0 749052 510005

74-90-52-51
(1.5)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения: город Москва

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников „Ломоносов"

по физике

Чертовича Леонида Александровича

фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

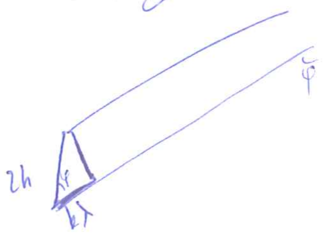
«14» февраля 2025 года

Подпись участника

Чертов

Черновик

$$\sqrt{L^2+(y+h)^2}-\sqrt{L^2-(y-h)^2}=4gh = \frac{3}{4}k\lambda$$



$$\frac{k\lambda}{2h}=\frac{y}{L}$$

$$y=\frac{Lk\lambda}{2h}\le H$$

$$k\le\frac{2Hh}{L\lambda}=\frac{2\cdot5\cdot10^{-2}\cdot10^{-3}}{1\cdot0{,}5\cdot10^{-6}\cdot1}=\frac{10}{0{,}05}=200$$

$$\begin{array}{r} 88\\ \times\,33\\ \hline 264\\ 264\\ \hline 29{,}04\end{array}$$

$$\frac{1/5}{1/5+1/5}=\frac{1}{2}$$

$$\frac{\frac{10}{50}}{\frac{10}{50}+\frac{\sqrt{2\cdot10\cdot0{,}2}}{10}}$$

$$mgh=\frac{mV^2}{2}\Rightarrow V=\sqrt{2gh}$$

$$0+mV=2mU\Rightarrow U=\frac{V}{2}=\sqrt{\frac{gh}{2}}$$

$$\frac{k\Delta x^2}{2}+\frac{2mU^2}{2}+\cancel{mg\Delta x}=\frac{kx^2}{2}+mg\Delta h$$

$$k\Delta x=mg\Rightarrow\Delta x=\frac{mg}{k}=\frac{g}{2\omega^2}$$

$$\frac{k\,m^2g^2}{2k^2}+m\frac{gh}{2}=\frac{kx^2}{2}+mg\Delta h$$

$$\frac{mg^2}{4\omega^2}+\frac{mgh}{2}=m\omega^2x^2+mg\Delta h=m\omega^2x^2+mg(x+\Delta x)$$

$$\frac{g^2}{4\omega^2}+\frac{gh}{2}=\omega^2x^2+gx+\frac{g^2}{2\omega^2}$$

$$x^2+\frac{g}{\omega^2}x+\left(\frac{g^2}{4\omega^4}-\frac{gh}{2\omega^2}\right)=0$$

$$x=\frac{-\frac{g}{\omega^2}\pm\sqrt{\frac{g^2}{\omega^4}-\frac{g^2}{\omega^4}+\frac{2gh}{\omega^2}}}{2}=\frac{-\frac{g}{\omega^2}\pm\frac{\sqrt{2gh}}{\omega}}{2}=\frac{\sqrt{2gh}}{2\omega}-\frac{g}{2\omega^2}$$

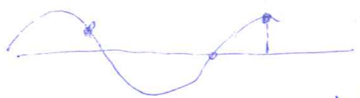
$$\Delta h=\Delta x+x=\frac{\sqrt{2gh}}{2\omega}$$

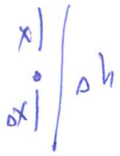
$$mg x+\frac{kx^2}{2}+\frac{m\dot{x}^2}{2}=const$$

$$mg\dot{x}+\frac{k}{2}\dot{x}\cdot2x+\frac{m}{2}2\dot{x}\cdot\ddot{x}=0$$

$$mg+kx+m\ddot{x}=0$$

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





$$\Delta x=(\Delta x+\Delta h)\sin(\varphi_0)$$

$$\sin\varphi_0=\frac{\Delta x}{\Delta x+\Delta h}=\frac{\frac{g}{2\omega^2}}{\frac{g}{2\omega^2}+\frac{\sqrt{2gh}}{2\omega}}$$

$$\tau=\frac{\frac{5\pi}{2}-\cancel{\pi}+\arcsin\varphi}{\omega}=\frac{\frac{3\pi}{2}+\arcsin\varphi}{\omega}$$

74-90-52-51
(1.5)

1	2	3	4	5	Σ
20	20	12	20	20	92
[illegible]	[illegible]	Соловьев	[illegible]	[illegible] О.В.	Девяносто два

Чистовик

Задача 2.2.1 20б

Рассмотрим процесс 1-2-3-1. В нём энергия подводится в процессах 1-2 и 2-3 (в 3-1 она отводится), а работа совершается в процессах 2-3 и 3-1 (процесс 1-2 изохорный).

