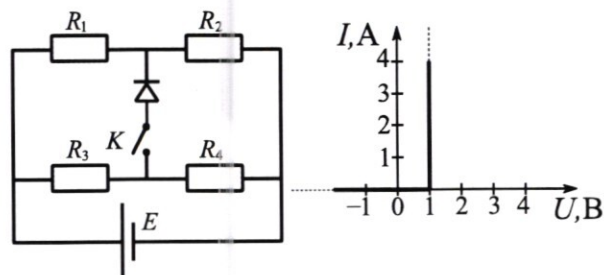
- 1) Найти температуру газа в процессе 2-3.
- 2) Найти отношение объемов газа в состояниях 2 и 4.
- 3) Найти молярную теплоемкость газа в процессе 3-4.

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.



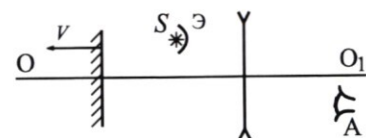
- 1) Найти напряжение на резисторе R сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти заряд конденсатора непосредственно перед размыканием ключа.
- 3) Найти максимальную скорость роста энергии, запасаемой конденсатором.

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.



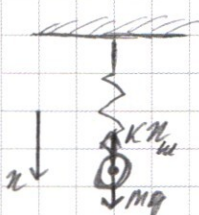
- 1) Найти ток через резистор R_1 при разомкнутом ключе K .
- 2) При каких значениях R_3 ток потечет через диод при замкнутом ключе K ?
- 3) При каком значении R_3 мощность тепловых потерь на диоде будет равна $P_D = 3$ Вт?

5. Оптическая система состоит из тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием $-F$ ($F > 0$), плоского зеркала и небольшого экрана 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 $8F/15$ 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 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



Запишем второй закон Ньютона для шарика. ^{N1}

$$1) \begin{cases} ma = 2,5kx - mg \\ ma = mg - kx; kx = mg - ma \end{cases}$$

$$ma = 2,5(mg - ma) - mg$$

$$3,5ma = 1,5mg$$

$$a = \frac{3}{7}g; kx = \frac{4}{7}mg$$

2) Запишем закон сохранения энергии для шарика (наблюдательной энергии силы тяжести в состоянии равновесия):

$$\begin{cases} 0 = K_1 - mgx + \frac{kx^2}{2} \\ 0 = K_2 - 2,5mgx + \frac{25}{4} \cdot \frac{kx^2}{2} \end{cases}$$

K_1 и K_2 - кинетические энергии шарика в заданные моменты времени

$$K_1 = x(mg - \frac{kx}{2}) = \frac{5}{7}mgx$$

$$K_2 = x(2,5mg - \frac{25}{4} \cdot \frac{kx}{2}) = \frac{5}{7}mgx$$

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\frac{5}{7}mgx}{\frac{5}{7}mgx} = 1$$

3) Запишем ЗСЭ для шарика в моменты макс. энергии деформации пружины и макс. кинет. энергии шарика (E_k):

$$0 = -mgA + E_p, E_p = 2mgA = mg \frac{v_m^2}{\omega^2}, \text{ где } A - \text{амплитуда колебаний шарика, } v_m - \text{макс. скорость шарика, } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} - \text{цикл. частота колеб. шарика}$$

$$0 = -mgx_c + E_k + \frac{kx_c^2}{2}, E_k = x_c(mg - \frac{kx_c}{2}), \text{ где } x_c - \text{растяжение пружины}$$

В момент, когда скорость шарика максимальна.

