0 450534 500000

45-05-34-50
(2.7)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 2

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Малышева Леонида Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Выдан доп. вкладыш

Сдал 14:41

Дата

«14» 02 2025 года

Подпись участника

Для случайного точки B: • $a+b = L$ • $CE \cdot a = h \cdot b$

$l_1 = AC = \sqrt{(EC-h)^2+L^2}$

$l_2 = AB + BC = \sqrt{(h+EC)^2+L^2}$,

при этом $EC \in [0; H]$.

~~t_1~~ $l_2 \geq l_1$

При этом кол-во делителей $= N$ (200 штук)

$\frac{l_2 - l_1}{\cancel{\lambda_1}} \equiv 0 \pmod{\frac{\lambda}{2}}$

$l_2 - l_1$ делится на $\frac{\lambda}{2}$ ровно (без остатка)

$l_2 - l_1 = \sqrt{(h+CE)^2+L^2} - \sqrt{(EC-h)^2+L^2}$:

$: \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \sqrt{(h+CE)^2+L^2} = \frac{i\lambda}{2}$

$\sqrt{(CE-h)^2+L^2} = \frac{j\lambda}{2}$,

где i и j — целые числа $\Rightarrow$

$\Rightarrow (h+CE)^2+L^2 = \frac{i^2\lambda^2}{4}$

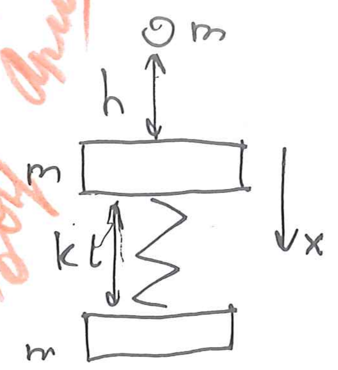
$(CE-h)^2+L^2 = \frac{j^2\lambda^2}{4}$

$i - j = 1, 2, 3 \dots 200$

45-05-34-50 (2:7)

№	1	2	3	4	5
	15	20	12	20	69

№ 1.



h_{max} — ? (чтобы были гармонические колебания)

Изначально пружина сжата на Δx_0, при этом по II закону Ньютона на верхний брусок:

$Ox: \ mg - k\Delta x_0 = 0 \Rightarrow \Delta x_0 = \frac{mg}{k}$

Удар: по ЗСИ: $\cancel{\frac{mv^2}{2}}$ $mv = 2mv'$,

где v — скорость шарика m, а v' — скорость бруска и шарика после удара (т.к. они слиплись)

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

$\Rightarrow v' = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ (из ЗСИ)

ЗСЭ для системы:

$\frac{2m(v')^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \cancel{} \cancel{2m(v')^2}$

$+ \frac{2m(\dot{x})^2}{2} \Rightarrow kx^2 + 2m(\dot{x})^2 + 2m\sqrt{\frac{gh}{2}}^2 =$

$= 0$; Возьмём производную:

$2kx\dot{x} + 4m\dot{x}\ddot{x} + 0 = 0 \quad \Big|: 4\dot{x}m \Rightarrow$

$\Rightarrow \ddot{x} + \frac{k}{2m} x = 0$

$\frac{k}{2m} \to \omega^2 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{2m}}$

ЗСЭ для системы:

$\frac{2m(v')^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \Rightarrow mgh = kA^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow A = \sqrt{\frac{mgh}{k}}$

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

$\dot{x}(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)\cdot\omega$, но при $t = 0$,

$\dot{x} = v' = \varnothing \ \sqrt{\frac{gh}{2}} \Rightarrow \sqrt{\frac{gh}{2}} = A\omega\cos(\varphi_0) =$

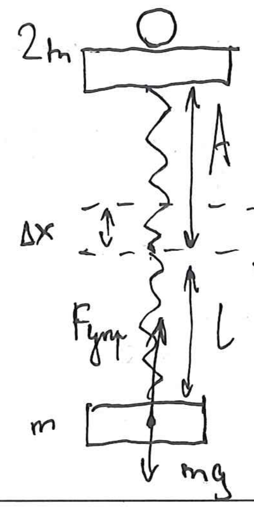
$= \sqrt{\frac{mgh}{k}}\cdot\sqrt{\frac{k}{2m}}\cos(\varphi_0) \Rightarrow \cos(\varphi_0) = 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow \varphi_0 = 0$

$\Downarrow$

$x(t) = A\sin(\omega t)$

Колебание, но когда их может не быть!