Для соответствующих процессов верны формулы:

$$Q_{12}=A_{12}+\Delta U_{12}=0+\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)$$

$$Q_{23}=A_{23}+\Delta U_{23}=3p_0(5V_0-V_0)+\frac{3}{2}\nu R(T_3-T_2)=12p_0V_0+\frac{3}{2}\nu R(T_3-T_2)$$

$$Q_{31}=A_{31}+\Delta U_{31}=A_{31}+\frac{3}{2}\nu R(T_1-T_3)=A_{31}-\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)-\frac{3}{2}\nu R(T_3-T_2)$$

Также запишем ур-я состояния идеального газа:

$$\nu RT_1=p_1V_1=p_0V_0$$

$$\nu RT_2=p_2V_2=3p_0V_0$$

$$\nu RT_3=p_3V_3=15p_0V_0$$

Тогда: $\Delta U_{12}=\frac{3}{2}(\nu RT_2-\nu RT_1)=\frac{3}{2}(3p_0V_0-p_0V_0)=3p_0V_0$

$$\Delta U_{23}=\frac{3}{2}(\nu RT_3-\nu RT_2)=\frac{3}{2}(15p_0V_0-3p_0V_0)=18p_0V_0$$

$$\Delta U_{31}=\frac{3}{2}(\nu RT_1-\nu RT_3)=\frac{3}{2}(p_0V_0-15p_0V_0)=-21p_0V_0$$

Тогда: $Q_{12}=\Delta U_{12}=3p_0V_0$

$$Q_{23}=12p_0V_0+18p_0V_0=30p_0V_0$$

$$Q_{31}=A_{31}-21p_0V_0$$

Из графика следует, что $A_{31}=\frac{p_3+p_1}{2}(V_1-V_3)=\frac{3p_0+p_0}{2}(V_0-5V_0)=-8p_0V_0$

$$\eta_1=\frac{\Sigma A}{\Sigma Q_{подв}}=\frac{12p_0V_0-8p_0V_0}{3p_0V_0+30p_0V_0}=\frac{4}{33}$$

Рассмотрим процесс 1-3-4-1. В нём тепло подводится на участке 1-3, а работа совершается на участках 1-3 и 4-1.

$$Q_{13}=-Q_{31}=21p_0V_0-A_{31}=21p_0V_0+8p_0V_0=29p_0V_0$$

$$A_{13}=-A_{31}=8p_0V_0$$

Процесс 4-1 изобарный. Значит, $A_{41}=p_0(V_0-5V_0)=-4p_0V_0$

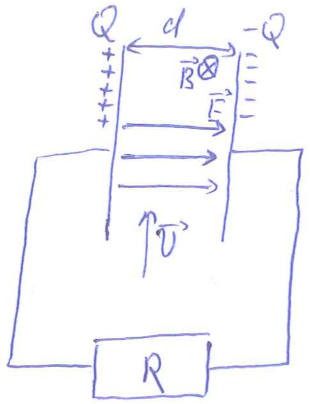
$$\eta_2=\frac{\Sigma A}{\Sigma Q_{подв}}=\frac{8p_0V_0-4p_0V_0}{29p_0V_0}=\frac{4}{29}$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2}=\frac{4}{33}:\frac{4}{29}=\frac{29}{33}\approx0{,}88$$

Ответ: $\frac{29}{33}\approx0{,}88$

Чистовик

Задача 3.3.1



В проводящей жидкости есть свободные заряды. Они движутся вместе с жидкостью в магнитном поле, а значит, на них действует сила Лоренца: $|F| = qUB$
Под её воздействием положительный заряд образуется на левой пластинке, а на правой – отрицательный.

Две пластины, как конденсатор, будут создавать между собой однородное электрич. поле напряжённостью $\vec{E}$. Данное поле также будет взаимодействовать со свободными зарядами в жидкости. Заметим, что заряд на пластинках перестанет увеличиваться, когда силы уравновесят друг друга, то есть $qE = qUB$.

