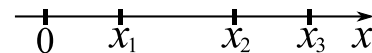


1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при начале относительного движения будет x_2 .

$$1) \frac{kx_2}{M+m} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = \frac{1}{3} \text{ м.}$$



$$2) \text{ При } 0 < x < x_2 \quad x = A_0 \sin \omega_0 t, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+m}}, \quad A_0 = V_0 / \omega_0.$$

$$x_2 = \frac{V_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t_2. \quad t_2 = \frac{1}{\omega_0} \arcsin \frac{x_2 \omega_0}{V_0} = \sqrt{\frac{M+m}{k}} \arcsin \left(\frac{\mu g}{V_0} \sqrt{\frac{M+m}{k}} \right) = \frac{\pi}{18} \text{ с} \approx \frac{1}{6} \text{ с}.$$

3) При $x_2 < x < x_3$ доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. При x_3 ускорение максимально: $a_m = A\omega^2$.

Найдем A . При x_2 скорость V_2 . $\left(\frac{x_2 - x_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{V_2}{A\omega}\right)^2 = 1$. Отсюда $A = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + \left(\frac{V_2}{\omega}\right)^2}$. Найдем V_2 .

$$\frac{1}{2}(M+m)V_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)V_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2. \quad \text{Отсюда } V_2^2 = V_0^2 - \frac{k}{M+m}x_2^2. \quad a_m = \sqrt{\frac{k}{M}\left(V_0^2 - \frac{\mu^2 g^2 m}{k}\right)} = \frac{3}{2}\sqrt{22} \text{ м/с}^2.$$

Удобно находить a_m последовательно в единицах СИ: $x_1 = 1/9$, $x_2 = 1/3$, $\omega = \sqrt{k/M} = \sqrt{27/2}$. $V_2^2 = 3$, $A = \sqrt{22}/9$.

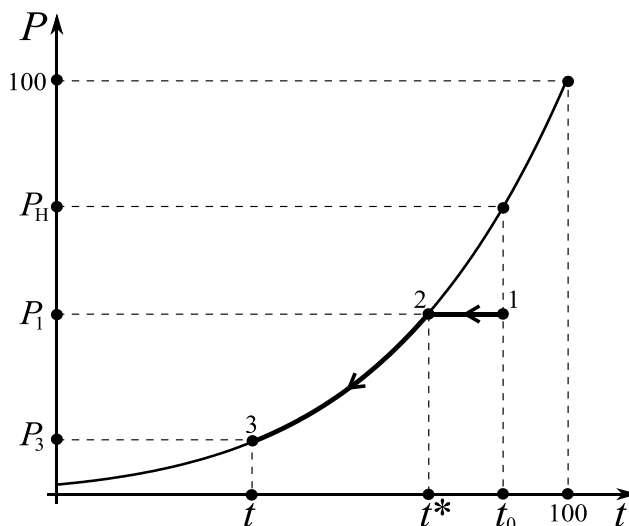
Замечание. Можно сначала найти x_3 из ЗСЭ, а затем a_m .

2. 1) Из графика условия при t_0 давление насыщенного пара $P_H = 60$ кПа. При t_0 парциальное давление $P_1 = \varphi_0 P_H = 40$ кПа. Допустимые пределы (39-41).

2) Парциальное давление пара будет оставаться постоянным, пока не начнется конденсация, так как остается постоянным давление смеси. На рисунке кривая 1-2-3 — зависимость давления пара от температуры в сосуде. Используя график условия, находим $t^* = 76$ °С. Допустимые пределы (75-77).

3) Из графика условия при t давление пара $P_3 = 10$ кПа. Допустимые пределы (9-11). Для сухого воздуха $\frac{(P_0 - P_1)V_0}{T_0} = \frac{(P_0 - P_3)V}{T}$. Отсюда $\frac{V}{V_0} = \frac{(P_0 - P_1)T}{(P_0 - P_3)T_0} \approx 0,7$.

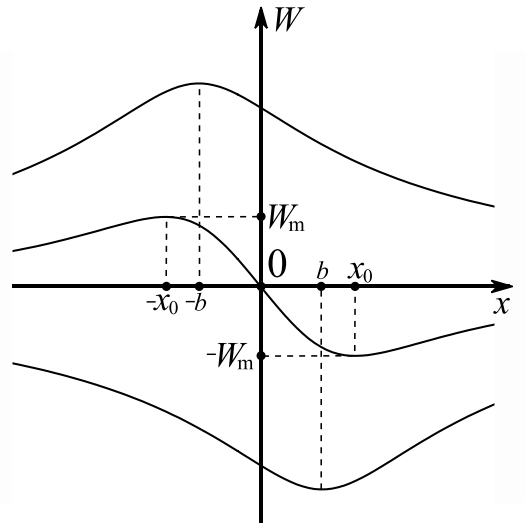
Допустимые пределы (0,68-0,72).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет $2V_0$.

2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2}m(2V_0)^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + W_m$,

$$\frac{1}{2}m(2V_0)^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - W_m. \text{ Отсюда } V_{\min} = V_0\sqrt{3}, V_{\max} = V_0\sqrt{5}, V_{\max} - V_{\min} = V_0(\sqrt{5} - \sqrt{3}).$$



4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0, \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}, \quad I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}.$ Здесь $I = I(t), B = B(t).$

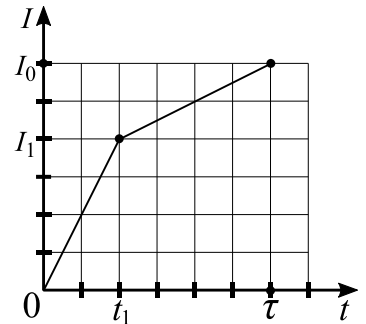
1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{5} \frac{B_0 n S_1}{L}.$ Получить ответ можно и из сохранения

суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = \tau/3, B_1 = B_0/3$. Зависимость тока от времени показана

на рисунке. $I_1 = \frac{2}{15} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{2}{3} I_0, \quad q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{1}{9} I_0 \tau = \frac{1}{45} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L},$

$$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{5}{9} I_0 \tau = \frac{1}{9} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}. \quad q = q_1 + q_2 = \frac{2}{15} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}.$$

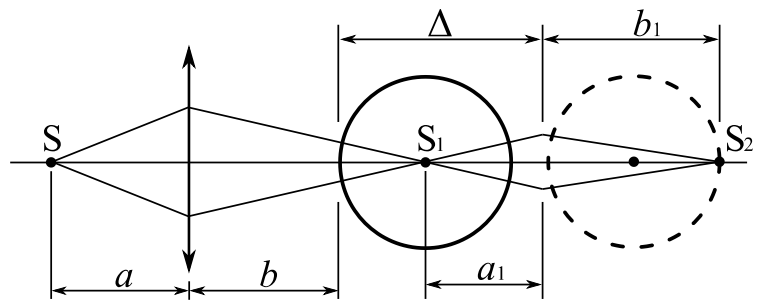


5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S . $\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}.$ Так как $a = 1.5F, b = 8F/3$, то $R = F/3$.

