0 663884 460003

66-38-84-46
(113.5)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 4

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Покори воробьевы горы
наменование олимпиады

по Физике
профиль олимпиады

Седоин Надежды Давидовны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

сдала в 16.10

дешифр

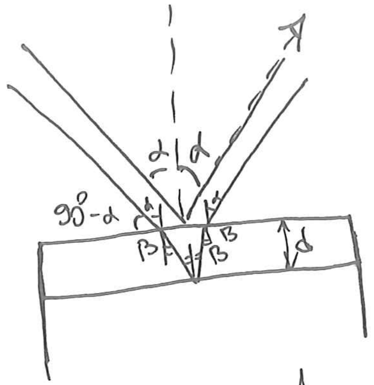
Дата

«4» апреля 2025 года

Подпись участника

$T = \frac{1}{\nu} =$

(Черновик)

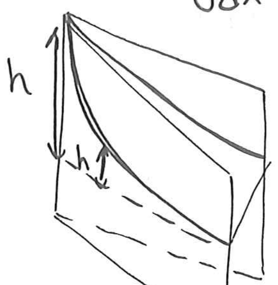


$\Delta = c\tau = \cancel{l}\cdot\frac{2dn}{\cos\beta} = \frac{2dn}{\cos\beta} = n\lambda$

$d = l\cos\beta$

$\sin\alpha = n\sin\beta$

6dx



$\cancel{mg\,dx}$

$\rho g \cancel{dx}\, h x\alpha = 2\cancel{\sigma dx}$ σ

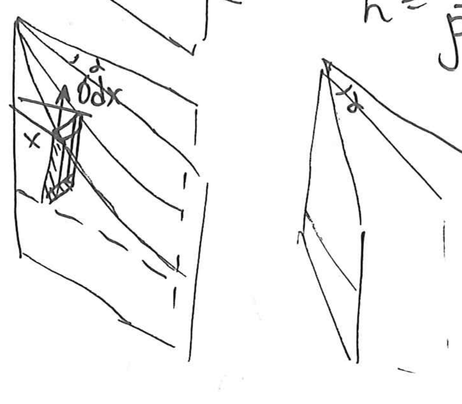
$h = \frac{2\sigma}{\rho g x\alpha}$

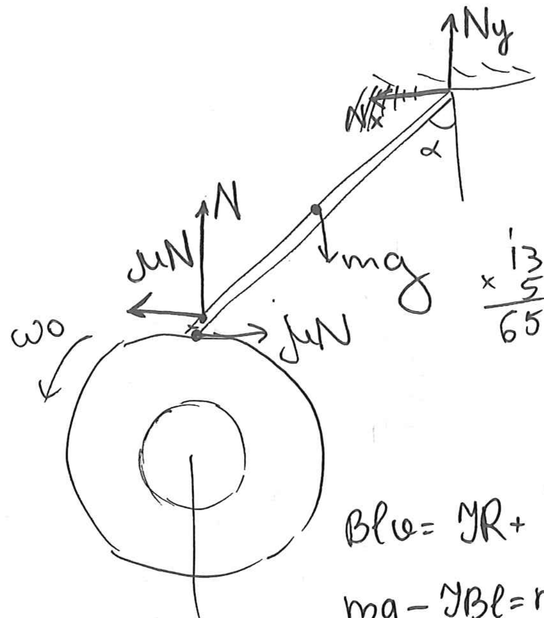
2

$h = x$

$2\alpha x$

$\rho g h$





$\times\begin{array}{r}13\\5\\\hline 65\end{array}$

$Blv = IR + \frac{It}{c}$

$mg - IBl = m\frac{v}{t}$

$\frac{IBl}{m} = \cancel{\frac{mg}{2}}\cdot\cancel{\frac{B}{B}} = \frac{g}{2}$

$\frac{g}{2} = \frac{v}{t} \Rightarrow v = \frac{gt}{2}$

$Bl\frac{gt}{2} = \tau\cancel{\ldots}\cdot\frac{\beta}{\cancel{B}} + \tau\frac{\cancel{d}}{\cancel{B}}\frac{t}{c}$

$Bt = \tau\frac{\beta}{B} + \frac{\tau d t}{BC}$

66-38-84-46
(113.5)

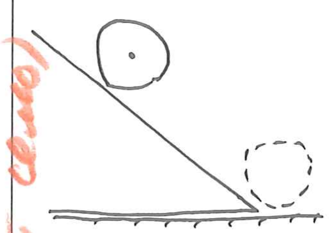
Чистовик

№ 1

Вопрос

двим. без проск.