Пусть L – начальная длина пружины (в равновесии), тогда:

Когда верхний брусок отклонился на амплитуду вверх, нижний не должен оторваться $\Rightarrow$

Угол отражения равен углу падения $\Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{a}{h} = \frac{b}{H}$ (ctg углов);

• $a + b = L$ (расстояние между экранами)

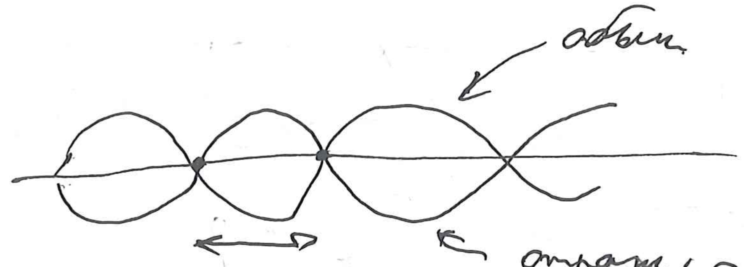
• $aH = bh$

Длина обычного луча:

$L_1 = \sqrt{(H-h)^2 + L^2}$ (по Th. Пифагора)

Длина отражённого луча:

$L_2 = \sqrt{a^2 + h^2} + \sqrt{b^2 + H^2}$ (по Th. Пифагора)



разница фаз: $\frac{\pi}{2} \Leftrightarrow \frac{\lambda}{2}$ (по длине)

$c \cdot T = \lambda$

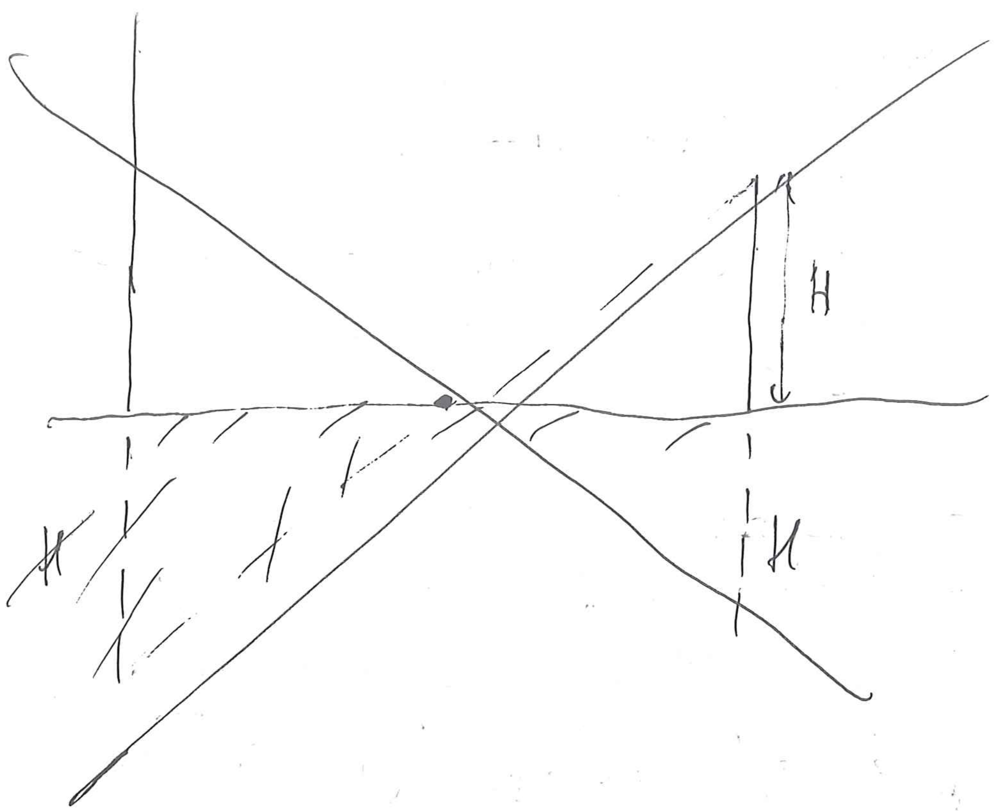
Для интерференции:

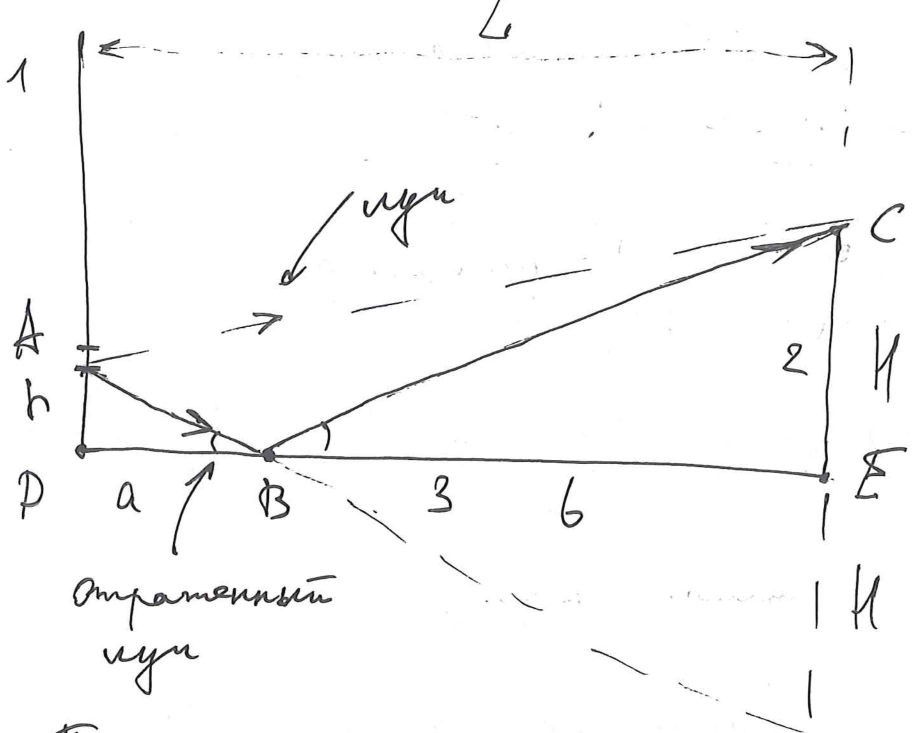
$AC = n\lambda$

$AB + BC = k\lambda + \frac{\lambda}{2}$, где n и k – целые числа.

$AB + BC = L_2 = \sqrt{(H+h)^2 + L^2}$

Точки B и C могут двигаться (они связаны $\Rightarrow$ достаточно двигать только точку B)





Пусть расстояние от экрана 1 до точки преломления в зеркале 3 (точка B) = a; a = DB; аналогично b — расстояние от экрана 2 до точки преломления; b = BE

=> Для гармонических колебаний:

$mg \geq F_{упр}$; $F_{упр} = k(A - \Delta x)$

растяжение =>

=> $mg \geq k\left(\sqrt{\frac{mgh}{k}} - \frac{mg}{k}\right)$

$2mg \geq \sqrt{mghk}$ => $2\sqrt{\frac{mg}{k}} \geq \sqrt{h}$ =>

=> $h_{max} \leq \frac{4mg}{k}$ => $h_{max} \in \left[0; \frac{4mg}{k}\right]$

$\frac{4mg}{k} = \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 10}{100} = 0,04$ м $= 4$ см =>

=> Ответ: $h_{max} \in [0; 4$ см$]$.

№ 2.

$\eta = \frac{A_z}{Q_{подв}}$; A_{12} и $A_{34} = 0$ (т.к. $\Delta V = 0$)

$A_{13} = -A_{31}$; $A_{13} = \frac{(p_0 + 4p_0)}{2}(3V_0 - V_0) =$

$= \frac{10}{2} p_0 V_0$ (как площадь трапеции) $= 5p_0V_0$

$A_{23} = 4p_0(3V_0 - V_0) = 8p_0V_0$ (изобара)

$A_{41} = p_0(V_0 - 3V_0) = -2p_0V_0$ (изобара)

Тепло подводится в процессах 1→2; 2→3; 1→3. (в пр. 1→2 $A = 0$; $\Delta U > 0$; в пр 2→3 $A > 0$, $\Delta U > 0$; в пр. 1→3 $A > 0$; $\Delta U > 0$).

В остальных процессах $A \leq 0$; $\Delta U < 0$.

