



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников "Ломоносов"
наименование олимпиады

по Физике
профиль олимпиады

Юшкова Павла Александровича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«14» февраля 2025 года

Подпись участника
Юшкова

Чернышук

$\omega = \frac{v}{\lambda}$
 $y = \cos(\omega t - kx)$
 $\frac{k\gamma}{H/M} = \frac{k\gamma \cdot M}{H \cdot M} = \frac{c}{c^2}$
 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \frac{m}{k}$
 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

$$\delta = \frac{\lambda L}{d}$$

$$\sqrt{\frac{k}{m} \frac{m}{k}} = \sqrt{\frac{k}{H/M}}$$

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{\int \frac{\epsilon_0}{2} E^2 dV}{2} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$$

$$\sqrt{L^2 + \frac{1}{4} \left(x - \frac{1}{2} \right)^2} \quad q_{OB} = q_E$$

$$t_2 = \frac{c}{\sqrt{c^2 + \left(x \frac{d}{2}\right)^2}}$$

$$\frac{\epsilon_0 E^2 c}{2} \cdot V \cancel{d} \cdot S = P \cancel{d}$$

$$\frac{\epsilon_0 v^3 B^2}{2} S = P$$

$$\frac{5 \frac{19}{2} + \frac{5}{15}}{2} = \frac{29}{2}$$

$$= \frac{d}{dR_1} \left(\frac{1}{(R_1 R_2)^2} \right) = \frac{-2}{(R_1 R_2)^3}$$

$$R_1 \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{\lambda}{c} = \frac{1}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$\epsilon_i = \text{Bod}$ ✓
 $R_i ? ; \epsilon_o ?$

$$P = \frac{\varepsilon_i^2}{(R+R)^2} R = \frac{B^2 \sigma_d^2}{(1+1)^2} R$$

$$h(v)^{-1}.$$

$$R_1 = \int \frac{R}{S} = \int \frac{d}{S}$$

$$X = \frac{H}{N}$$

$$d = 2h$$

$$\frac{h}{N} = \frac{\lambda L}{2h}$$

$$h = \frac{\lambda L N}{2H} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 200}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = \frac{100 \cdot 100}{10^7} = 10^{-3} = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{2} \left(L \left(1 + \frac{1}{2} \left(x + \frac{d}{2} \right)^2 \right) - L \left(1 + \frac{1}{2} \left(x - \frac{d}{2} \right)^2 \right) \right) = \dots$$

$$X + \frac{L}{2} \left(\frac{x^2 + x d + \frac{d^2}{4}}{1} \right) - X - \frac{L}{2} \left(\frac{x^2 - 2 x d + \frac{d^2}{4}}{1} \right) =$$

$$\frac{2}{2L}x_d + \frac{2}{2L}x_d = x$$

$$\frac{d}{dx} = 1$$

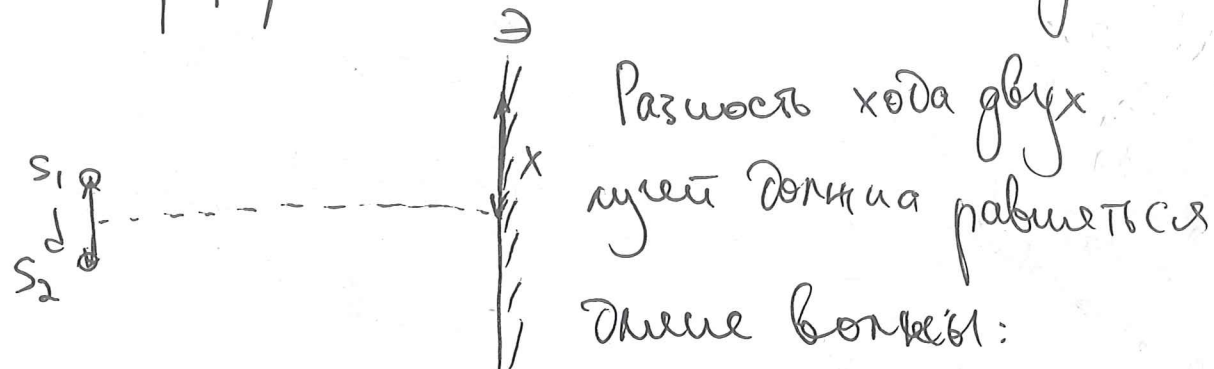
$$= \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-1}}{41 \cdot 10 \cdot 10^{-2}}} = \sqrt{\frac{10^{-2}}{4 \cdot 10^4}} = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 100}} = \frac{1}{20} = \frac{50 \text{ m}}{\text{c}}$$