Скорость шарика будет максимальной тогда, когда его ускорение будет равно нулю т.е. по 2 закону Ньютона:

$$mg = \kappa x_c; x_c = \frac{mg}{\kappa}$$

$$E_{\Pi} = mg \sqrt{\frac{m}{\kappa}} \cdot \sigma_m \cdot 2 = 2 \sqrt{\frac{m^3 g^2}{\kappa}} \cdot \sigma_m^2$$

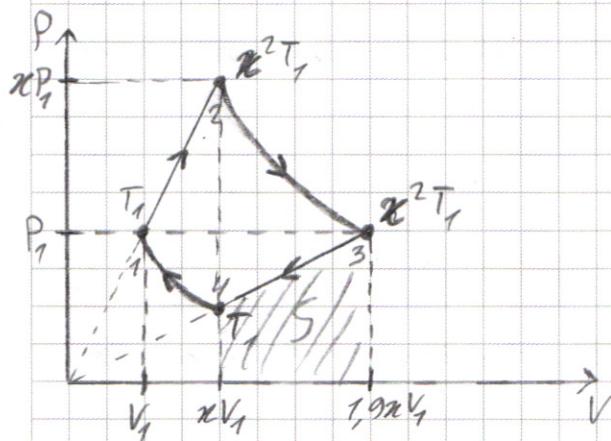
$$E_K = x_c (mg - \kappa x_c) = \frac{1}{2} mg x_c = \frac{1}{2} mg \cdot \frac{mg}{\kappa} = \frac{1}{2} \frac{m^2 g^2}{\kappa} = \frac{1}{2} m \sigma_m^2$$

$$\sigma_m^2 = \frac{mg^2}{\kappa}; E_{\Pi} = 2 \sqrt{\frac{m^3 g^2}{\kappa} \cdot \frac{mg^2}{\kappa}} = \frac{m^2 g^2}{\kappa} \cdot 2$$

$$\frac{E_{\Pi}}{E_K} = \frac{2 \frac{m^2 g^2}{\kappa}}{\frac{1}{2} \frac{m^2 g^2}{\kappa}} = 4$$

Ответ: 1) $\alpha = \frac{3}{4} g$, 2) $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = 1$, 3) $\frac{E_{\Pi}}{E_K} = 4$

N2



1) Замкнутый закон Менделеева-Клапейрона для составной смеси 1-4:

$$1: P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$2: \kappa P_2 \cdot \kappa V_2 = \nu R \cdot \kappa^2 T_1, \text{ где } \kappa - \text{conste } (\kappa > 1)$$

$$3: \frac{\kappa}{a} P_1 \cdot \kappa a V_1 = \nu R \cdot \kappa^2 T_1, \text{ где } a - \text{conste } (a > 1)$$

$$4: \frac{\kappa}{1.9a} P_1 \cdot \frac{\kappa a}{1.9} V_1 = \nu R \cdot \frac{\kappa^2}{1.9^2} T_1 = \nu R T_1$$

$$\nu R \cdot \frac{\kappa^2}{1.9^2} T_1 = \nu R T_1; \kappa = 1.9$$

$$T_2 = T_3 = \kappa^2 T_1 = 1.9^2 T_1 = 3.61 T_1$$

$$2) P_1 = P_3 = \frac{\kappa}{a} P_1$$

$$a = \kappa = 1.9$$

$$\frac{V_4}{V_2} = \frac{\frac{\kappa a}{1.9} V_1}{\kappa V_1} = \frac{a}{1.9} = 1$$

3) По первому закону термодинамики: $Q = \Delta U + A$

$$A = -S = -\frac{1}{2} (\kappa a V_1 - \frac{\kappa a}{1.9} V_1) (\frac{\kappa}{1.9a} P_1 + \frac{\kappa}{a} P_1) = -\frac{1}{2} 0.9 \cdot 2.9 P_1 V_1 = -\frac{1}{2} 0.9 \cdot 2.9 \nu R T_1$$

$$T_4 - T_3 = \frac{\kappa^2}{1.9^2} T_1 - \kappa^2 T_1 = -0.9 \cdot 2.9 T_1$$

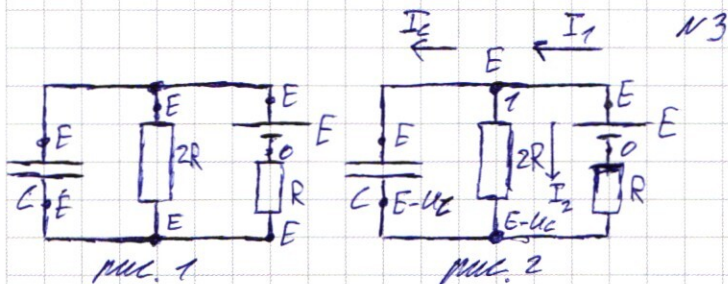
$$\Delta U (T_4 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) = -\frac{1}{2} 0.9 \cdot 2.9 \nu R T_1$$

$$\Delta U (T_4 - T_3) = \frac{3}{2} (-0.9 \cdot 2.9) \nu R T_1 = -\frac{1}{2} 0.9 \cdot 2.9 \nu R T_1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$C = \frac{3}{2}R + \frac{1}{2}R = 2R$$