2) После перемещения шара S_1 служит источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}.$ Имеем

$$a_1 = \Delta - R = 5F/3, \quad b_1 = 2R = 2F/3. \text{ Тогда } n = 2.4.$$

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.



Олимпиада «Физтех». 2025 г. Физика. Решения. Вариант 11-02

1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при нулевом относительном ускорении будет x_2 .

1) Когда относительное ускорение впервые станет нулевым, брусок еще будет двигаться по доске.

$$\frac{kx_2 - \mu mg}{M} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = 0,18 \text{ м.}$$

2) В начале движения доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. Пока брусок движется по доске, ускорение доски $a = \frac{kx - \mu mg}{M}$. Ускорение станет нулевым при $x = \frac{\mu mg}{k}$, т.е. совпадает с x_1 ! Итак, при $x_1 < x < x_3$

брусок движется по доске и доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 . При прохождении x_1 скорость доски V_1 равна скорости бруска: $V_1 = \mu g \frac{T}{4} = \mu g \frac{1}{4} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \mu g \sqrt{\frac{M}{k}}$. Ускорение

$$\text{доски в начале движения } a_m = V_1 \omega = \frac{1}{2} \pi \mu g \approx \frac{3}{2} \cdot 3 \text{ м/с}^2 = 4,5 \text{ м/с}^2.$$

$$3) \left(\frac{x_2 - x_1}{A} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = 1. \quad A = V_1 / \omega. \text{ Отсюда}$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - (x_2 - x_1)^2 \omega^2} = \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \left(\frac{1}{4} \pi^2 - 1 \right)} = \frac{3}{10} \sqrt{\pi^2 - 4} \approx \frac{3}{10} \sqrt{5} \text{ м/с.}$$

Удобно находить V_2 последовательно в единицах СИ: $x_1 = 0,06$, $x_2 = 0,18$, $\omega = \sqrt{k/M} = 5$. $V_1 = 0,3\pi$.

Замечание. V_2 можно найти и из ЗСЭ.

2. 1) Отношение масс пара в конце и в начале нагревания равно 12.

2) Найдем связь парциального давления P пара и температуры T после окончания испарения.

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_0, \quad P V = \frac{12m}{\mu} R T. \text{ Отсюда } P = \frac{12P_1}{T_0} T. \text{ Так как } T_0$$

= 300 К и из графика $P_1 = 3,5$ кПа, то строим на рисунке условия прямую 3-4 согласно зависимости

$$P = \frac{14}{100} (273 + t). \text{ Здесь } P \text{ в кПа. На рисунке кривая 1-2-3-4}$$

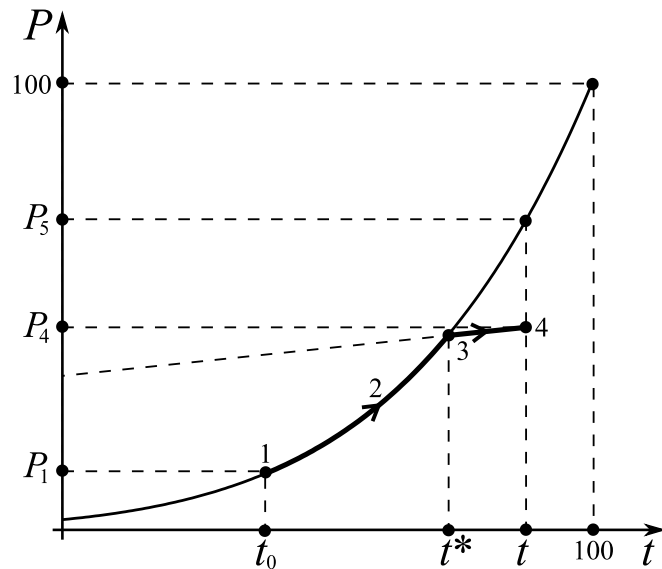
– зависимость давления пара от температуры в сосуде.

Точка 3 пересечения графиков дает $t^* = 81$ °С. Допустимые пределы (77-85).

3) Из графика условия находим давление насыщенного пара при температуре $t = 97$ °С: $P_5 = 90$ кПа. При $T = (273+97)$ К = 370 К давление ненасыщенного пара

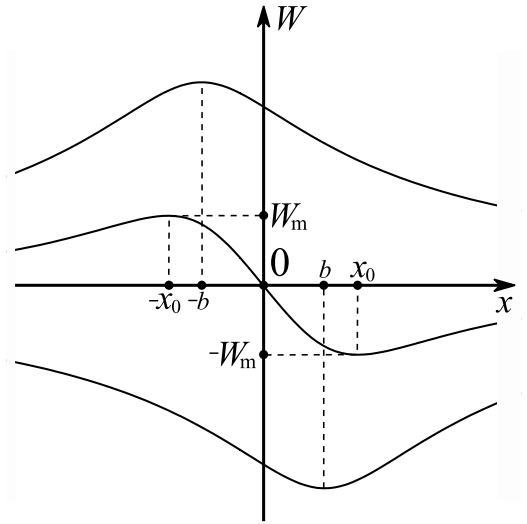
$$P = P_4 = \frac{14}{100} 370 \approx 52 \text{ кПа. Относительная влажность } \varphi =$$

$$P_4/P_5 = 52/90 \approx 0,57. \text{ Допустимые пределы } (0,51-0,64).$$



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет V_0 .

2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . При уменьшении зарядов диполя в 2 раза, уменьшается и энергия взаимодействия в 2 раза.