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 100}{2 \cdot 10^{-2}} = \frac{100 \cdot 100}{10^7} = 10^{-3} = 1 \text{ mm}$$

№5

Чистовик

Зеркало создает изображение источника и получается картина интерференции двух когерентных источников. Найдем длину интерференционной полосы в этом случае:



$$t_1 = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (x - \frac{d}{2})^2}}; t_2 = \frac{\sqrt{L^2 + (x + \frac{d}{2})^2}}{c}$$

$$t_2 - t_1 = \frac{\lambda}{c}$$

$$\frac{\sqrt{L^2 + (x + \frac{d}{2})^2}}{c} - \frac{\sqrt{L^2 + (x - \frac{d}{2})^2}}{c} = \frac{\lambda}{c}$$

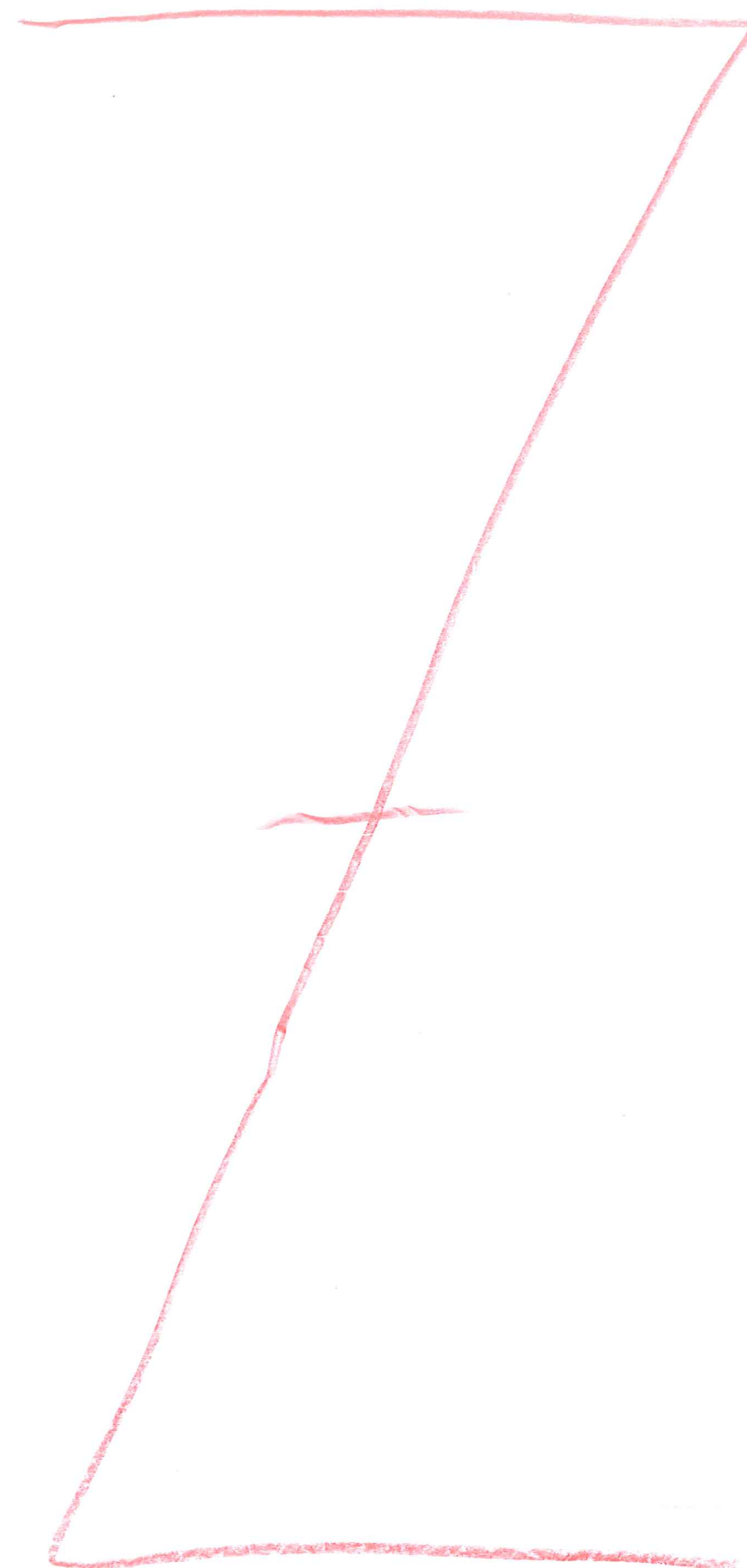
$$L \sqrt{1 + \frac{(x + \frac{d}{2})^2}{L^2}} - L \sqrt{1 + \frac{(x - \frac{d}{2})^2}{L^2}} = \lambda$$