Ответ: 1) $T_2 = T_3 = 3,6 T_1$, 2) $\frac{V_4}{V_2} = 1$, 3) $C = 2R$



1) Напряжение на конденсаторе сразу после замыкания ключа скачком не изменяется и становится равным нулю. Начальным периодом уровней потенциалов (МУП) (рис. 1):

$$U_{R_0} = E - E = 0$$

2) $q = C \cdot U_C$, где U_C - напряжение на конденсаторе в заданный малый промежуток

Начальным МУП (рис. 2) и ЗСЗ для точки 1:

$$I_1 = I_2 + I_C$$

$$\frac{E - U_C}{2R} = \frac{E - (E - U_C)}{R} + I_C, \text{ где } U_C \text{ и } I_C - \text{напряжение и ток на кон-}$$

денсаторе в произвольный малый промежуток времени

$$I_C = \frac{E - 3U_C}{2R}$$

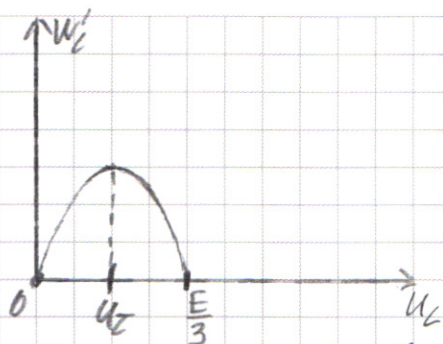
$$W_C = \frac{1}{2} C U_C^2$$

$$W'_C = \frac{1}{2} C \cdot 2U_C \cdot U'_C = C U_C \cdot U'_C$$

$$q_C = C U_C; I_C = q'_C$$

$$I_C = C \cdot U'_C; W'_C = C U_C \cdot \frac{I_C}{C} = U_C I_C = U_C \cdot \frac{E - 3U_C}{2R} = U_C \cdot \frac{E}{2R} - U_C^2 \cdot \frac{3}{2R}$$

Построим графика зависимости W'_C от U_C :



Из графика $U_C = \frac{1}{2} U_m$, где U_m — напряжение на конденсаторе в установившемся режиме если бы ток не разрывался.

~~Из~~ U_m можно найти приравняв W'_C к нулю.

$$U_C = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{3} = \frac{E}{6}$$

$$q = C \cdot U_C = \frac{CE}{6}$$

$$3) \mathcal{E}_m = W'_C(U_C) = U_C \cdot \frac{E}{2R} - U_C^2 \cdot \frac{3}{2R} = \frac{E^2}{12R} - \frac{3E^2}{72R} = \frac{E^2}{24R}$$

Ответ: 1) $U_{R0} = 0$, 2) $q = \frac{CE}{6}$, 3) $\mathcal{E}_m = \frac{E^2}{24R}$

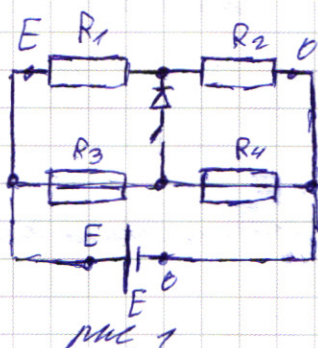
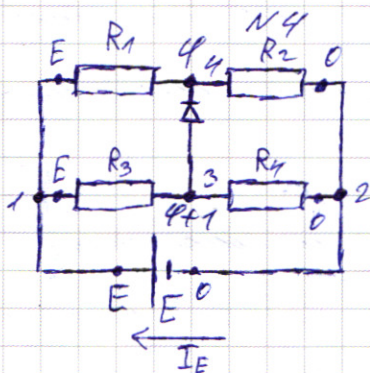