(H)(g) $v_{оси} = ?$



Движение без проск. ⇒ сила трения покоя ⇒ $A_{тр} = 0$. Можем писать ЗСЭ:

ноль потенциальной эн-и берём в конце скатывания.

$mgH = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$ (*)

Для однородного цилиндра: $J = \int m_i r_i^2 = \int_0^R H\rho 2\pi r\,dr\,r^2 = 2\pi\rho H\int_0^R r^3 dr = \frac{R^4}{4}\cdot 2\pi\rho H$, где $\pi R^2 H\rho = m \Rightarrow$

$\Rightarrow J = \frac{\pi R^2 H\rho\cdot R^2}{2} = \frac{mR^2}{2}$. ✓

Скорость ниж. точки цилиндра $= 0 \Rightarrow v_c = \omega R$

$\frac{J\omega^2}{2} = \frac{1}{2}\cdot\frac{mR^2\omega^2}{2} = \frac{m}{4}(\omega R)^2 = \frac{mv_c^2}{4} \Rightarrow$ Перепишем (*):

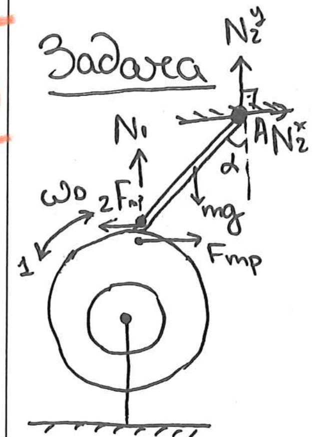
$mgH = m\left(\frac{v_c^2}{4} + \frac{v_c^2}{2}\right) = m\left(\frac{v_c^2 + 2v_c^2}{4}\right) = \frac{3mv_c^2}{4} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{4gH}{3} = v_c^2 \Rightarrow \boxed{v_c = 2\sqrt{\frac{gH}{3}}}$ ✓

1	2	3	4
5	5	5	5
20	20	16	11

67 (Грибов А.А.) (Чуканов А.В.) (Всеволожский)

Задача



Стержень опирается в верхней точке ⇒ N_1 напр-на вертикально (сила на стержень). Расставим силы на стержень и напишем условие равновесия.

N_2 – сила со ст. шарнира

(Продолж. на обороте)

!

Есть проскальзывание ⇒ $F_{тр} = \mu N_1$

$$\begin{cases}\mu N_1 = N_2^x\\ N_1 + N_2^y = mg\\ mg\frac{l}{2}\sin\alpha = N_1 l\sin\alpha + \mu N_1 l\cos\alpha\end{cases}$$

← ур-е моментов отн-но оси A (см. рис)

Пусть l – длина стержня

№1 (продолжение) (Чистовик)

$mg\frac{l}{2}\sin\alpha = N_1(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)l \Rightarrow \frac{1}{2}mg\sin\alpha = N_1(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)$ (1)

Ур-е вращательного движения для диска на оси O (центр диска)

$J\frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{M}_{out} \Rightarrow J\frac{d\omega}{dt} = -\mu N_1 R$

$J = \sum m_i r_i^2 = \int_r^R \sigma\cdot 2\pi r dr\cdot r^2 = 2\pi\sigma\int_r^R r^3 dr = \frac{2\pi\sigma}{4}(R^4-r^4)$

$M = \sigma\pi(R^2-r^2) \Rightarrow \frac{\pi\sigma}{2}(R^2+r^2)(R^2-r^2) = \frac{M}{2}(R^2+r^2) = J$

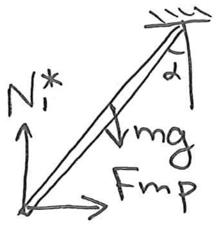
Закон изменения кинетической эн-и для колеса:

$A_{тр} = \Delta E_к \Rightarrow \frac{J\omega_0^2}{2} = -A_{тр} = \mu N_1\cdot n_1\cdot 2\pi R = \frac{M(R^2+r^2)}{2}\frac{\omega_0^2}{2}$

Подставим N_1 из (1): $\frac{\mu mg\sin\alpha\cdot n_1\cdot 2\pi R}{2(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)} = \frac{M\omega_0^2}{2\cdot 2}(R^2+r^2)$ (2)

Теперь Х случай кручения в обратную сторону. Ясно, что $F_{тр}$ сменит напр-е.