По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$,

$$\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + \frac{1}{2}W_m, \quad \frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - \frac{1}{2}W_m. \text{ Отсюда } V_{\min} = V_0 / \sqrt{2}, \quad V_{\max} = V_0 \sqrt{3/2},$$

$$V_{\max} - V_{\min} = V_0 \frac{\sqrt{6} - \sqrt{2}}{2}.$$

$$4. -n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0, \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}, \quad I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}.$$

Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

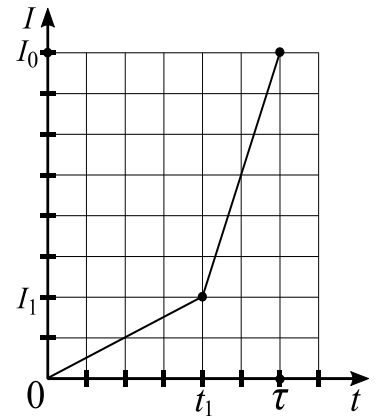
$$1) I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{7} \frac{B_0 n S_1}{L}. \text{ Получить ответ можно и из сохранения}$$

суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = 2\tau/3$, $B_1 = 3B_0/4$. Зависимость тока от времени

показана на рисунке. $I_1 = \frac{1}{28} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{1}{4} I_0$, $q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{1}{12} I_0 \tau = \frac{1}{84} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{5}{24} I_0 \tau = \frac{5}{168} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}. \quad q = q_1 + q_2 = \frac{7}{24} I_0 \tau = \frac{1}{24} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}.$$



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S .

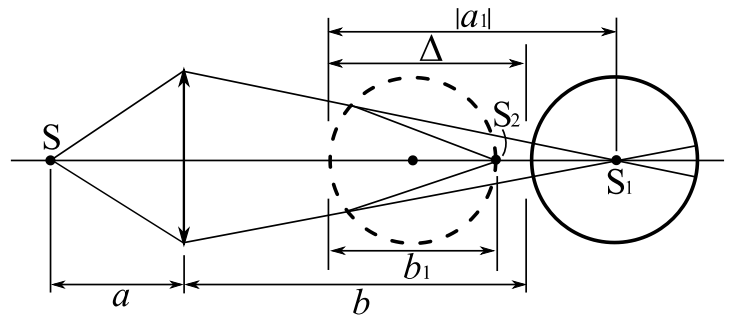
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}. \text{ Так как } a = 2R, \quad b = 7R,$$

то $F = 8R/5$.

2) После перемещения шара S_1 служит мнимым источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1)\frac{1}{R}$. Имеем

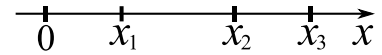
$$|a_1| = \Delta + R = 5R. \quad a_1 = -5R < 0, \quad b_1 = 2R. \text{ Тогда } n = 1,6.$$

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.



1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при начале относительного движения будет x_2 .

$$1) \frac{kx_2}{M+m} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} \approx \frac{1}{4} \text{ м.}$$



$$2) \text{ При } 0 < x < x_2 \quad x = A_0 \sin \omega_0 t, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M+m}}, \quad A_0 = V_0 / \omega_0.$$

$$x_2 = \frac{V_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t_2. \quad t_2 = \frac{1}{\omega_0} \arcsin \frac{x_2 \omega_0}{V_0} = \sqrt{\frac{M+m}{k}} \arcsin \left(\frac{\mu g}{V_0} \sqrt{\frac{M+m}{k}} \right) = \frac{\pi \sqrt{3}}{18} \text{ с} \approx \frac{\sqrt{3}}{6} \text{ с}.$$

3) При $x_2 < x < x_3$ доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. При x_3 ускорение максимально: $a_m = A\omega^2$.

Найдем A . При x_2 скорость V_2 . $\left(\frac{x_2 - x_1}{A} \right)^2 + \left(\frac{V_2}{A\omega} \right)^2 = 1$. Отсюда $A = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + \left(\frac{V_2}{\omega} \right)^2}$. Найдем V_2 .

$$\frac{1}{2}(M+m)V_0^2 = \frac{1}{2}(M+m)V_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2. \quad \text{Отсюда } V_2^2 = V_0^2 - \frac{k}{M+m}x_2^2. \quad a_m = \sqrt{\frac{k}{M} \left(V_0^2 - \frac{\mu^2 g^2 m}{k} \right)} = \frac{3}{2} \sqrt{6} \text{ м/с}^2.$$

Удобно находить a_m последовательно в единицах СИ: $x_1 = 1/12$, $x_2 = 1/4$, $\omega = \sqrt{k/M} = \sqrt{18}$. $V_2^2 = 1/4$, $A = \sqrt{6}/12$.

Замечание. Можно сначала найти x_3 из ЗСЭ, а затем a_m .

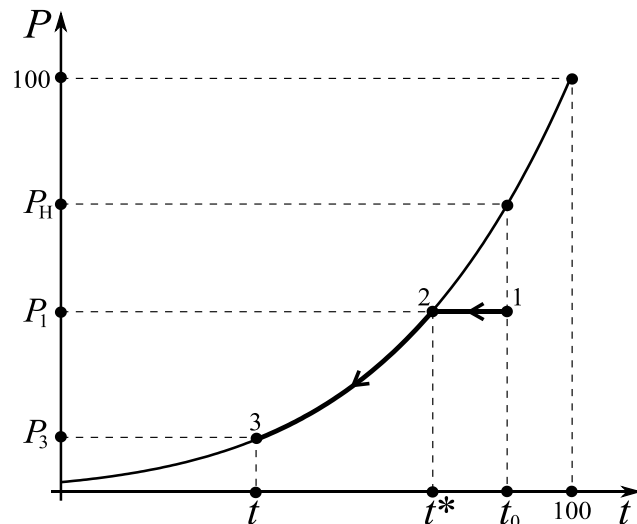
2. 1) Из графика условия при t_0 давление насыщенного пара $P_H = 90$ кПа. При t_0 парциальное давление $P_1 = \varphi_0 P_H = 30$ кПа. Допустимые пределы (29-31).

2) Парциальное давление пара будет оставаться постоянным, пока не начнется конденсация, так как остается постоянным давление смеси. На рисунке кривая 1-2-3 – зависимость давления пара от температуры в сосуде. Используя график условия, находим $t^* = 69$ °С. Допустимые пределы (68-70).