$qE = qUB \Leftrightarrow E = UB$

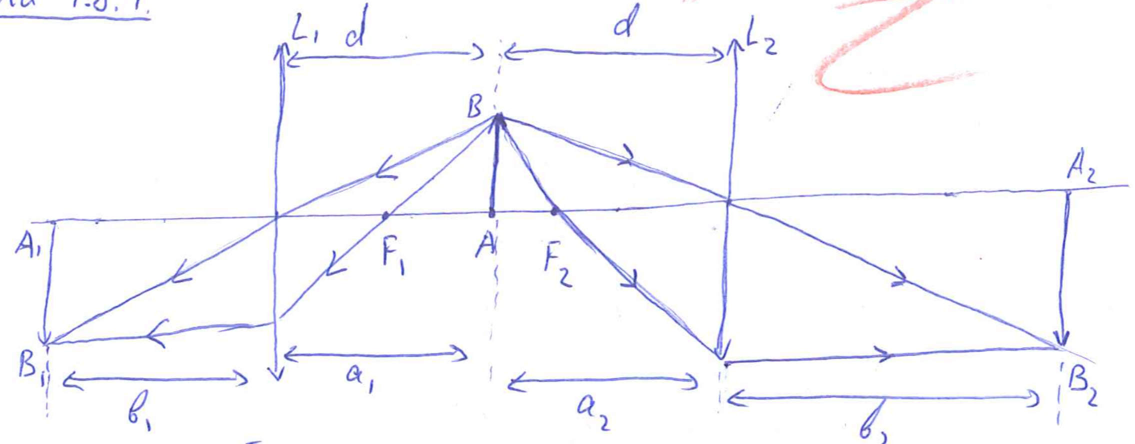
Так как поле однородно, разница потенциалов между пластинками U равна $E \cdot d$.

По закону Джоуля-Ленца: $P_m = \frac{U^2}{R} = \frac{E^2 d^2}{R} = \frac{U^2 B^2 d^2}{R}$

Тогда $d = \frac{\sqrt{P_m R}}{UB} = \frac{\sqrt{10^{-3}_{Вт} \cdot 0{,}4_{Ом}}}{0{,}1 м/с \cdot 1 Тл} = \frac{\sqrt{4 \cdot 10^{-4}}}{0{,}1} = \frac{2 \cdot 10^{-2}}{10^{-1}} = 0{,}2 (м) = 20 (см)$

Ответ: $d = \frac{\sqrt{P_m R}}{UB} = 0{,}2$ м. ? Не учтено внутр. сопротивление „r"

Задача 4.8.1



По формуле тонкой линзы:

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{a} + \frac{1}{\Gamma a} = \frac{1}{F} \Leftrightarrow \frac{\Gamma+1}{\Gamma a} = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{\Gamma}{\Gamma+1} a$

$\Gamma = \frac{b}{a} \Rightarrow b = \Gamma a$

$F = \frac{\Gamma}{\Gamma+1} a \Rightarrow F\Gamma + F = \Gamma a \Rightarrow \Gamma = \frac{F}{a-F} = \frac{1}{\frac{a}{F} - 1}$

Черновик

$mgh = \frac{mv^2}{2}$

$v = \sqrt{2gh}$

$mv = 2mu \Rightarrow u = \frac{v}{2}$

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

$mg = k\Delta x$

$2mg = 2k\Delta x$

$\cancel{\frac{2mu^2}{2} + \frac{k\Delta x^2}{2}}$

$2m\ddot{x} + kx = 0$

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

$x(t) = X_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

$\Delta X = X_{max} \sin(\varphi_0)$

$X_{max} = X_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

$\frac{2mu^2}{2} = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{k\Delta x^2}{2}$

$x_2^2 - \Delta x^2 = \frac{2mu^2}{k} = \frac{u^2}{\omega^2}$

$x_2 = \sqrt{\frac{u^2}{\omega^2} + \Delta x^2} = X_{max}$

	Q	A	ΔU
1–2	$3p_0V_0$	0	$3p_0V_0$
2–3	$30p_0V_0$	$12p_0V_0$	$18p_0V_0$
~~3–1~~	~~$-13p_0V_0$~~	~~$8p_0V_0$~~	~~$-21p_0V_0$~~
~~Σ~~	~~p_0V_0~~	~~$20p_0V_0$~~	~~0~~
3–1	$-29p_0V_0$	$-8p_0V_0$	$-21p_0V_0$
Σ	~~4~~	4	

$\frac{4}{33}$

$\frac{2900}{33}$: $2900 - 264 = 260$, $260 - 231 = 290$; $87{,}87$

$\frac{\frac{4}{33}}{\frac{4}{29}} = \frac{29}{33}$

	Q	A	ΔU
1–3	$29p_0V_0$	$8p_0V_0$	$21p_0V_0$
3–4	$-15p_0V_0$	0	$-15p_0V_0$
4–1		$-4p_0V_0$	
Σ		4	0