$$(1+x)^d \approx 1+dx \text{ при } x \ll 1$$

$$L \left(1 + \frac{x^2 + xd + \frac{d^2}{4}}{2L^2} \right) - L \left(1 + \frac{x^2 - xd + \frac{d^2}{4}}{2L^2} \right) = \lambda$$

$$\frac{4xd}{2L^2} + \frac{4xd}{2L^2} = \lambda$$

$$\frac{xd}{L} = \lambda \Rightarrow x = \frac{\lambda L}{d}$$

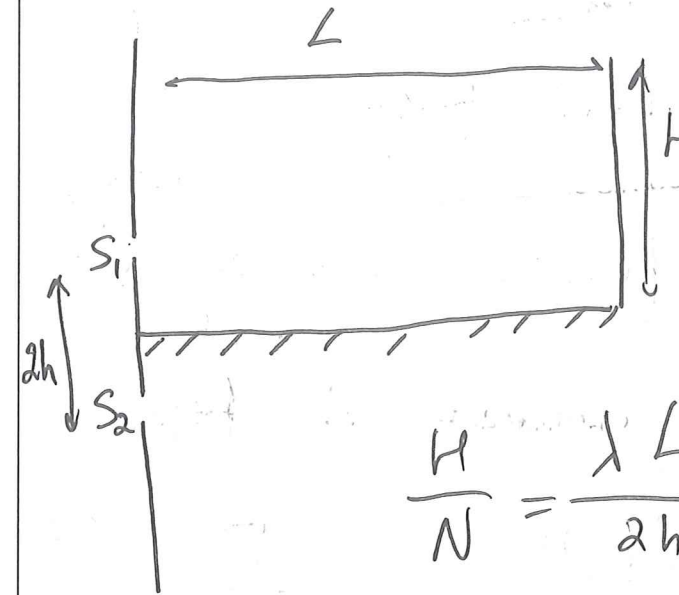


В нашем случае:

$$\chi = \frac{H}{N}$$

$$d = 2h$$

Тогда:

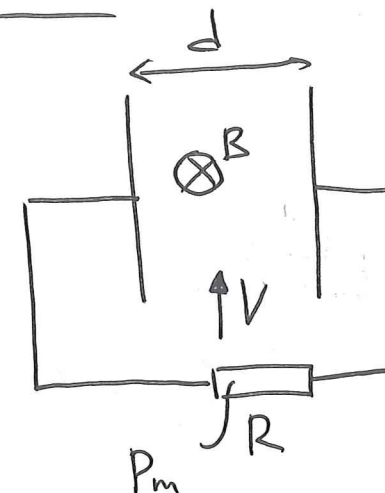


$$\frac{H}{N} = \frac{\lambda L}{2h}$$

$$h = \frac{\lambda L N}{2H} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = \frac{10^2 \cdot 10^2}{10^6 \cdot 10} = 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}$$

$$h = \frac{\lambda L N}{2H} = 1 \text{ мм}$$

23



$$\varepsilon_i = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{B dS}{dt} = \frac{B \cdot V dt \cdot d}{dt} = B V d$$