рис. 1



1) Используем МУП (рис. 1):

$$I_{R_1} = \frac{E-0}{R_1+R_2} = 2A$$

2) Используем МУП (рис. 2):

ЗСЗ для точек 1 и 2:

$$I_E = \frac{E-\varphi}{R_1} + \frac{E-\varphi-1}{R_3} = \frac{\varphi}{R_2} + \frac{\varphi+1}{R_4} \quad (\varphi > 0)$$

Отсюда подставив известные значения получим зависимость:

$$R_3 = 110 \cdot \frac{11-\varphi}{132\varphi-259}$$

Поскольку $R_3 \geq 0$, то $\frac{259}{132} < \varphi < 11$

$$3) P_D = U_D \cdot I_D = U_D \cdot I_D; I_D = \frac{P_D}{U_D} = 3A$$

То ЗСЗ для точек 3 и 4:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} \frac{E-U}{R_1} + I_0 = \frac{U}{R_2} \\ \frac{E-U-1}{R_3} = I_0 + \frac{U+1}{R_4} \end{cases}$$

Отсюда после преобразования получаем $R_3 = \frac{22}{13} \text{ Ом}$

Ответ: 1) $I_{R_1} = 2 \text{ А}$, 2) $R_3 = 110 \cdot \frac{11-4}{137 \cdot 2 - 259} \text{ Ом}$ или $\frac{259}{137} < 2 < 11$, 3) $R_3 = \frac{22}{13} \text{ Ом}$

N5

1) Первое изображение источника будет от линзы на расстоянии $\frac{8F}{5} + \frac{8F}{5} - \frac{4F}{5} = \frac{12F}{5}$.

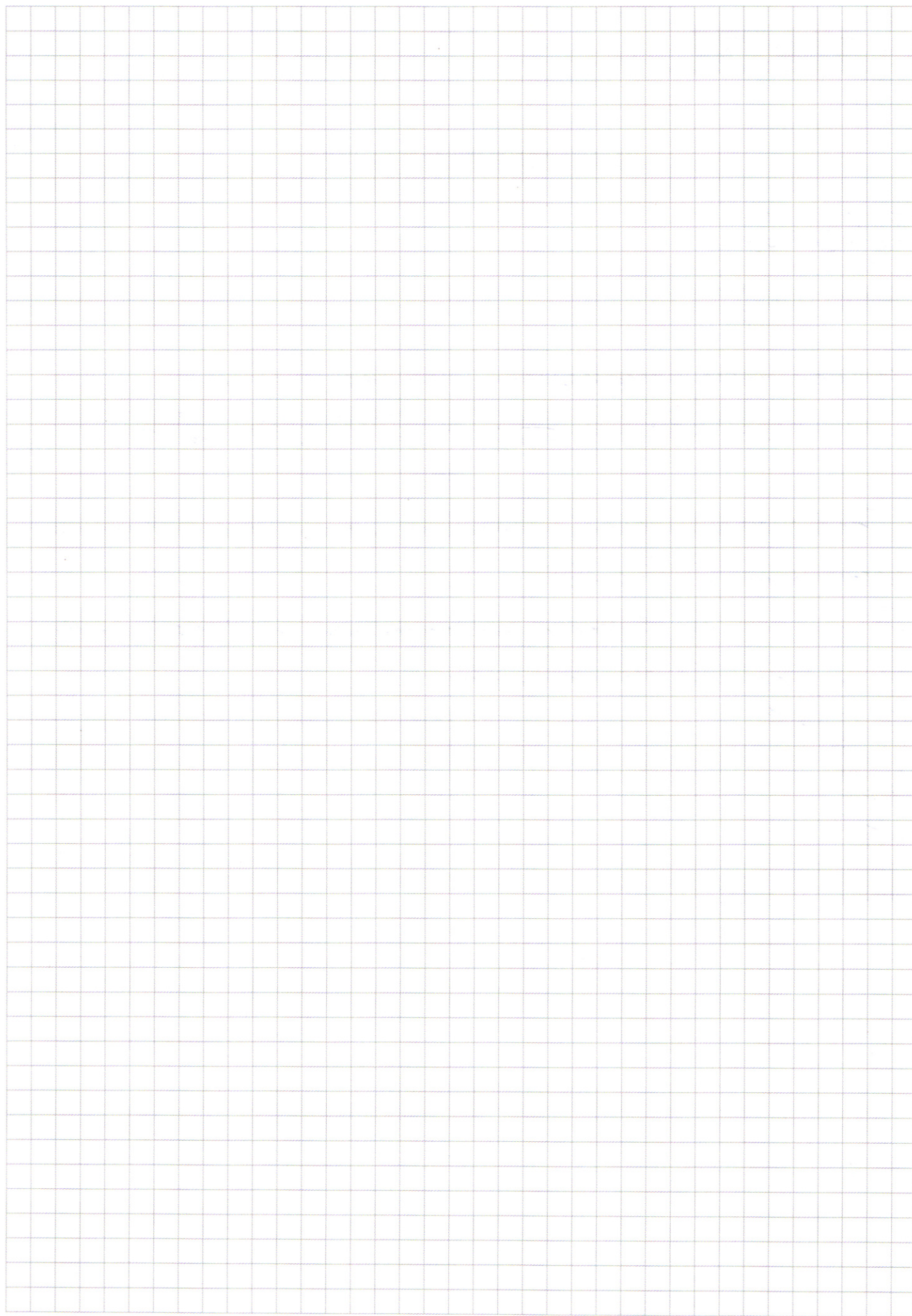
Расстояние от второго изображения до линзы найдем по формуле тонкой линзы:

$$-\frac{1}{F} = \frac{1}{12F} + \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{P} = \frac{12}{12F}$$

$$P = \frac{12F}{12}$$

Ответ: 1) $F = \frac{12P}{12}$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1

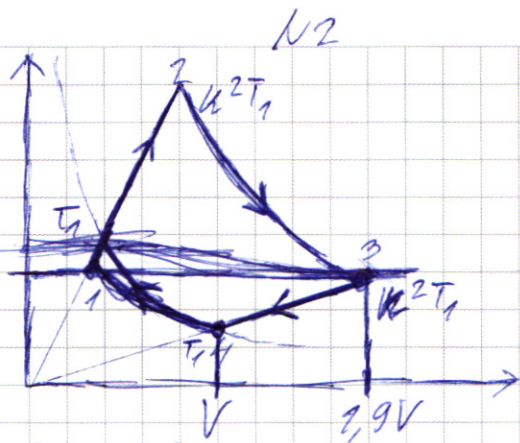
$\downarrow \kappa x$
 $\downarrow mg$
 $1) ma_1 = 2,5mg - mg$
 $ma_1 = 1,5\kappa g$
 $2,5\kappa x = mg$
 $2,5\kappa x = mg$
 $ma_2 = mg - \frac{2}{5}mg$
 $ma_2 = mg - \frac{2}{5}mg = \frac{3}{5}mg$
 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\kappa}}$
 $\omega = \sqrt{\frac{\kappa}{m}}$

$\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{v_1^2(t_1)}{v_2^2(t_2)}$
 $x(0) = 0$
 $x(t_1) = x_1 = \frac{2,5mg}{\kappa}$
 $x(t_2) = x_2 = \frac{2mg}{5\kappa}$
 $a(t_1) = a_1 = 1,5g$
 $a(t_2) = a_2 = \frac{3}{5}g$
 $ma = 2,5\kappa x - mg$
 $ma = mg - \kappa x$
 $ma = 2,5mg - 2,5ma - mg$
 $3,5ma = 1,5\kappa g$
 $a = \frac{1,5}{3,5}g = \frac{3}{7}g$
 $\kappa x = \frac{4}{7}mg$

$ma = \frac{m^2g^2}{2\kappa}$
 $2) \begin{cases} 0 = \frac{mv_1^2}{2} - mgx & v_1^2 = 2gx \\ 0 = \frac{mv_2^2}{2} - 2,5mgx & v_2^2 = 5gx \end{cases}$
 $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{mv_1^2}{mv_2^2} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{2gx}{5gx} = \frac{2}{5}$