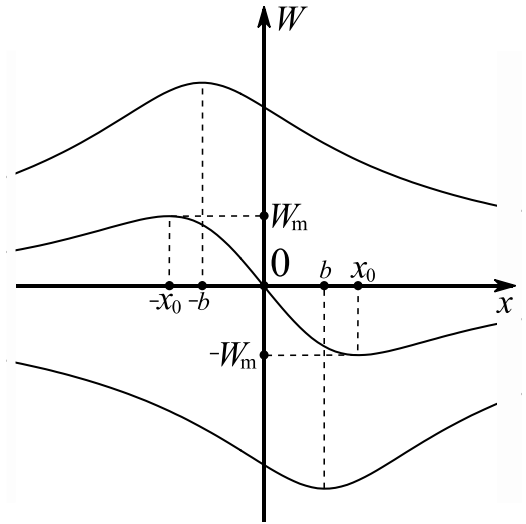
3) Из графика условия при t давление пара $P_3 = 5$ кПа.

Допустимые пределы (4-6). Для сухого воздуха $\frac{(P_0 - P_1)V_0}{T_0} = \frac{(P_0 - P_3)V}{T}$. Отсюда $\frac{V}{V_0} = \frac{(P_0 - P_1)T}{(P_0 - P_3)T_0} \approx 0,62$.

Допустимые пределы (0,60-0,64).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет $3V_0/2$.
 2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая - зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая - для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском - средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 .



По ЗСЭ $\frac{1}{2} m V_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2} m (3V_0/2)^2 = \frac{1}{2} m V_{\min}^2 + W_m$,

$\frac{1}{2} m (3V_0/2)^2 = \frac{1}{2} m V_{\max}^2 - W_m$. Отсюда $V_{\min} = \frac{\sqrt{5}}{2} V_0$, $V_{\max} = \frac{\sqrt{13}}{2} V_0$,

$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{\frac{13}{5}}$.

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{n S_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B) n S_1}{L_1 + L_2}$. Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{4} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

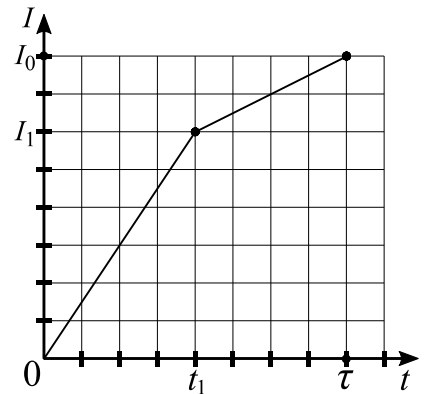
суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = \tau/2$, $B_1 = B_0/4$. Зависимость тока от времени

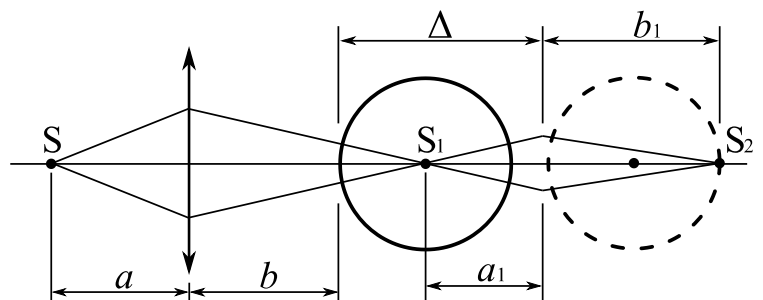
показана на рисунке. $I_1 = \frac{3}{16} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{3}{4} I_0$,

$q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{3}{16} I_0 \tau = \frac{3}{64} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{7}{16} I_0 \tau = \frac{7}{64} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$. $q = q_1 + q_2 = \frac{5}{8} I_0 \tau = \frac{5}{32} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$.



5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S .
 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 1,1F$, $b = 10,5F$, то $R = F/2$.



2) После перемещения шара S_1 служит источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем

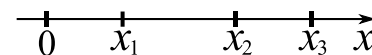
$a_1 = \Delta - R = 5F$. $b_1 = 2R = F$. Тогда $n = 2,2$.

Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.

1. Пусть x - деформация пружины. При максимальном сжатии будет x_3 , при нулевом относительном ускорении будет x_2 .

1) Когда относительное ускорение впервые станет нулевым, брусок еще будет двигаться по доске.

$$\frac{kx_2 - \mu mg}{M} = \frac{\mu mg}{m}. \quad x_2 = \frac{\mu(M+m)g}{k} = 0,2 \text{ м.}$$



2) В начале движения доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 ($kx_1 = \mu mg$) с амплитудой $A = x_3 - x_1$ и циклической частотой $\omega = \sqrt{k/M}$. Пока брусок движется по доске, ускорение доски $a = \frac{kx - \mu mg}{M}$. Ускорение станет нулевым при $x = \frac{\mu mg}{k}$, т.е. совпадает с x_1 ! Итак, при $x_1 < x < x_3$

брусок движется по доске и доска колеблется со смещенным положением равновесия около x_1 . При прохождении x_1 скорость доски V_1 равна скорости бруска: $V_1 = \mu g \frac{T}{4} = \mu g \frac{1}{4} \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{2} \pi \mu g \sqrt{\frac{M}{k}}$. Ускорение

доски в начале движения $a_m = V_1 \omega = \frac{1}{2} \pi \mu g = 2\pi \approx 6 \text{ м/с}^2$.

3) $\left(\frac{x_2 - x_1}{A}\right)^2 + \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = 1$. $A = V_1 / \omega$. Отсюда

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - (x_2 - x_1)^2 \omega^2} = \mu g \sqrt{\frac{M}{k} \left(\frac{1}{4} \pi^2 - 1\right)} = \frac{2}{5} \sqrt{\pi^2 - 4} \approx \frac{2}{5} \sqrt{5} \text{ м/с.}$$

Удобно находить V_2 последовательно в единицах СИ: $x_1 = 0,04$, $x_2 = 0,2$, $\omega = \sqrt{k/M} = 5$. $V_1 = 0,4\pi$.

Замечание. V_2 можно найти и из ЗСЭ.

2. 1) Отношение масс пара в конце и в начале нагревания равно 8.