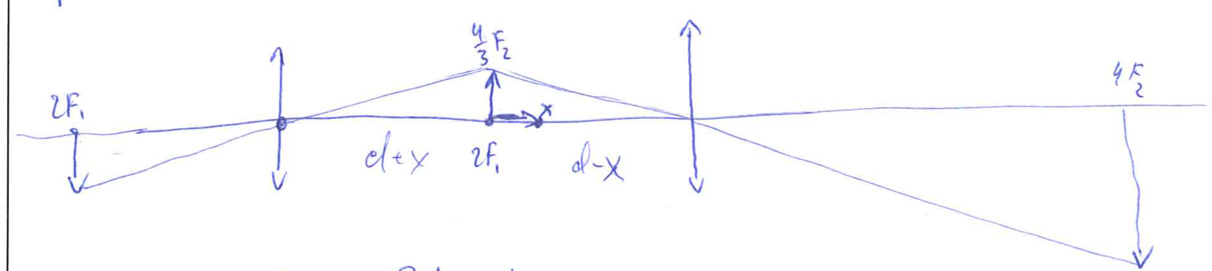
$\frac{4}{29}$

$P_m = \frac{U^3}{R} = \frac{E^2 d^3}{R} = \frac{v^2 B^2 d^3}{R}$

$d = \frac{\sqrt{P_m R}}{UB}$

$qE = qUB$

$\Gamma = \frac{b}{a} \Rightarrow b = \Gamma a$



$\frac{1}{a} + \frac{1}{\Gamma a} = \frac{1}{F_2} \Rightarrow \frac{\Gamma+1}{\Gamma a} = \frac{1}{F_2}$ $F_2 = \frac{\Gamma}{\Gamma+1} a$

$a = \frac{\Gamma+1}{\Gamma} F$

$dF_2 + xF_2 = dF_1 - xF_1$

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

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

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Чистовик

Изображение первой линзы без увеличения, то есть $\Gamma_1 = 1$

$F_1 = \frac{\Gamma_1}{\Gamma_1+1} a_1 = \frac{1}{2} a_1 = \frac{1}{2} d$

$\Gamma_2 = \Gamma = 3$, то есть $F_2 = \frac{\Gamma}{\Gamma+1} d = \frac{3}{4} d$

Сдвинем стержень на x влево (в сторону первой линзы).

Тогда $a_1' = a_1 - x = d - x$; $a_2' = a_2 + x = d + x$

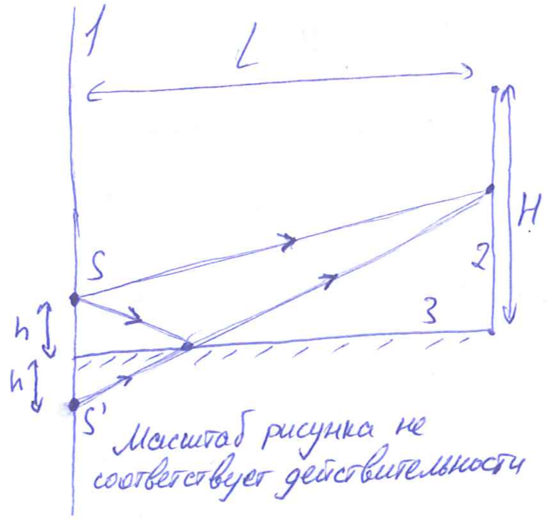
По выведенной ранее формуле: $\Gamma_1' = \Gamma_2' \Leftrightarrow \frac{1}{\frac{a_1'}{F_1} - 1} = \frac{1}{\frac{a_2'}{F_2} - 1} \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow \frac{a_1'}{F_1} = \frac{a_2'}{F_2} \Leftrightarrow \frac{d-x}{F_1} = \frac{d+x}{F_2} \Rightarrow (d-x)F_2 = (d+x)F_1 \Leftrightarrow dF_2 - xF_2 = dF_1 + xF_1 \Rightarrow$