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \Delta U_{12} = \frac{i}{2}\nu R \Delta T_{12}$$

$p_0V_0 = \nu RT_1$; $4p_0V_0 = \nu RT_2 \Rightarrow \nu R\Delta T_{12} = 3p_0V_0$; а $i = 3$ (т.к. газ одноатомный) $\Rightarrow Q_{12} = \frac{3}{2}\cdot 3p_0V_0 = \frac{9}{2}p_0V_0$

$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}$; $\Delta U_{23} = \frac{i}{2}\nu R\Delta T_{23} = \frac{i}{2}(4p_0\cdot 3V_0 - 4p_0\cdot V_0) = \frac{3}{2}\cdot 8p_0V_0 = 12p_0V_0 \Rightarrow Q_{23} = 8p_0V_0 + 12p_0V_0 = 20p_0V_0$

$$Q_{13} = A_{13} + \Delta U_{13} = 5p_0V_0 + \frac{3}{2}(4p_0\cdot 3V_0 - p_0V_0) = 5p_0V_0 + \frac{33}{2}p_0V_0 = \frac{43}{2}p_0V_0$$

$$\eta_{1231} = \frac{A_{12}+A_{23}+A_{31}}{Q_{12}+Q_{23}} ; \quad \eta_{1341} = \frac{A_{13}+A_{34}+A_{41}}{Q_{13}}$$

$$\frac{\eta_{1341}}{\eta_{1231}} = \frac{(A_{13}+A_{34}+A_{41})}{Q_{13}}\cdot\frac{(Q_{12}+Q_{23})}{(A_{12}+A_{23}+A_{31})} = \frac{(5p_0V_0 + 0 + (-2p_0V_0))}{\frac{43}{2}p_0V_0}\cdot\frac{(\frac{9}{2}p_0V_0 + 20p_0V_0)}{(0 + 8p_0V_0 - 5p_0V_0)} =$$

$$= \frac{\cancel{3}}{43}\cdot\cancel{2}\cdot\frac{49}{\cancel{2}\cdot\cancel{3}} = \frac{49}{43}$$

$$\Rightarrow \Gamma_2 = \frac{d^2\Gamma_2}{d(\Gamma_2+1)} = \frac{d\Gamma_2}{\Gamma_2+1}$$

Объединяя полученное:

$$\frac{d}{-2x+d} = \frac{d\Gamma_2}{(\Gamma_2+1)\left(d+x-\frac{d\Gamma_2}{\Gamma_2+1}\right)}$$

$$(\Gamma_2+1)\left(d+x-\frac{d\Gamma_2}{\Gamma_2+1}\right) = \Gamma_2(-2x+d)$$

$$d(\Gamma_2+1) + x(\Gamma_2+1) - d\Gamma_2 = \Gamma_2(-2x+d)$$

$$\cancel{d=}\ d(1-\Gamma_2) = -2\Gamma_2 x - x(\Gamma_2+1)$$

$$\cancel{d(1-\Gamma_2) = x(\Gamma_2-1)}$$

$$d(1-\Gamma_2) = x(-3\Gamma_2-1)$$

$$d = \frac{x(3\Gamma_2+1)}{\Gamma_2-1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = \frac{5(3\cdot3+1)}{3-1} = \frac{50}{2} = 25 \text{ см}$$

№5.

Интерференционные полосы — наложение двух волн, которые колеблются в противофазе.

По усл-ию $h << L \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha << 1$ (в радианах)

45-05-34-50 (2.7)

При $i-j$ max СВ тоже max (чтобы $L_2 - L_1$ было max) СВ max $\approx H$ (отклонениями от H можно пренебречь) $\Rightarrow$

$\Rightarrow (i-j)_{max} = N \Rightarrow$

$$\Rightarrow \sqrt{(h+H)^2+L^2} - \sqrt{(H-h)^2+L^2} =$$

$$= (i-j)_{max} \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{N\lambda}{2}$$

$$L\sqrt{\frac{h^2+2hH+H^2}{L^2}+1} - L\sqrt{\frac{H^2-2hH+h^2}{L^2}+1} = \frac{N\lambda}{2}$$

$\frac{h^2}{L^2} \ll 1 \Rightarrow$ можно пренебречь $\Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{h^2}{L^2} \approx 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow L\left(\sqrt{\frac{2hH+H^2}{L^2}+1} - \sqrt{\frac{H^2-2hH}{L^2}+1}\right) = \frac{N\lambda}{2}$$

Подписывать лист-вкладыш запрещено! Писать на полях листа-вкладыша запрещено!