Х Стержень:



ур-ем моментов:

$mg\frac{l}{2}\sin\alpha + \mu N_1^* l\cos\alpha = N_1^* l\sin\alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{1}{2}mg\sin\alpha = N_1^*(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)$ (3)

Аналогично з-н изменения кин. энергии:

$\frac{M\omega_0^2}{2\cdot 2}(R^2+r^2) = \mu N_1^* n_2\cdot 2\pi R \leftarrow$ подставим N_1^* из (3):

$\frac{M\omega_0^2}{2\cdot 2}(R^2+r^2) = \frac{\mu mg\sin\alpha\, n_2\cdot 2\pi R}{2(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)}$ (4)

Из соотношения (2) подставляем в (4)

Продолж. →

(Черновик)

$10000 : 661 = 15,14$

$1000 : 661$

$661 \times 5 = 3305$

$661 \times 661 = 436921$

4369

4374

$\frac{1000}{\sqrt{4374}}\cdot 10^{-11}$

$\sqrt{\frac{1000000}{4374}} \approx \frac{1000}{66}$

$20000 : 3 = 6666,66$

$\sqrt{\frac{2000000}{3\cdot 81\cdot 36}}$

$60\times 60 = 3600$

$243 \times 36 = 8748$

$70\times 70 = 4900$

$67 \times 67 = 4489$

$\sqrt{\frac{200}{3}}\cdot\frac{1}{10} = \sqrt{\frac{20000}{3}}\cdot\frac{1}{1000} =$

$\sqrt{\frac{2000000}{8748}}$

$\frac{1000000}{4374}$

$\sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{10^8}{54} = \sqrt{\frac{20000}{3}}\cdot\frac{10^{-1}}{54}$

661×661

$66\times 66 = 4356$

(Черновик)

66-38-84-46
(113.5)

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

(Чистовик)

$$\frac{M\omega_0^2(R^2+r^2)}{2\cdot\mu mg\sin\alpha\cdot 2\pi R}=\frac{n_2}{\sin\alpha-\mu\cos\alpha}=\frac{n_1}{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}\ (5)\Rightarrow$$

$$\Rightarrow n_2=n_1\frac{\sin\alpha-\mu\cos\alpha}{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}=n_1\frac{\frac{\sqrt2}{2}(1-\mu)}{\frac{\sqrt2}{2}(1+\mu)}=n_1\frac{1-\mu}{1+\mu}=n_1\frac{0{,}7}{1{,}3}=\frac{7}{13}\cdot 65$$

$$=35$$

Ответ: $n_2=n_1\dfrac{\sin\alpha-\mu\cos\alpha}{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}=35$ ✓

№3

Вопрос

$\frac{dB}{dt}=\beta$

выбрали $\vec n\downarrow\uparrow\vec B$

Переменное магнитное поле создаёт вихревое электрическое.

$|\mathcal{E}^\alpha_{ind}|=E_{вихр}\cdot\alpha R$

$U^V=\mathcal{E}^\alpha_{ind}-I_{ind}\cdot R^\alpha=E_{вихр}\cdot\alpha R-I_{ind}R^\alpha=?$

$E_{вихр}\cdot 2\pi R=-\frac{dB}{dt}(\vec B;\vec n)=S\beta$

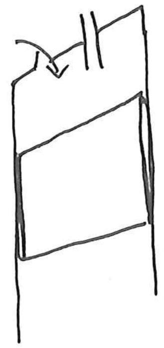
Если рассм. участок кольца ясно, что $\mathcal{E}^\alpha_{ind}=\frac{S\beta\alpha}{2\pi}=IR^\alpha$ из (только если кольцо однородно) определения тока на линейном эл-те (т.е. резисторе) $\Rightarrow\boxed{U_V=0}$ Верно

Задача

l d ρ τ B

$I=\frac{\tau l d}{2B}g=\text{const}$

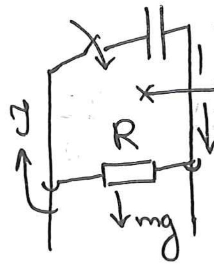
$C=?$
как движется заслонка?