$$R_1 = \rho \frac{d}{S} \text{ (сопротивление жидкости и пластины)}$$

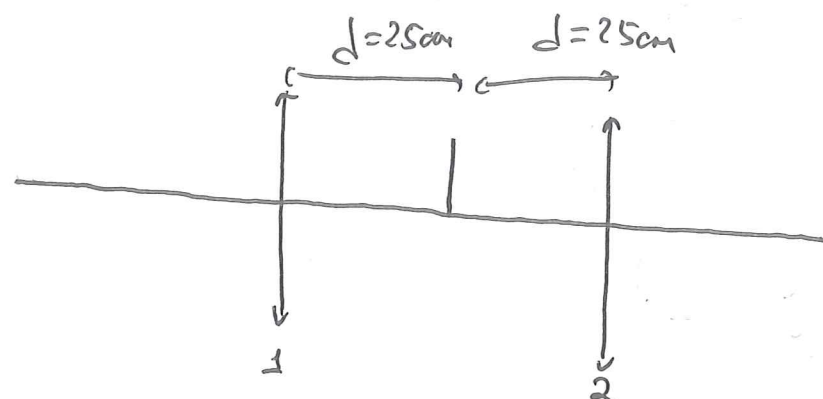
$$P = I^2 R = \frac{\varepsilon_i^2}{(R+R_1)^2} R = \frac{B^2 V^2 d^2}{(R+R_1)^2} R$$

При данных условиях $P \rightarrow P_{\max}$ и $R_1 \rightarrow 0$

$$P_{\max} = \frac{B^2 V^2 d^2}{R} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{P_{\max} R}{B^2 d^2}} = \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-1}}{1 \cdot 16 \cdot 10^{-2}}} = \frac{1}{20} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

пч

Чистовик



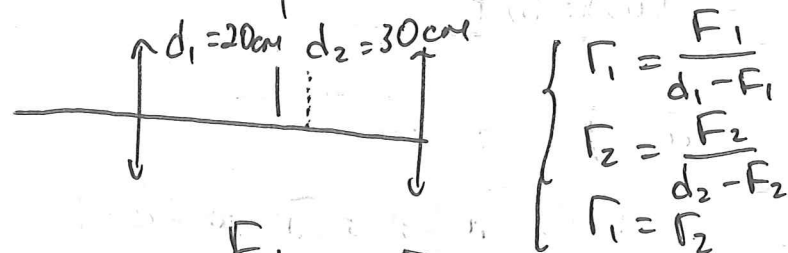
действительные изображения $\Rightarrow d > F_1, F_2$

$$\Gamma = \frac{f}{d}; \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{Fd}{d-F} \Rightarrow \Gamma = \frac{F}{d-F}$$

$$\Lambda_1: \Gamma = 1 \Rightarrow d = 2F_2 \Rightarrow F_1 = \frac{d}{2} = 12,5 \text{ cm}$$

$$\Lambda_2: \Gamma = \Gamma \Rightarrow \Gamma = \frac{F_2}{d-F_2}$$

Если стержень сместили влево:



$$\frac{F_1}{d_1 - F_1} = \frac{F_2}{d_2 - F_2}$$

$$\frac{d_1}{F_1} - 1 = \frac{d_2}{F_2} - 1$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{d_2}{d_1} = 12,5 \text{ cm} \cdot \frac{3}{2} = \frac{25}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{75}{4} \text{ cm} = 18,75 \text{ cm}$$

$$\Gamma = \frac{F_2}{d - F_2} = \frac{\frac{75}{4}}{25 - \frac{75}{4}} = \frac{75}{100 - 75} = 3$$

Чистовик

~~$$mg \leq \sqrt{m^2 g^2 + k n g h}$$~~

$$\Delta X_m = A - X_2 = \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{m g h}{k}} - \frac{2 m g}{k}$$

$$F_{ym} \leq m g$$

$$k \left(\sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{m g h}{k}} - \frac{2 m g}{k} \right) \leq m g$$

$$k \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{m g h}{k}} \leq 3 m g$$

$$\sqrt{m^2 g^2 + m g h k} \leq 3 m g$$

$$m^2 g^2 + m g h k \leq 9 m^2 g^2$$

$$h k \leq 8 m g$$

$$k \leq \frac{8 m g}{h}$$

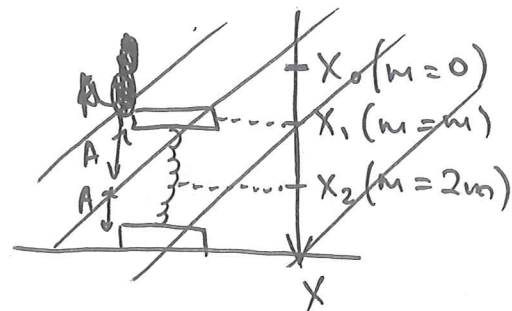
$$k = \frac{8 m g}{h} = \frac{8 \cdot 0,4 \cdot 10}{0,08} = 100 \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

$$x^2 + \frac{\dot{x}^2}{\omega^2} = A^2$$

Чистовик

- справедливо для любого положения груза.