$\Rightarrow x = \frac{dF_2 - dF_1}{F_1 + F_2} = d\,\frac{F_2 - F_1}{F_1 + F_2} = d\,\frac{\frac{\Gamma}{\Gamma+1} d - \frac{1}{2} d}{\frac{1}{2} d + \frac{\Gamma}{\Gamma+1} d} = d\,\frac{\left(\frac{\Gamma}{\Gamma+1} - \frac{1}{2}\right)}{\left(\frac{\Gamma}{\Gamma+1} + \frac{1}{2}\right)} = d\,\frac{\frac{3}{4} - \frac{1}{2}}{\frac{3}{4} + \frac{1}{2}} =$

$= \frac{\frac{1}{4} d}{\left(\frac{5}{4}\right)} = \frac{1}{5} d = \frac{1}{5} \cdot 25\,см = 5\,см$

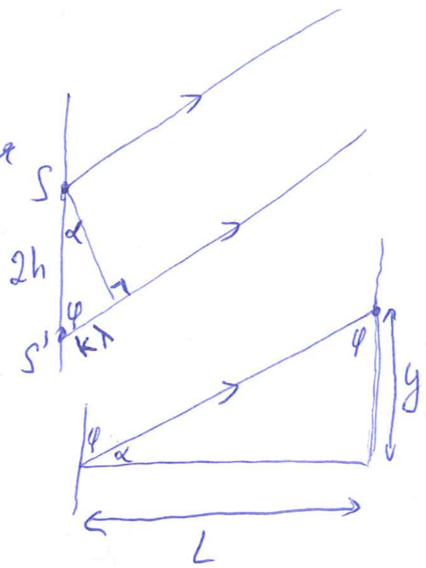
Ответ: 5 см.



Задача 5.8.1

Заметим, что ~~все~~ лучи отражённые от зеркала 3 эквивалентны лучам, исходящим из мнимого источника S'. Он располагается симметрично ему на расстоянии h от зеркала.

Заметим, что $2h \ll L$. А значит, лучи от двух источников практически параллельны. Будем считать их таковыми.



Пусть на расстоянии y от зеркала образовался интерференционный максимум. Лучи туда идут под углом α к зеркалу и $\varphi = 90° - \alpha$ к вертикали.

Тогда разность хода лучей от двух источников будет равна $2h\cos\varphi = 2h \sin\alpha = k\lambda$, где $k \in \mathbb{Z}$

С другой стороны, $\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{y}{L}$

$y \le H \ll L \Rightarrow \alpha \approx \sin\alpha \approx \mathrm{tg}\,\alpha \Rightarrow \frac{k\lambda}{2h} \approx \alpha \approx \frac{y}{L}$

$y = \frac{k\lambda L}{2h} \le H \Rightarrow k \le \frac{2hH}{\lambda L}$

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

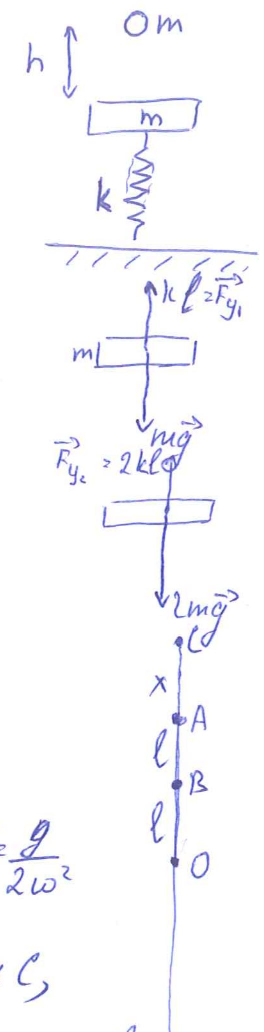
Чистовик

Заметим, что каждый интерференционный максимум задаётся соответствующим k. Значит, $N = k_{max} = \left[\frac{2hH}{\lambda L}\right]$

$$N = \left[\frac{2hH}{\lambda L}\right] = \left[\frac{2\cdot(10^{-3}м)\cdot(5\cdot10^{-2}м)}{(0,5\cdot10^{-6}м)\cdot 1м}\right] = \left[\frac{10\cdot10^{-5}}{0,5\cdot10^{-6}}\right] = 200$$

Ответ: 200 полос.

Задача 1.1.1.



Найдём вертик. скорость мячика перед столкновением с бруском. Из ЗСЭ следует, что $mgh = m\frac{v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$ +

По ЗСИ для системы шарик-брусок следует, что $2mU = mv + 0 \Rightarrow U = \frac{v}{2}$, где U – их скорость после соударения.