$\downarrow g$ $m=dl^2\tau$ (1)

$R=\frac{\rho l}{dl}=\rho/d$ (2)

Эквивалентная схема:

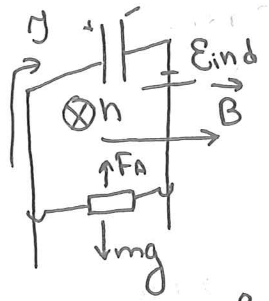


$\vec B$ $\vec F_A=I[d\vec l\times\vec B]$

(Продолж. на обороте →)

№3 (Продолжение) (Чистовик)

$|\mathcal{E}_{ind}| = \left|-\frac{d\Phi}{dt}\right| = \left|-B\frac{dS_{замет}}{dt}\right| = Blv$ (ток потечёт так, чтобы препятств. $\Delta\Phi$) +



$\mathcal{E}_{ind} = IR + U_C$ (3) +

II зн для заслонки:

$mg - IBl = m\frac{dv}{dt}$ (4) +

$U_C = \frac{q}{C} = \frac{\int I dt}{C} = \frac{It}{C}$ (т.к. $I=const$) Где - важно.

Подставим в (3): $Blv = I(R+\frac{t}{C})$ (5)

$v_0=0,\ I=const \overset{(4)}{\Rightarrow} mg - IBl = m\frac{v}{t}$ (6)

~~...~~ из (6): $t = \frac{mv}{mg-IBl} \overset{(5)}{\Rightarrow} Blv = I\left(R + \frac{mv}{C(mg-IBl)}\right)$

из (6): $\boxed{v = \left(g - \frac{IBl}{m}\right)t}$ ← закон движение заслонки

Подставим $I = \frac{\tau l d g}{2B}$ и $m = \tau d l^2 \Rightarrow \boxed{v = \frac{gt}{2}}$ +

в 5: $Blt\left(g - \frac{IBl}{m}\right) = I\left(R+\frac{t}{C}\right)$

$Blt\left(g - \cancel{\frac{\tau l d g}{2B}}\cdot\cancel{\frac{Bl}{\tau d l^2}}\right) = \frac{\tau l d g}{2B}\left(R+\frac{t}{C}\right)$

$B\cancel{l}\frac{gt}{\cancel{2}} = \frac{\tau \cancel{l} d g}{\cancel{2}B}\left(R+\frac{t}{C}\right) \Rightarrow B^2 t = \tau d\left(R+\frac{t}{C}\right)$

$B^2t = \tau d\frac{\rho}{d} + \tau d\frac{t}{C} \Rightarrow B^2t = \tau\rho + \tau d\frac{t}{C} \Rightarrow B^2t - \tau\rho = \tau d\frac{t}{C} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{\frac{\tau d t}{B^2 t - \tau\rho} = C} \neq const$ (ошибка т.к. $\rho \neq 0$.)

Ответ: $C = \frac{\tau d t}{B^2t - \tau\rho}$

$v = \left(g - \frac{IBl}{m}\right)t = \frac{gt}{2}$

Черновик

$v = \frac{\cancel{...}\cdot 10^{-9}\cdot\cancel{...}4}{9\cdot\cancel{...}3} = \frac{4}{27}\cdot 10^{-9}$

$4000 : 27 = 0{,}148$; -27, 130, -108, 220, -216, 4

$27 \times 4 = 108$

$27 \times 8 = 216$

$16 + 5 = 21$

$vBl = IR + U_C$

№4 (Продолжение) (Чистовик)

$\lambda = \frac{2n}{\cos\beta}\Delta h$, где $\Delta h = \frac{dh}{dt}\cdot T = vT \Rightarrow$

$\Rightarrow \lambda = \frac{2nvT}{\cos\beta}$, где $\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta}$,

$\sin\beta = \sin\alpha/n \Rightarrow v = \boxed{\frac{dh}{dt} = \frac{\lambda}{2nT}\sqrt{1-\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right)^2}}$

нм.

$\frac{dh}{dt} = \frac{500\cdot10^{-9}}{2\cdot1{,}5\cdot15\cdot60}\cdot\sqrt{1-\left(\frac{\sqrt3}{2\cdot1{,}5}\right)^2} = \frac{500\cdot10^{-9}}{3\cdot15\cdot60}\cdot\sqrt{1-\frac{3}{9}} =$

~~$= \sqrt{\frac{2}{3}}\cdot\frac{500\cdot10^{-9}}{9\cdot60} = \frac{10^{-8}}{54}\sqrt{\frac{2}{3}} \approx 10^{-11}\cdot\frac{1000}{\sqrt{43\cdot4}}$~~

~~$\approx 10^{-11}\cdot\frac{1000}{66{,}1} \approx 151{,}4\cdot10^{-14}$ м/с $\approx 151{,}4\cdot10^{-2}$ нм/с~~