В момент после неупругого соударения:



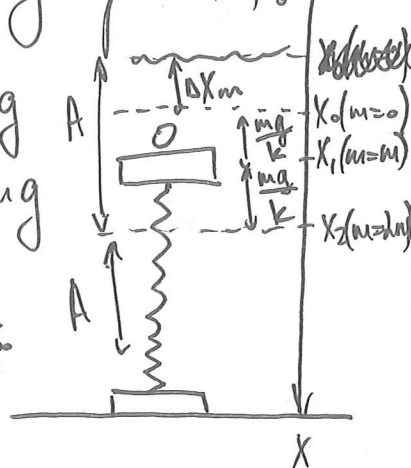
$$k(x_1 - x_0) = mg$$

$$k(x_2 - x_0) = 2mg$$

$$x_2 = \frac{2mg}{k} + x_0$$

$$x_1 = \frac{mg}{k} + x_0$$

$$x_2 - x_1 = \frac{mg}{k}$$



$$x = \frac{mg}{k}$$

$$\dot{x} = u = \sqrt{\frac{gh}{2}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{2m}}$$

$$\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{gh \cdot 2m}{2 \cdot k} = A^2 \quad (\text{А от положения равновесия})$$

$$A = \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{mgh}{k}}$$

~~А~~

$$x_m = x_2 - A$$

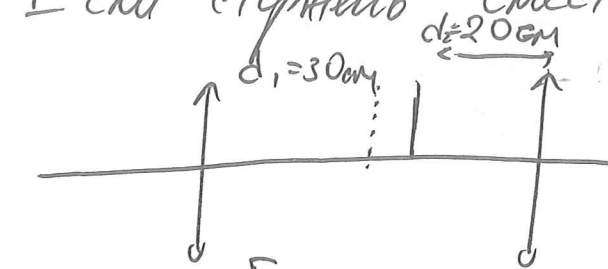
$$F_{y \max} = k(x_m - x_0) = k(x_2 - A - x_0) = k\left(\frac{2mg}{k} - \sqrt{\frac{m^2 g^2}{k^2} + \frac{mgh}{k}} - \frac{mg}{k}\right)$$

$$F_{y \max} \leq mg$$

$$2mg - \sqrt{m^2 g^2 + kmgh} \leq mg$$

50-26-45-91
(3.5)

Если стержень сместили вправо: Чистовик



$$\begin{cases} F_1 = \frac{F_1}{d_1 - F_1} \\ F_2 = \frac{F_2}{d_2 - F_2} \end{cases} \quad \text{Если } d_2 > F_2:$$

$$\begin{cases} \Gamma_1 = \frac{F_1}{d_1 - F_1} \\ \Gamma_2 = \frac{F_2}{d_2 - F_2} \\ \Gamma_1 = \Gamma_2 \end{cases}$$

$$\frac{F_1}{d_1 - F_1} = \frac{F_2}{d_2 - F_2}$$

$$\frac{d_1}{F_1} - 1 = \frac{d_2}{F_2} - 1$$

$$F_2 = F_1 \frac{d_2}{d_1} = \frac{25}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{25}{3} \text{ см}$$

Если $d_2 < F_2$, то изображение

$$\Gamma = \frac{F_2}{d - F_2} = \frac{\frac{25}{3}}{25 - \frac{25}{3}} = \frac{25}{75 - 25} = \frac{1}{2}$$