$U = \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ +

До соударения брусок был неподвижен, то есть $F_{y_1} = mg$ или $mg = kl$, где l – сжатие пружины относ. её полной длины (|AB|)

После соударения положение равновесия изменилось

$F_{y_2} = 2mg \Rightarrow F_{y_2} = 2kl \Rightarrow |OA| = 2l$

Для гармонических колебаний пружины верна формула: $\omega = \sqrt{\frac{k_{общ}}{m_{общ}}} = \sqrt{\frac{k}{2m}} \Rightarrow k = 2m\omega^2 \Rightarrow l = \frac{g}{2\omega^2}$

Запишем ЗСЭ для системы для положений B и C, где C – точка с макс. высотой, $x = |AC|$

$\frac{2mU^2}{2} + \frac{kl^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + mg(x+l)$, т.к. скорость в верхней точке нулевая

$m\cdot\frac{gh}{2} + 2m\omega^2\cdot\frac{g^2}{4\omega^4}\cdot\frac{1}{2} = m\omega^2x^2 + mgx + \frac{mg^2}{2\omega^2} \quad \Big| : m\omega^2$

$\frac{gh}{2\omega^2} + \frac{g^2}{4\omega^4} = x^2 + \frac{g}{\omega^2}x + \frac{g^2}{2\omega^4}$

$x^2 + \frac{g}{\omega^2}x + \left(\frac{g^2}{4\omega^4} - \frac{gh}{2\omega^2}\right) = 0$ +

$$x = \frac{-\frac{g}{\omega^2} \pm \sqrt{\frac{g^2}{\omega^4} - \left(\frac{g^2}{\omega^4} - \frac{2gh}{\omega^2}\right)}}{2} = -\frac{g}{2\omega^2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2gh}{\omega^2}}$$ +

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

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

Чистовик

Данные 2 решения являются верхним и нижним максимумами.
Мы ищем верхний => нужен знак "+"

$$x = \frac{\sqrt{2gh}}{2\omega} - \frac{g}{2\omega^2}$$

Заметим, что $|OC| = x + 2l$ – амплитуда гармонических колебаний

$$A = x + 2l = \frac{\sqrt{2gh}}{2\omega} - \frac{g}{2\omega^2} + \frac{g}{\omega^2} = \frac{\sqrt{2gh}}{2\omega} + \frac{g}{2\omega^2}$$

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

Для $t=0$: $l = A\sin\varphi_0 \Rightarrow \cancel{\varphi_0 = \arcsin\left(\frac{l}{A}\right)}$ $\sin\varphi_0 = \frac{l}{A}$

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

Для $t=0$: $-u = \omega A\cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 < 0 \Rightarrow \varphi_0 = \pi - \arcsin\left(\frac{l}{A}\right)$

Максимальная высота будет при $\sin(\omega\tau + \varphi_0) = 1 \Rightarrow \omega\tau + \varphi_0 = \frac{\pi}{2} + 2\pi k$

$\varphi_0 > \frac{\pi}{2} \Rightarrow$ следующий момент будет при $k = 1 \Rightarrow \tau = \frac{\frac{5}{2}\pi - \varphi_0}{\omega} = \frac{\frac{3}{2}\pi + \arcsin\frac{l}{A}}{\omega}$

$$\tau = \frac{\frac{3}{2}\pi + \arcsin\left(\frac{\frac{g}{2\omega^2}}{\frac{g}{2\omega^2} + \frac{\sqrt{2gh}}{2\omega}}\right)}{\omega} = \frac{\frac{3}{2}\pi + \arcsin\left(\frac{\frac{10\,м/с^2}{2\cdot 5^2 с^{-2}}}{\frac{10\,м/с^2}{2\cdot 5^2 с^{-2}} + \frac{\sqrt{2\cdot 10\,м/с^2\cdot 0{,}2\,м}}{2\cdot 5\,с^{-1}}}\right)}{5\,с^{-1}} =$$

$$= \frac{\frac{3}{2}\pi + \arcsin\left(\frac{\frac{10}{50}}{\frac{10}{50} + \frac{2}{10}}\right)}{5} = \frac{\frac{3}{2}\pi + \arcsin\frac{1}{2}}{5} = \frac{\frac{3}{2}\pi + \frac{\pi}{6}}{5} = \frac{2}{6}\pi = \frac{\pi}{3}\,(с)$$

~~$\tau \approx 1{,}03\,с$~~ $\tau \approx \frac{3{,}14}{3}\,с \approx 1\,с$

Ответ: ~~$\frac{\pi}{3} \approx 1{,}03\,с$.~~ $\frac{\pi}{3} \approx 1\,с$.

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