2) Найдем связь парциального давления P пара и температуры T после окончания испарения.

$$P_1 V = \frac{m}{\mu} R T_0, \quad P V = \frac{8m}{\mu} R T. \quad \text{Отсюда } P = \frac{8P_1}{T_0} T. \quad \text{Так}$$

как $T_0 = 300 \text{ К}$ и из графика в условии $P_1 = 3,5 \text{ кПа}$, то строим на рисунке условия прямую 3-4 согласно

зависимости $P = \frac{7}{75} (273 + t)$. Здесь P в кПа. На

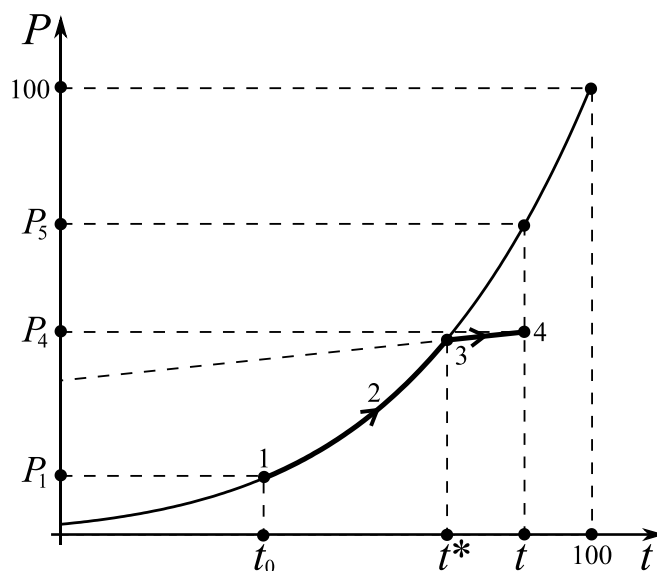
рисунке кривая 1-2-3-4 – зависимость давления пара от температуры в сосуде. Точка 3 пересечения графиков дает $t^* = 71^\circ \text{С}$. Допустимые пределы (67-75).

3) Из графика условия находим давление насыщенного пара при температуре $t = 90^\circ \text{С}$: $P_5 = 70 \text{ кПа}$. При $T = (273 + 90) \text{ К} = 363 \text{ К}$ давление

ненасыщенного пара $P = P_4 = \frac{7}{75} 363 \approx 34 \text{ кПа}$.

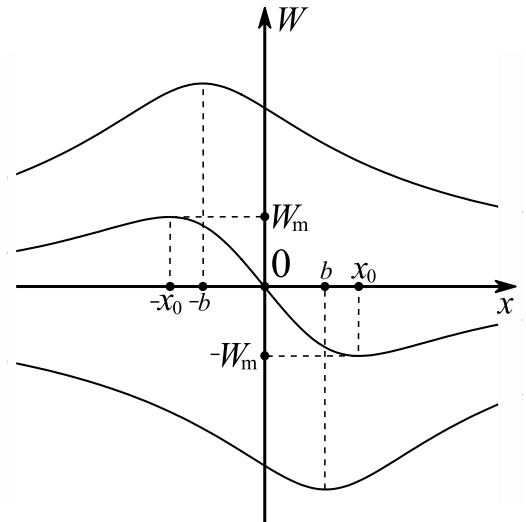
Относительная влажность $\phi = P_4 / P_5 = 34 / 70 \approx 0,49$.

Допустимые пределы (0,43-0,55).



3. 1) При пролете центра диполя через центр отверстия энергия взаимодействия равна нулю. По ЗСЭ скорость диполя будет V_0 .

2) Обозначим через x координату центра диполя. Начало координат поместим в центр диска. Пусть расстояние между зарядами диполя равно $2b$. На рисунке верхняя кривая – зависимость от x энергии электростатического взаимодействия положительного заряда диполя с зарядами диска, нижняя кривая – для отрицательного заряда диполя. Суммарная энергия W взаимодействия диполя с диском – средняя кривая. При $-\infty < x < -x_0$ диполь тормозится, при $-x_0 < x < x_0$ разгоняется, при $x_0 < x < \infty$ тормозится. Если диполь преодолевает координату $-x_0$, то он пролетает через диск. Минимальная скорость при $-x_0$, максимальная скорость при x_0 . При уменьшении зарядов диполя в 3 раза, уменьшается и энергия взаимодействия в 3 раза.



По ЗСЭ $\frac{1}{2}mV_0^2 = W_m$, $\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\min}^2 + \frac{1}{3}W_m$,

$\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 - \frac{1}{3}W_m$. Отсюда $V_{\min} = V_0 \cdot \sqrt{2/3}$, $V_{\max} = 2V_0 / \sqrt{3}$, $\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \sqrt{2}$.

4. $-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} = I \cdot 0$, $\frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{nS_1}{L_1 + L_2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$, $I = \frac{(B_0 - B)nS_1}{L_1 + L_2}$.

Здесь $I = I(t)$, $B = B(t)$.

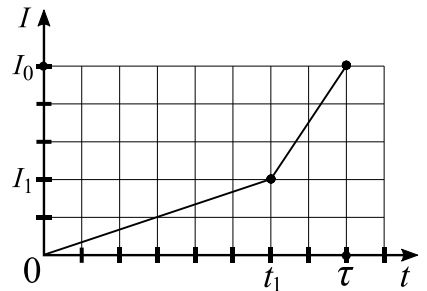
1) $I_0 = I(\tau) = \frac{B_0 n S_1}{L_1 + L_2} = \frac{1}{13} \frac{B_0 n S_1}{L}$. Получить ответ можно и из сохранения

суммы магнитных потоков.

2) Из условия $t_1 = 3\tau/4$, $B_1 = 3B_0/5$. Зависимость тока от времени

показана на рисунке. $I_1 = \frac{2}{65} \frac{B_0 n S_1}{L} = \frac{2}{5} I_0$, $q_1 = \frac{0 + I_1}{2} t_1 = \frac{3}{20} I_0 \tau = \frac{3}{260} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$,

$q_2 = \frac{I_1 + I_0}{2} (\tau - t_1) = \frac{7}{40} I_0 \tau = \frac{7}{520} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$. $q = q_1 + q_2 = \frac{13}{40} I_0 \tau = \frac{1}{40} \frac{B_0 n S_1 \tau}{L}$.



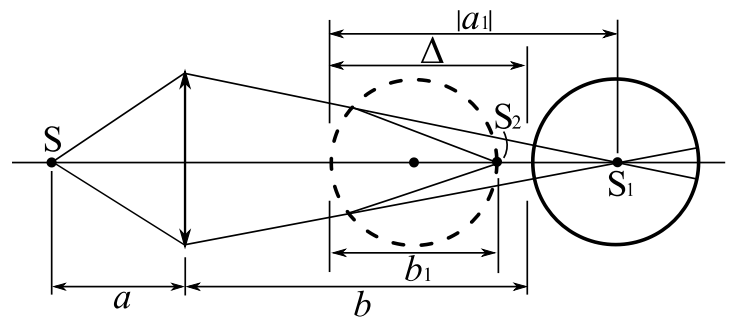
5. 1) Если изображение S_1 от S в линзе попадает в центр шара (см. рис.), то лучи в шаре идут вдоль радиуса шара при любом показателе преломления, падают на зеркало и отражаются строго в обратном направлении. В результате изображение в системе попадает в S . $\frac{1}{a} + \frac{1}{b+R} = \frac{1}{F}$. Так как $a = 4,5R$,

$b = 8R$, то $F = 3R$.