$2) \begin{cases} 0 = \frac{mv_1^2}{2} - mgx + \frac{\kappa x^2}{2} & v_1^2 = \\ 0 = \frac{mv_2^2}{2} - 2,5mgx + \frac{2,5\kappa x^2}{4} & v_2^2 = \end{cases}$
 $\kappa_1 = mgx - \frac{\kappa x^2}{2} = \kappa(mg - \frac{\kappa x}{2}) = \kappa \cdot \frac{5}{7}mg$
 $\kappa_2 = \kappa(2,5mg - \frac{2,5\kappa x}{4}) = \kappa \cdot (\frac{5}{2}mg - \frac{2,5}{4} \cdot \frac{2}{7}mg) =$
 $= \kappa \cdot mg(\frac{5}{2} - \frac{50}{28}) = mgx(\frac{5}{2} - \frac{25}{14}) = mgx(\frac{10}{14}) = \frac{5}{7}mgx$
 $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{\frac{5}{7}mgx}{\frac{5}{7}mgx} = 1$
 $\frac{\kappa_1}{\kappa_2} = \frac{5}{7}mgx$

$3) \begin{cases} E_p = mg\sqrt{\frac{m}{\kappa}} \cdot v_m \cdot 2 \\ E_k = \frac{1}{2} \cdot mg \cdot \frac{mg}{\kappa} = \frac{1}{2}mv_m^2 \\ E_p = \sqrt{\frac{m^3g^2}{\kappa}} \cdot v_m \cdot 2 \\ E_k = \frac{1}{2} \frac{m^2g^2}{\kappa} = \frac{1}{2}mv_m^2 \\ v_m^2 = \frac{mg^2}{\kappa} \quad E_p = 2\sqrt{\frac{m^3g^2}{\kappa} \cdot \frac{mg^2}{\kappa}} = \frac{m^2g^2}{\kappa} \cdot 2 \\ E_p = \frac{m^2g^2}{\kappa} \cdot 2 \\ E_k = \frac{1}{2} \frac{m^2g^2}{\kappa} \quad \frac{E_p}{E_k} = \frac{2m^2g^2}{\frac{1}{2}m^2g^2} = 4 \end{cases}$
 $3) \begin{cases} 0 = -mgA + \frac{\kappa A^2}{2} = 2mgA + E_p \quad E_p = 2mgA = mg \frac{v_m}{\omega} \cdot 2 \\ 0 = -mgx_c + E_k + \frac{\kappa x_c^2}{2} \quad E_k = mgx_c - \frac{\kappa x_c^2}{2} = \kappa(mg - \frac{\kappa x_c}{2}) = \\ = \frac{1}{2}mgx_c = \frac{m^2g^2}{2\kappa} \end{cases}$



- $P_1 V_1 = \nu R T_1$
- $\kappa P_1 \kappa V_1 = \nu R \kappa^2 T_1$
- $\frac{\kappa P_1}{a} \cdot \kappa a V_1 = \nu R \cdot \kappa^2 T_1$
- $\frac{\kappa P_1}{1.9a} \cdot \frac{\kappa a V_1}{1.9} = \nu R T_1 = \nu R \cdot \frac{\kappa^2}{1.9^2} T_1$
 $\kappa = 1.9$

- $T_2 = T_3 = \kappa^2 T_1 = 1.9^2 T_1$

- $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\kappa P_1}{\kappa P_2} = \frac{a}{1.9}$

$$P_1 = P_3 = \frac{\kappa P_1}{a} \quad \frac{1.9^2}{1.9} = 3.61$$

$$a = \kappa = 1.9$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{a}{1.9} = 1$$