~~$\approx 1{,}5$ нм/с~~

~~Ответ: $\frac{dh}{dt} = \frac{\lambda}{2nT}\sqrt{1-\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right)^2} \approx 1{,}5$ нм/с~~

~~$\frac{500\cdot10^{-9}}{3\cdot15\cdot60}\sqrt{\frac{2}{3}} = \frac{500\cdot10^{-9}}{9\cdot5\cdot60}\cdot\sqrt{0{,}667} \approx \frac{500\cdot10^{-9}}{9\cdot5\cdot60}\sqrt{0{,}64} =$~~

~~$= \frac{500\cdot10^{-9}}{9\cdot5\cdot60}\cdot\frac{8}{10} = \frac{10^{-9}\cdot8}{9\cdot6} = \frac{4}{27}\cdot10^{-9}$~~

$\approx 10^{-11}\cdot\frac{1000}{\sqrt{4374}} \approx 151{,}4\cdot10^{-12}$ м/с $= 151{,}4\cdot10^{-3}$ нм/с $\approx$

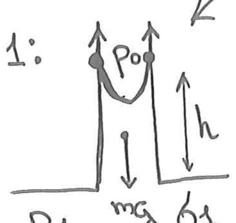
$\approx 0{,}15$ нм/с

Ответ: $\frac{dh}{dt} = \frac{\lambda}{2nT}\sqrt{1-\left(\frac{\sin\alpha}{n}\right)^2} \approx 0{,}15$ нм/с

№2 (Чистовик)

Вопрос

1:

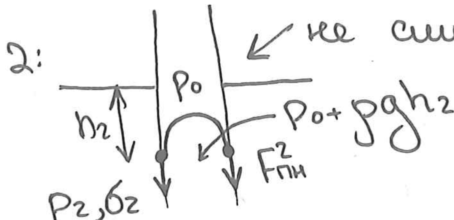


смачивается

Пусть радиус капилляра r. Тогда если жидкость хорошо смачивает, то $F^1_{пн} = 2\pi r\sigma_1 = mg = \rho\pi r^2 hg \Rightarrow$

$\Rightarrow 2\sigma_1 = \rho_1 rhg$ (1) $\Rightarrow \frac{2}{rg} = \frac{\rho_1 h_1}{\sigma_1}$

2:



не смачивается

Также условие равновесия жидкости в капилляре:

$F^2_{пн} = \Delta p S \Rightarrow \pi r^2\rho_2 g h_2 = 2\pi r\sigma_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 2\sigma_2 = r\rho_2 g h_2$ (2) $\overset{(1)}{\Rightarrow} h_2 = \frac{\rho_1 h_1}{\sigma_1}\cdot\frac{\sigma_2}{\rho_2} = h_1\cdot\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\cdot\frac{\rho_1}{\rho_2}$ (3)

т.к. по усл. $\sigma_2 = 4\sigma_1$, $\rho_2 = 8\rho_1 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ (3*): $h_2 = h_1\cdot\frac{4}{8} = \frac{1}{2}h_1$ (ниже уровня жидкости)

Ответ: $h_2 = \frac{1}{2}h_1$ (ниже уровня жидкости)

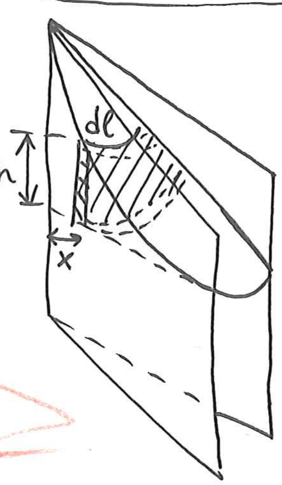
$h_2 = 2$ мм (ниже уровня)

Задача

ρ, σ

$h(x) = ?$

$x \gg \sqrt{\frac{2\sigma}{\alpha\rho g}}$



Х сегмент жидкости на расст-и x толщиной dx.

$m = dl\,h\,dx\,\rho$, где $dl = x\alpha$

т.к. по усл-ю сечение - дуга окр-ти, то $dl = x\alpha$

Запишем условие равновесия для этого кусочка жидкости. Его удерживают силы поверхностного натяжения. По усл-ю можем считать смачивание полным $\Rightarrow$

$2\sigma dx = m_i g \Rightarrow 2\sigma\cancel{dx} = g\cdot x\alpha h\cancel{dx}\rho \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{h = \frac{2\sigma}{\rho g x\alpha}}$ Ответ: $h = 2\sigma/\rho g x\alpha$

(Черновик) (далее ~~[illegible]~~ будут и чистовики !)