2) После перемещения шара S_1 служит мнимым источником для левой сферической поверхности шара, изображение в которой S_2 . Если S_2 попадает на сферическое зеркало, то отраженные от зеркала лучи идут симметрично (относительно оптической оси) падающим. Это приводит к тому, что изображение в системе попадает в S . По формуле преломления на сферической поверхности $\frac{1}{a_1} + \frac{n}{b_1} = (n-1) \frac{1}{R}$. Имеем $|a_1| = \Delta + R = 4R$.

$a_1 = -4R < 0$, $b_1 = 2R$. Тогда $n = 1,5$.

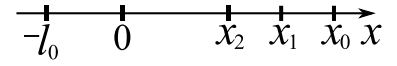
Замечание. Вместо готовой формулы преломления на сферической поверхности можно для луча, идущего под малым углом к оптической оси, применить закон преломления.



Олимпиада «Физтех». 2025 г. Физика. Решения. Вариант 11-05

1. Пусть x - деформация пружины, равная координате ее левого конца. $x_0 = 11l_0/4$. $x_1 = 5l_0/2$ и x_2 - максимальные сжатия пружины после первого и второго ударов.

1) По ЗСЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mV_0^2$. $V_0 = x_0\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{11}{4}l_0\sqrt{\frac{k}{m}}$.



2) Обозначим кинетические энергии непосредственно перед первым

ударом через W_1 , а сразу после первого и второго ударов через W_2 и W_3 . По ЗСЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = W_1 + \frac{1}{2}kl_0^2$,

$\frac{1}{2}kx_1^2 = W_2 + \frac{1}{2}kl_0^2$, $\frac{1}{2}kx_2^2 = W_3 + \frac{1}{2}kl_0^2$. По условию $\frac{W_2}{W_1} = \frac{W_3}{W_2}$. С учетом выражений для x_0 и x_1 получаем

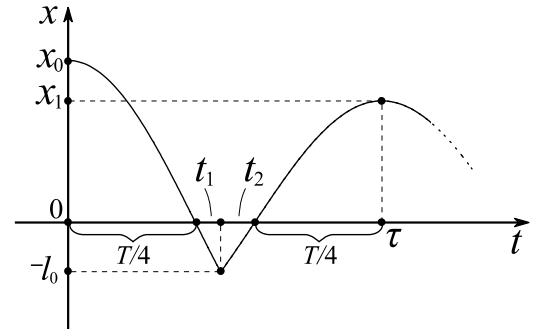
$$x_2 = \sqrt{\frac{26}{5}}l_0.$$

3) На рисунке показана зависимость x от времени.

$$\tau = \frac{1}{4}T + t_1 + t_2 + \frac{1}{4}T. \quad T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad \omega = \sqrt{k/m}. \quad x_0 \sin \omega t_1 = l_0,$$

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{l_0}{x_0} = \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \frac{4}{11}. \quad x_1 \sin \omega t_2 = l_0,$$

$$t_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{l_0}{x_1} = \sqrt{\frac{m}{k}} \arcsin \frac{2}{5}. \quad \tau = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\pi + \arcsin \frac{4}{11} + \arcsin \frac{2}{5} \right).$$



2. 1) Для любого процесса, где $P = \alpha V$ ($\alpha = \text{const}$), $\alpha V^2 = \nu RT$. Отсюда $2\alpha V dV = \nu R dT$.

$\nu C dT = \nu C_V dT + \alpha V dV$, $\nu C dT = \nu C_V dT + \frac{1}{2}\nu R dT$. $C = C_V + \frac{1}{2}R$. Итак, $C_{34} = C_{12} = C_V + \frac{1}{2}R$. Для 3-4

$$3R = C_V + \frac{1}{2}R, \quad C_V = \frac{5}{2}R. \quad C_{41} = C_P = C_V + R = \frac{7}{2}R.$$

2) $A = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = \nu 3R(T_2 - T_1) - Q + \nu 3R(T_4 - T_3) - Q = -2Q + \nu 3R(T_2 - T_3 + T_4 - T_1)$. Так как

$$Q = \nu C_V(T_2 - T_3) = \nu C_P(T_4 - T_1), \text{ то } A = -2Q + \nu 3R \left(\frac{Q}{\nu C_V} + \frac{Q}{\nu C_P} \right) = \frac{2}{35}Q.$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_{12}}$, $Q_{12} = \nu 3R(T_2 - T_1)$. Найдём T_2 и T_1 . $\frac{T_4}{T_1} = \frac{5}{2}$ (1). $T_4 - T_1 = \frac{Q}{\nu C_P} = \frac{2}{7} \frac{Q}{\nu R}$ (2).

$$T_2 - T_3 = \frac{Q}{\nu C_V} = \frac{2}{5} \frac{Q}{\nu R} \text{ (3). Из (1) и (2) } T_1 = \frac{4}{21} \frac{Q}{\nu R}. \text{ Из уравнений } \frac{P_3}{P_1} = \frac{V_2}{V_4}, \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}, \quad P_1 V_1 = \nu R T_1,$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad P_3 V_2 = \nu R T_3, \quad P_1 V_4 = \nu R T_4 \text{ следует } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3}. \text{ Итак, } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{5}{2} \text{ (4). Из (3) и (4) } T_2 = \frac{2}{3} \frac{Q}{\nu R}.$$

$$\text{Тогда } Q_{12} = \frac{10}{7}Q, \quad \eta = \frac{1}{25}.$$

3. 1) Из графика при $x = 0$ $E(0) = 2$ кВ/м. $U_0 = E(0)d = 24$ В.

2) $U_0 = E(d - x) + \frac{E}{\varepsilon}x$. Отсюда $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{d - U_0/E}{x}$. Из графика при $x = 8$ мм $E = 4$ кВ/м. $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{3}{4}$. $\varepsilon = 4$.

Допустимые пределы $3,6 < \varepsilon < 4,4$.

4. 1) $\frac{dI}{dt} = \frac{I_1}{\tau}$.