- $\delta Q = C \nu \Delta T = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + \Delta S$
 $\delta Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$

$$C \nu (T_4 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) + \frac{1}{2} (\kappa a V_1 - \frac{\kappa a V_1}{1.9}) (\frac{\kappa}{1.9a} P_1 + \frac{\kappa}{a} P_1)$$

$$A = -S = \frac{1}{2} V_1 (1.9^2 - 1.9) P_1 (\frac{1}{1.9} + 1) = \frac{1}{2} \cdot 1.9 \cdot 0.9 \cdot \frac{2.9}{1.9} P_1 V_1 = \frac{1}{2} \cdot 0.9 \cdot 2.9 \cdot P_1 V_1$$

$$T_4 - T_3 = \frac{\kappa^2}{1.9^2} T_1 - \kappa^2 T_1 = T_1 (1 - 1.9^2) = -0.9 \cdot 2.9 T_1$$

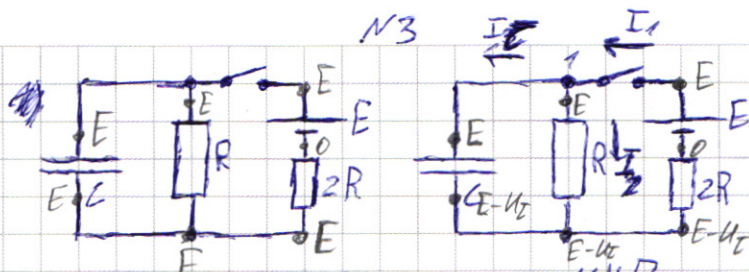
$$C \nu (-0.9 \cdot 2.9) = \frac{3}{2} (-0.9 \cdot 2.9) \nu R T_1 + \frac{1}{2} \cdot 0.9 \cdot 2.9 \cdot \nu R T_1$$

$$C = \frac{3}{2} R + \frac{1}{2} R = 2R$$

$$\frac{E - U}{R_1} + i = \frac{U}{R_2} \quad \frac{E - U}{R_1} + \frac{E - U - 1}{R_3} = \frac{U + 1}{R_4} = \frac{U}{R_2}$$

$$\frac{E - U - 1}{R_3} = i + \frac{U + 1}{R_4} \quad \frac{5.5}{R_3} = 3 + \frac{1}{4} \quad U > \frac{259}{137}$$

$$R_3 = \frac{5.5}{\frac{13}{4}} = \frac{22}{13}$$



- $U_{R_0} = E - E = 0$

- $q = C U_2$; $3C3$ and $i: I_1 = I_2 + I_3$

$$W_c = \frac{1}{2} C U_c^2, W_c' = \frac{1}{2} C \cdot 2 U_c \cdot U_c' = C U_c \cdot U_c'$$

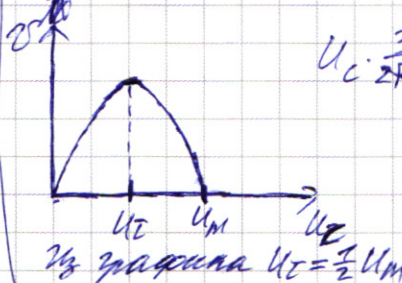
$$q = C U_c$$

$$I_c = C U_c'; W_c' = C U_c \cdot \frac{I_c}{C} = U_c I_c$$

$$\frac{E - U_c}{2R} = \frac{E - (E - U_c)}{R} + I_c$$

$$I_c = \frac{E - U_c}{2R} - \frac{2U_c}{2R} = \frac{E - 3U_c}{2R}$$

$$= U_c \cdot \frac{E}{2R} - U_c^2 \cdot \frac{3}{2R} = U_c (\frac{E}{2R} - U_c \cdot \frac{3}{2R})$$



$$U_c \cdot \frac{3}{2R} = \frac{E}{2R}$$

$$11(137U_m - 259) + 259 = 0$$

$$259 - 137U_m - 137(11 - U_m) = 0$$

$$110 \cdot \frac{259 - 137U_m - 137(11 - U_m)}{(137U_m - 259)^2} = 0$$

$$\frac{E - U}{R_1} + \frac{E - U - 1}{R_3} = \frac{U + 1}{R_4} = \frac{U}{R_2}$$

$$\frac{12 - U}{5} + \frac{11 - U}{R_3} = \frac{U + 1}{22} + U$$

$$R_3 = \frac{11 - U}{\frac{12 - U}{5} + \frac{U + 1}{5} - \frac{U}{5}} = \frac{11 - U}{\frac{12 - U + U + 1 - U}{5}} = \frac{11 - U}{\frac{13 - U}{5}} = 10 \cdot \frac{11 - U}{13 - U}$$