Если $d_2 < F_2$, то изображение мнимое и $\Gamma_2 = \frac{F_2}{F_2 - d_2}$

$$\begin{cases} \Gamma_1 = \frac{F_1}{d_1 - F_1} \\ \Gamma_2 = \frac{F_2}{F_2 - d_2} \\ \Gamma_1 = \Gamma_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{F_1}{d_1 - F_1} = \frac{F_2}{F_2 - d_2}$$

$$\frac{d_1}{F_1} - 1 = 1 - \frac{d_2}{F_2}$$

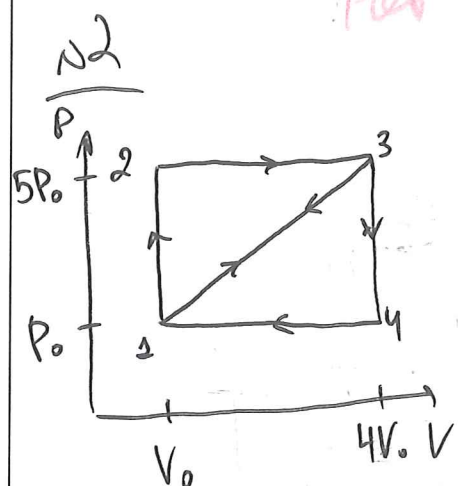
$$\frac{d_2}{F_2} = 2 - \frac{d_1}{F_1}$$

$$F_2 = \frac{d_2}{2 - \frac{d_1}{F_1}} = \frac{20}{2 - \frac{630 \cdot 2}{255}} = \frac{20}{2 - \frac{12}{5}} = \frac{20}{-0.4} = -50 \text{ см}$$

$F_2 > 0$, поэтому не подходит.

Возможны два варианта:

$$\Gamma = 3 \quad \text{и} \quad \Gamma = \frac{1}{2}$$



1-2-3-1:

Q^+ на участках 1-2 и 2-3.

$$Q^+ = \Delta U + A = \frac{3}{2} \Delta(PV) + 5P_0(4V_0 - V_0) = \frac{3}{2} (20P_0V_0 - P_0V_0) + 15P_0V_0 = \frac{3}{2} \cdot 19P_0V_0 + 15P_0V_0 = \frac{57}{2}P_0V_0 + \frac{30}{2}P_0V_0 = \frac{87}{2}P_0V_0$$

Q^- на участке 3-1:

$$Q^- = \frac{3}{2} (20P_0V_0 - P_0V_0) + \frac{1}{2} (P_0 + 5P_0) \cdot 3V_0 = \frac{57}{2}P_0V_0 + 9P_0V_0 = \left(\frac{57}{2} + \frac{18}{2}\right)P_0V_0 = \frac{75}{2}P_0V_0$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{Q^-}{Q^+} = 1 - \frac{75}{87} = \frac{12}{87} = \frac{4}{29}$$

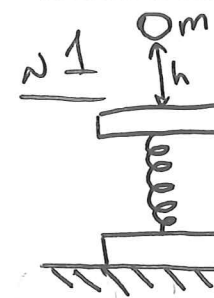
1-3-4-1: Q^+ на 1-3; Q^- на 3-4 и 4-1. Чистовик

$$Q^+ = \frac{3}{2} (20P_0V_0 - P_0V_0) + \frac{1}{2} (P_0 + 5P_0) 3V_0 = \frac{57}{2}P_0V_0 + 9P_0V_0 = \frac{75}{2}P_0V_0$$

$$Q^- = \frac{3}{2} (20P_0V_0 - P_0V_0) + P_0 \cdot 3V_0 = \frac{57}{2}P_0V_0 + 3P_0V_0 = \frac{63}{2}P_0V_0$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{Q^-}{Q^+} = 1 - \frac{63}{75} = \frac{12}{75} = \frac{4}{25}$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{12/75}{12/87} = \frac{87}{75} = \frac{29}{25} = 1.16$$



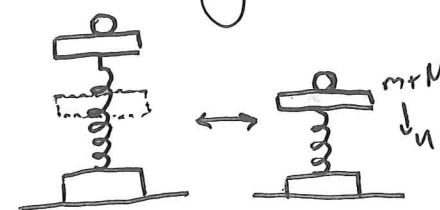
ЗСД для шарика:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

ЗСМ для шарика с бруском:

$$mv = (m+M)u \Rightarrow u = \frac{m}{m+M} v = \frac{m}{m+M} \sqrt{2gh} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$$

Пружина не сжимается полностью $\Rightarrow$ единственный вариант возникновения негармонических колебаний — если нижний брусок оторвется. Нижний брусок оторвется если $F_y = mg$, сила F_y со стороны пружины максимальна, когда верхний груз находится в амплитудном положении.



Колебания происходят по закону

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$\dot{x} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$x^2 = A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

$$\dot{x}^2 = A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)$$