2) Зависимость тока от времени показана на рисунке.

$$-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR \quad \text{в любой момент времени.}$$

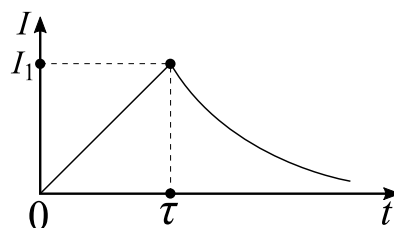
$$-n S_1 \Delta B - L \Delta I = (I \Delta t) R. \quad -n S_1 \Delta B - L \Delta I = R \Delta q.$$

$-n S_1 \sum \Delta B - L \sum \Delta I = R \sum \Delta q$. За время от начала выключения поля до нулевого тока

$$-n S_1 (0 - B_0) - L (0 - 0) = R q. \quad q = \frac{n B_0 S_1}{R}. \quad \text{Заметим, что этот ответ можно записать сразу,}$$

воспользовавшись законом электромагнитной индукции в форме Фарадея.

3) При $0 < t < \tau$ $-n S_1 (0 - B_0) - L (I_1 - 0) = R q_1$, $q_1 = \frac{1}{2} I_1 \tau$. Отсюда $L = \frac{n B_0 S_1}{I_1} - \frac{1}{2} R \tau$.

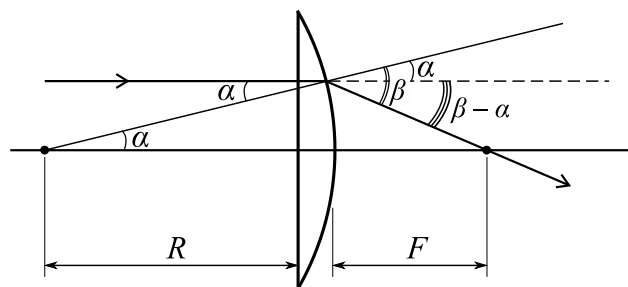


5) 1) Удобно пустить луч, параллельный главной оптической оси, на плоскую поверхность линзы.
 $n \sin \alpha = 1 \cdot \sin \beta$. Так как углы малы, то $n \alpha = \beta$,

$$R \alpha = F (\beta - \alpha). \quad \text{Отсюда} \quad \frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}.$$

$$2) \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + k U_1}, \quad \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + k U_2}.$$

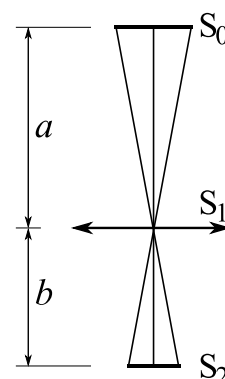
Удобно подставить числа и решать систему уравнений. $R_0 = 1,4$ см.



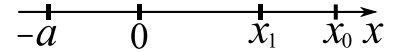
3) Пусть W_0 - мощность источника, S_0 - его площадь в поперечном сечении, S_1 - площадь линзы, S_2 - площадь изображения, a и b - расстояния от источника и изображения до линзы. Падающая на линзу мощность $W = \frac{W_0}{4\pi a^2} S_1$. Площадь

$$\text{изображения} \quad S_2 = S_0 \left(\frac{b}{a} \right)^2. \quad \text{Освещенность изображения} \quad E = \frac{W}{S_2} = \frac{W_0}{4\pi b^2} \frac{S_1}{S_0} \quad \text{не}$$

зависит от a ! Поэтому $E_1 / E_2 = 1$.



1. Пусть x - деформация пружины, равная координате ее левого конца. x_0 и x_1 - первое и второе максимальные сжатия. $V_1 = 23V_0/9$, $V_2 = 7V_0/3$. Пусть a - расстояние от бруска до уступа.



1) По 3СЭ $\frac{1}{2}kx_0^2 = \frac{1}{2}mV_1^2$. $x_0 = \frac{23}{9}\sqrt{\frac{m}{k}}V_0$.

2) Обозначим кинетические энергии непосредственно перед первым ударом через W_1 , а сразу после первого и второго ударов через W_2 и W_3 . По 3СЭ $\frac{1}{2}mV_1^2 = W_1 + \frac{1}{2}ka^2$, $\frac{1}{2}mV_2^2 = W_2 + \frac{1}{2}ka^2$,

$\frac{1}{2}mV_3^2 = W_3 + \frac{1}{2}ka^2$. По условию $\frac{W_2}{W_1} = \frac{W_3}{W_2}$, $\frac{1}{2}mV_0^2 = \frac{1}{2}ka^2$. С учетом выражений для V_1 и V_2 получаем

$$V_3 = \sqrt{\frac{32}{7}}V_0.$$

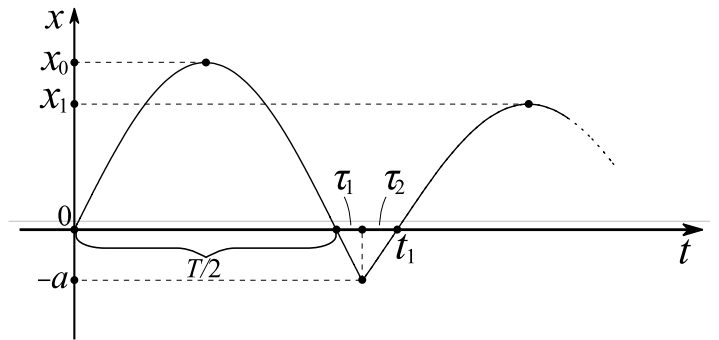
3) На рисунке показана зависимость x от времени.

$$t_1 = \frac{1}{2}T + \tau_1 + \tau_2. \quad T = 2\pi\sqrt{m/k}, \quad \omega = \sqrt{k/m}.$$

$$a = x_0 \sin \omega \tau_1, \quad \tau_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{a}{x_0} = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{9}{23}.$$

$$a = x_1 \sin \omega \tau_2, \quad \tau_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{a}{x_1}. \quad \text{Найдем } x_1 \text{ из 3СЭ:}$$

$$\frac{1}{2}mV_2^2 = \frac{1}{2}kx_1^2. \quad \text{Тогда } \tau_2 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{3}{7}. \quad t_1 = \sqrt{\frac{m}{k}} \left(\pi + \arcsin \frac{9}{23} + \arcsin \frac{3}{7} \right).$$



2. 1) Для любого процесса, где $P = \alpha V$ ($\alpha = \text{const}$), $\alpha V^2 = \nu RT$. Отсюда $2\alpha V dV = \nu R dT$.