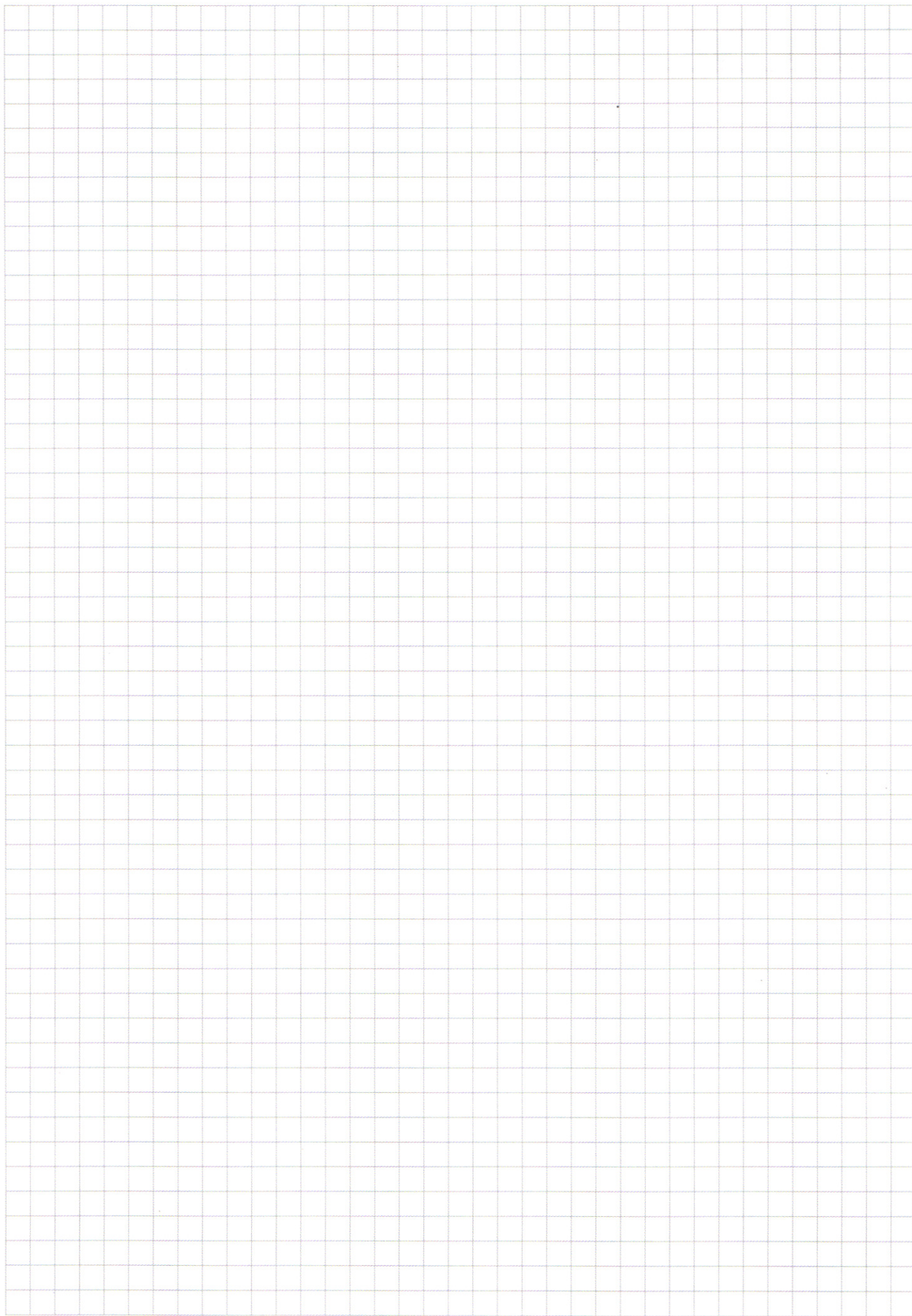
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)