$$L^2\left(\frac{2bH+H^2}{L^2}+1 \mp 2\sqrt{\frac{2bH+H^2}{L^2}+1}\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\sqrt{\frac{H^2-2bH}{L^2}+1}+\frac{H^2-2bH}{L^2}+1\right)=$$

$$=\frac{N^2\lambda^2}{4}$$

$$L^2\left(\frac{2H^2}{L^2}+2-2\sqrt{\left(\frac{2bH+H^2}{L^2}+1\right)\cdot}\right.$$

$$\left.\cdot\overline{\left(\frac{H^2-2bH}{L^2}+1\right)}\right)=\frac{N^2\lambda^2}{4}$$

$$\left(\frac{2bH+H^2+L^2}{L^2}\right)\left(\frac{H^2+L^2-2bH}{L^2}\right)=$$

$$=\frac{1}{L^4}\left((H^2+L^2)-2bH\right)\left((H^2+L^2)+2bH\right)=$$

$$=\frac{1}{L^4}\left((H^2+L^2)^2-4b^2H^2\right)\Rightarrow$$

$$\Rightarrow L^2\left(\frac{H^2}{L^2}+1-\frac{1}{L^2}\sqrt{(H^2+L^2)^2-4b^2H^2}\right)=$$

$$=\frac{N^2\lambda^2}{8}$$

$$H^2+L^2-\sqrt{\underbrace{(H^2+L^2)^2-4b^2H^2}}=\frac{N^2\lambda^2}{8}$$

$$=H^4+2H^2L^2+L^4-4b^2H^2$$

$$(5\cdot10^{-2})^2+L^2-\sqrt{\left((5\cdot10^{-2})^2+L^2\right)^2-}$$

$$\overline{-4\cdot(10^{-3})^2\cdot(5\cdot10^{-2})^2}=\frac{200^2\cdot(0{,}5\cdot10^{-6})^2}{8}$$

$$25\cdot10^{-4}+L^2-\sqrt{(25\cdot10^{-4}+L^2)^2-10^{-8}}=$$

$$=\frac{4}{8}\cdot10^4\cdot\frac{1}{4}\cdot10^{-12}=\frac{10^{-8}}{8}.$$

$$25\cdot10^{-4}+L^2-\sqrt{625\cdot10^{-8}+50L^2\cdot10^{-4}+L^4-}$$

$$\overline{-10^{-8}}=\frac{10^{-8}}{8}$$

$$25\cdot10^{-4}+L^2-\sqrt{624\cdot10^{-8}+5L^2\cdot10^{-3}+L^4}=$$

$$=\frac{10^{-8}}{8}\Rightarrow L^2\approx8\Rightarrow L=2\sqrt{2}\ м$$

Получаем систему:

- $\Gamma_2 = \frac{b_2}{d}$ (1) — нам известно Γ_2 и x; d надо найти
- $\frac{1}{d} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_2}$ (2)
- $2F_1 = d$ (3)
- $\frac{b_1'}{d-x} = \frac{b_2'}{d+x}$ (4)
- $\frac{1}{d-x} + \frac{1}{b_1'} = \frac{1}{F_1}$ (5) => $b_1' = \frac{F_1(d-x)}{d-x-F_1}$
- $\frac{1}{d+x} + \frac{1}{b_2'} = \frac{1}{F_2}$ (6) => $b_2' = \frac{F_2(d+x)}{d+x-F_2}$

Из (4),(5) и (6):

$$\frac{F_1}{d-x-F_1} = \frac{F_2}{d+x-F_2}.$$

Из (3)

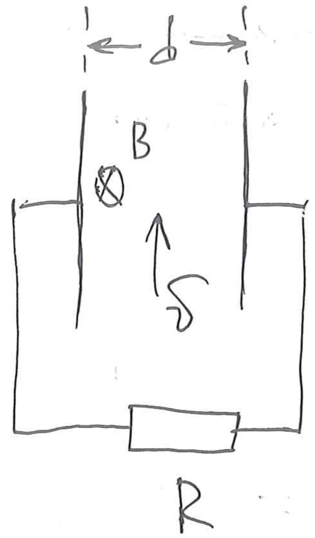
$F_1 = \frac{d}{2}$ => $\frac{d}{2(d-x-\frac{d}{2})} = \frac{F_2}{d+x-F_2} =$

=> $\frac{d}{-2x+d} = \frac{F_2}{d+x-F_2}$

Из (2): $F_2 = \frac{d\,b_2}{d+b_2}$; Из (1): $b_2 = \Gamma_2 d$ =>

45-05-34-50 (2.7)

№3.