Проверка:

1) а) $\frac{mR^2}{2\cdot2}\cdot\omega^2 = \frac{mv^2}{4}+\frac{mv^2}{2} = mgH = \frac{3mv^2}{4} \Rightarrow v = 2\sqrt{\frac{gH}{3}}$

б) $mg = 2(1+\mu)N_1$, $mg = 2(1-\mu)N_2 \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{1-\mu}{1+\mu}$

$W_0 = N_1 n_1 = N_2 n_2 \Rightarrow n_2 = n_1\frac{N_1}{N_2} = 65\frac{0,7}{1,3} = 5\cdot7 = 35$

2) а) $h = \frac{\sigma}{\rho} \Rightarrow h_1 \leftrightarrow \frac{\sigma_1}{\rho_1}$ $h_2 \leftrightarrow \frac{4\sigma_1}{8\rho_1} \Leftrightarrow \frac{1}{2}h_1 = 2$ мм ↓

б) $2\sigma dx = \rho g dx h x \alpha \Rightarrow \boxed{h = \frac{2\sigma}{\rho g x \alpha}}$

3) а) v $10^{-8} = \frac{36\cdot10}{8}x$ $1\cdot10^{-9} = \frac{9\cdot6}{0,8}x$

б) $10^{-9} = \frac{9}{2}x$ $10^{-8} = \frac{36}{0,8}x$

$x \approx \frac{2}{9}\cdot10^{-9}$ $x = \frac{\sqrt{3}}{3} = \sin^2\beta = \frac{1}{3} \Rightarrow$

0,22 $\cos\beta = 1 -$ $\approx 0,66 \approx 0,8^2$

4) а) v

б)

$\lambda = \frac{2dn}{\cos\beta} = \frac{2vTn}{\cos\beta} \Rightarrow [illegible]\cdot10^{-9} = \frac{9v\cdot[illegible]}{[illegible]\ 8}$

$v = \frac{84}{39}\cdot10^{-9}$

$\frac{4}{27} \approx 0,15$

Чистовик →

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

№4 (Чистовик)

Вопрос

Минимум интерференционной картины, наблюдаемой на экране от двух когерентных источников наблюдается в случае разности фаз $\Delta\varphi = \pi+\pi k\cdot2, k\in Z$. Или же из разности хода (то же самое) от волн $\Delta = \frac{2k+1}{2}\lambda$, где λ - длина волны. $k \in Z$

$\Delta\varphi = \pi + 2\pi n$

Задача

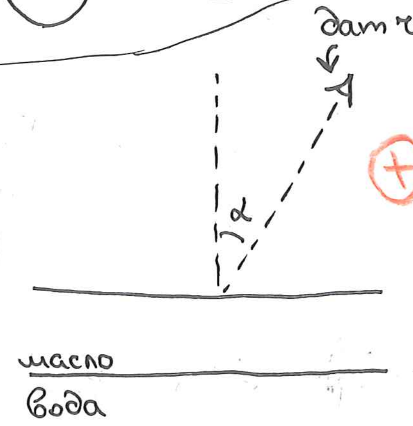
$T = 15\cdot60$ с

$\lambda = 500\cdot10^{-9}$ м

$n = 1,5$

$\alpha = 60^\circ$

$\frac{dh}{dt} = ?$

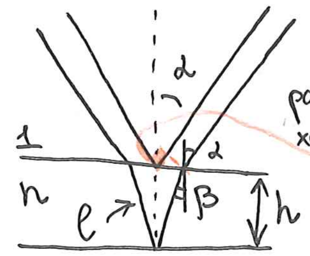


(+) найдём разность хода м/у лучами №1 (отразился от пов-ти масла сразу) и №2 (отразился на границе с водой)

Закон Снеллиуса: $n\sin\varphi = const \Rightarrow$

$\Rightarrow \sin\alpha = n\sin\beta$ (1)

$l\cos\beta = h$ (2) (из геометрии)



разность хода $\Delta = c\tau = c\cdot\frac{2l}{v} = \frac{2l}{c/n}\cdot c = 2ln = \frac{2nh}{\cos\beta}$

Не всё (не учтён вклад отраженной волны) (−)

Период T - это время м/у ~~[illegible]~~ последовательными отличиями Δ на λ, т.е. м/у фазами произойдёт сдвиг 2π. Верно.

Тогда $|\Delta_1 - \Delta_2| = \lambda = \frac{2n}{\cos\beta}|(h_1-h_2)|$

(Продолжение на обороте)

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