$\nu C dT = \nu C_V dT + \alpha V dV$, $\nu C dT = \nu C_V dT + \frac{1}{2} \nu R dT$. $C = C_V + \frac{1}{2}R$. Итак, $C_{34} = C_{12} = C_V + \frac{1}{2}R$. Для 1-2

$$\frac{7}{2}R = C_V + \frac{1}{2}R, \quad C_V = 3R. \quad C_P = C_V + R = 4R. \quad C_{23} = C_V = 3R.$$

2) $A = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41} = \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_1) - Q + \nu \frac{7}{2}R(T_4 - T_3) - Q = -2Q + \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_3 + T_4 - T_1)$. Так как

$$Q = \nu C_V(T_2 - T_3) = \nu C_P(T_4 - T_1), \quad \text{то } A = -2Q + \nu \frac{7}{2}R \left(\frac{Q}{\nu C_V} + \frac{Q}{\nu C_P} \right) = \frac{1}{24}Q.$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_{12}}$, $Q_{12} = \nu \frac{7}{2}R(T_2 - T_1)$. Найдем T_2 и T_1 . $\frac{T_2}{T_3} = \frac{12}{5}$ (1). $T_4 - T_1 = \frac{Q}{\nu C_P} = \frac{1}{4} \frac{Q}{\nu R}$ (2).

$$T_2 - T_3 = \frac{Q}{\nu C_V} = \frac{1}{3} \frac{Q}{\nu R} \quad (3). \quad \text{Из (1) и (3)} \quad T_2 = \frac{4}{7} \frac{Q}{\nu R}. \quad \text{Из уравнений } \frac{P_3}{P_1} = \frac{V_2}{V_4}, \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_2}{V_1}, \quad P_1 V_1 = \nu R T_1,$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad P_3 V_2 = \nu R T_3, \quad P_1 V_4 = \nu R T_4 \quad \text{следует } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3}. \quad \text{Итак, } \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3} = \frac{12}{5} \quad (4). \quad \text{Из (2) и (4)} \quad T_1 = \frac{5}{28} \frac{Q}{\nu R}.$$

$$\text{Тогда } Q_{12} = \frac{11}{8}Q, \quad \eta = \frac{1}{33}.$$

3. 1) Из графика при $x = 0$ $E(0) = 5$ кВ/м. $U_0 = E(0)d = 45$ В.

2) $U_0 = E(d - x) + \frac{E}{\varepsilon}x$. Отсюда $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{d - U_0/E}{x}$. Из графика при $x = 6$ мм $E = 9$ кВ/м. $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} = \frac{2}{3}$. $\varepsilon = 3$.

Допустимые пределы $2,7 < \varepsilon < 3,3$.

4. 1) $\frac{dI}{dt} = \frac{I_1}{\tau}$.

2) Зависимость тока от времени показана на рисунке.

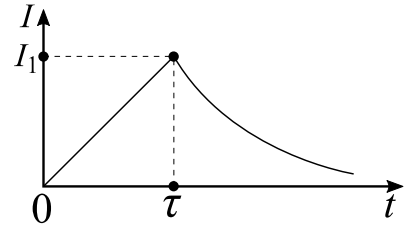
$$-n \frac{\Delta B}{\Delta t} S_1 - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR \quad \text{в любой момент времени.}$$

$$-n S_1 \Delta B - L \Delta I = (I \Delta t) R. \quad -n S_1 \Delta B - L \Delta I = R \Delta q.$$

$$-n S_1 \sum \Delta B - L \sum \Delta I = R \sum \Delta q. \quad \text{От момента, когда ток } I_1, \text{ до нулевого тока } 0 - L(0 - I_1) = Rq. \quad q = \frac{L I_1}{R}.$$

Заметим, что этот ответ можно записать сразу, воспользовавшись законом электромагнитной индукции в форме Фарадея.

3) При $0 < t < \tau$ $-n S_1(0 - B_1) - L(I_1 - 0) = R q_1$, $q_1 = \frac{1}{2} I_1 \tau$. Отсюда $B_1 = \frac{(L + R\tau/2) I_1}{n S_1}$.



5) 1) Удобно пустить луч, параллельный главной оптической оси, на плоскую поверхность линзы.

$$n \sin \alpha = 1 \cdot \sin \beta. \quad \text{Так как углы малы, то } n\alpha = \beta,$$

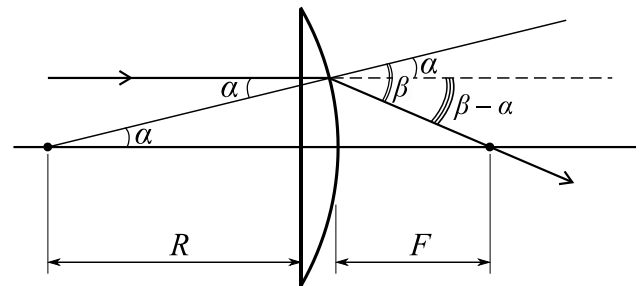
$$R\alpha = F(\beta - \alpha). \quad \text{Отсюда } \frac{1}{F} = (n-1) \frac{1}{R}.$$

$$2) \frac{1}{a_1} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_1}, \quad \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b} = (n-1) \frac{1}{R_0 + kU_2},$$

$$\Gamma_1 = \frac{b}{a_1}, \quad \Gamma_2 = \frac{b}{a_2}. \quad \text{Исключая из системы уравнений } a_1 \text{ и } a_2, \text{ получим } \frac{1}{b}(\Gamma_1 + 1) = \frac{n-1}{R_0 + kU_1},$$

$$\frac{1}{b}(\Gamma_2 + 1) = \frac{n-1}{R_0 + kU_2}.$$

Удобно подставить числа и решать последнюю систему уравнений. $\frac{U_2}{U_1} = 4$.



3) Пусть W_0 - мощность источника, S_0 - его площадь в поперечном сечении, S_1 - площадь линзы, S_2 - площадь изображения, a и b - расстояния от источника и

изображения до линзы. Падающая на линзу мощность $W = \frac{W_0}{4\pi a^2} S_1$. Площадь

изображения $S_2 = S_0 \left(\frac{b}{a}\right)^2$. Освещенность изображения $E = \frac{W}{S_2} = \frac{W_0}{4\pi b^2} \frac{S_1}{S_0}$ - не

зависит от a ! Поэтому $E_1/E_2 = 1$.