$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{B\,dS}{dt} =$

$= -\frac{B\cdot d\cdot dl}{dt} =$ → расстояние между пластинами

$= -Bd\upsilon$ (т.к. $\frac{dl}{dt} = \upsilon$)

$P_m = \frac{(\mathcal{E}_i)^2}{R} = \frac{B^2 d^2 \upsilon^2}{R}$ =>

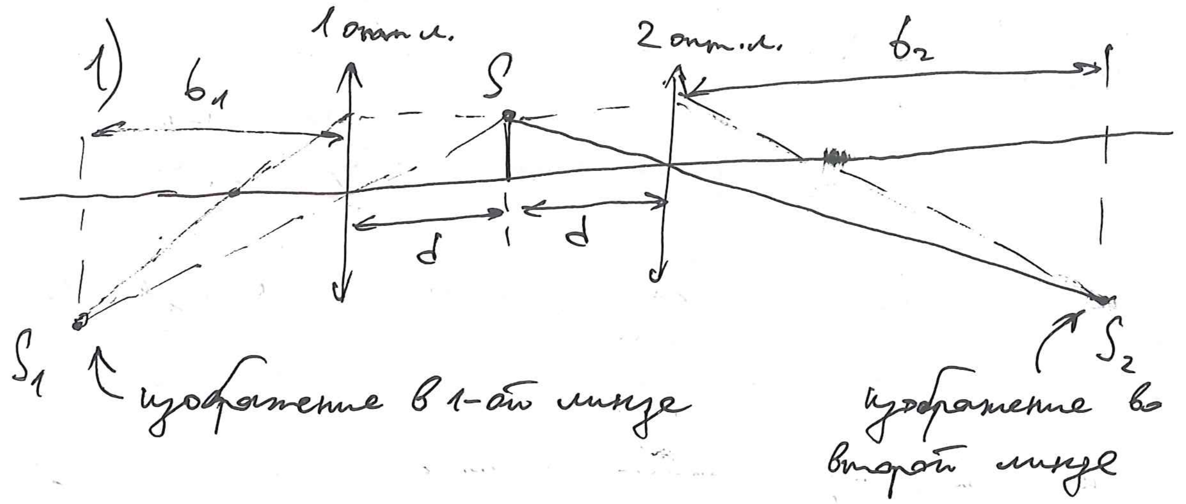
=> $B = \frac{\sqrt{P_m\cdot R}}{d\upsilon}$ => $B = \frac{\sqrt{1\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}4}}{0{,}4\cdot 0{,}1} =$

$= \sqrt{\frac{10^{-3}\cdot \cancel{0}\,4\cdot 10^{-1}}{4^2\cdot 10^{-2}\cdot 10^{-2}}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}$ Тл

12б

нет учёта r ист-ка

№4.



Сказано, что изображение действительное => => предмет находится за фокусом. Также сказано, что изображение 1 такое же, как предмет (без увеличения) => предмет находится на двойном фокусе первой линзы, =>

=> $2F_1 = d$

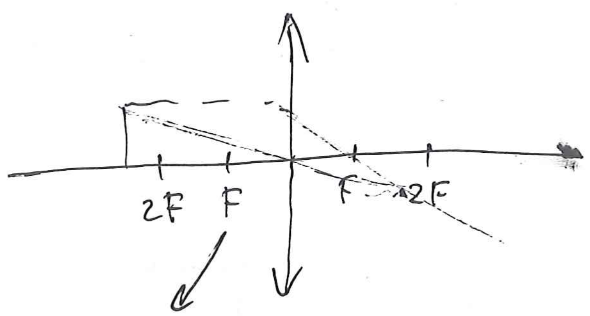
$$\Gamma_2 = \frac{b_2}{d} = 3 \text{ (по усл-ию)}; \text{ где}$$

b_1 – расстояние от 1-ой линзы до изображения в ней; b_2 – аналогично расстояние от 2-ой линзы до изображения в ней.

Пусть увеличения во втором случае Γ_1' и Γ_2', при этом $\Gamma_1' = \Gamma_2'$.

По формуле тонкой линзы для случая 1):

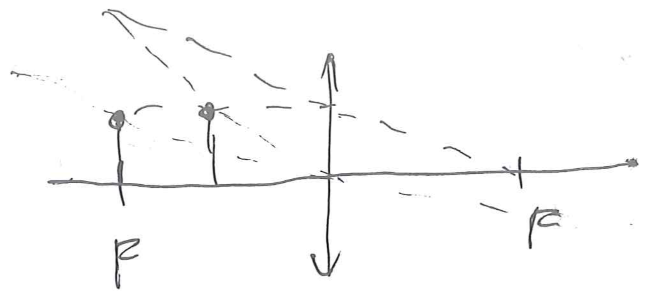
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_2}$$



Случай 2):

После 2F изображение уменьшенное => $F_2 < d < 2F_2$

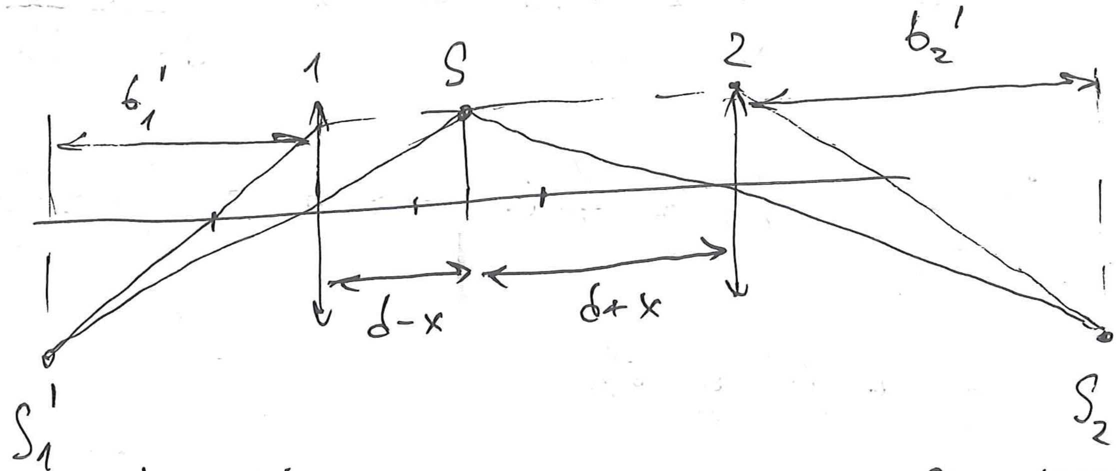
Если мы подвинем предмет к линзе 2, то изображение (в линзе 2) увеличится, либо станет мнимым; при этом изображение в линзе 1 уменьшится (за $2F_1$)



Если изображение становится мнимым, то оно увеличенное => увеличения в таком случае совпасть не могут =>

=> предмет подвинут в сторону первой линзы.

В таком случае:



b_1' и b_2' – новые расстояние от линз до их изображений соответственно.

$$\Gamma_1' = \frac{b_1'}{d-x}; \quad \Gamma_2' = \frac{b_2'}{d+x}; \quad \Gamma_1' = \Gamma_2' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{b_1'}{d-x} = \frac{b_2'}{d+x}$$

По формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d-x} + \frac{1}{b_1'} = \frac{1}{F_1}; \quad \frac{1}{d+x} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F_2}$$

Оценка изменена с "73" на "76"

Председателю апелляционной комиссии олимпиады школьников «Ломоносов» Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова академику В.А. Садовничему от участника заключительного этапа по профилю *«Физика» Леонида Андреевича Малышева*

апелляция.

Прошу пересмотреть мой индивидуальный предварительный результат заключительного этапа, а именно 73 балла, поскольку считаю, что по критериям в пятой задаче следовало бы поставить больше баллов. Я хотел бы в целом немного пересмотреть решение: мне кажется, что при отражении от зеркала должен происходить набег фазы. Если учитывать этот набег фазы, то колебания волн должны накладываться, тогда их разница по фазе равна пи, а не 2пи, что эквивалентно лямбда пополам. В таком случае условия на максимумы записаны верно. К сожалению, я не использовал малое приближение и не смог довести решение до ответа. Прошу пересмотреть моё альтернативное решение и поднять баллы до 14. Заранее благодарю.

Подтверждаю, что я ознакомлен с Положением об апелляциях на результаты олимпиады школьников «Ломоносов» и осознаю, что мой индивидуальный предварительный результат может быть изменён, в том числе в сторону уменьшения количества баллов.

Дата 07.03.2025 (подпись)