96-31-97-43
(113.3)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 4

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Покори Воробьёвы горы!
наменование олимпиады

по физика
профиль олимпиады

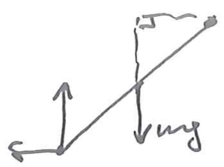
Пирогова Глеба Константиновича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

15:55, Сдал, Руденко

Дата
«4» апреля 2025 года

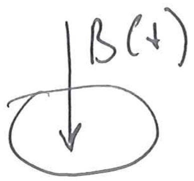
Подпись участника

Черновик



$$y = \int_{R/2}^{R} r^2 dm =$$

$$dm = M \cdot \frac{2\pi r dr}{\pi\left(R^2 - \frac{R^2}{4}\right)}$$

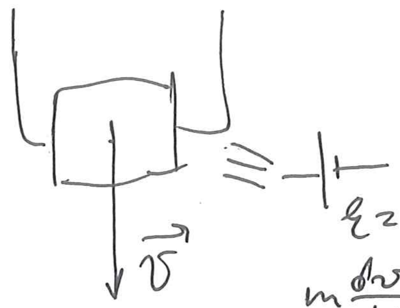


$$\frac{dB}{dt} = \beta$$

$$Bl v = \frac{q}{c}$$

$$\varepsilon_1 \frac{\rho l}{dl} = \frac{g}{d}$$

$$Blv = \frac{q}{c} + I \cdot R$$



$$\varepsilon = Blv;\ m = \tau l^2 d$$

$$Bl\dot{v} = \dot{I}R + \frac{I}{c}$$

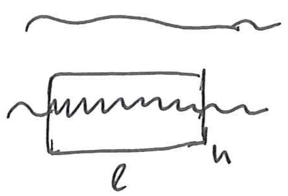
$$\dot{v} = \dot{I}\frac{R}{Bl} + \frac{I}{Blc}$$

$$m\frac{dv}{dt} = mg - IBl$$

$$\dot{v} = g - I\frac{Bl}{m} = \frac{I}{Blc} + \dot{I}\frac{R}{Bl}$$

$$\dot{I}\cdot\frac{R}{Bl} = g - I\left(\frac{Bl}{m} + \frac{1}{Blc}\right)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{IR}{Bl} - gt\right)$$



$$\Delta d = (n-1)l$$

70 : 36 = 1,94

−36; 340; −324; 160

$$\frac{2\sigma}{R} = \rho g h$$

$$\frac{\tau l d}{\tau B}$$

$$B\left(- \frac{\tau l d}{m}\right)$$

96-31-97-43 (113.3)

Чистовик

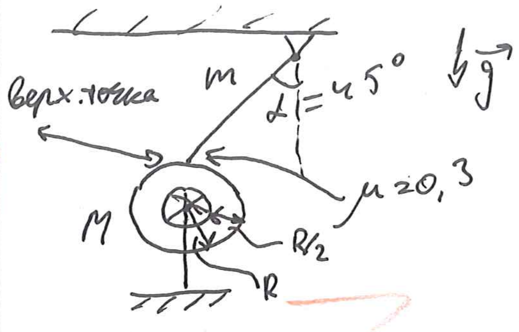
Задание 1:

Вопрос: Потенциальная энергия цилиндра переходит в кинетическую: ~~...~~ (состоящую из поступат. движение и движения вращательного относительно центра масс)

$$\begin{cases} MgH = \frac{Mv^2}{2} + \frac{y\omega^2}{2} \\ y = \frac{MR^2}{2} \text{ (однор. цилиндр.)} \\ \omega = \frac{v}{R}; \end{cases} \Leftrightarrow MgH = \frac{3}{4}Mv^2$$

$$\boxed{v = 2\sqrt{\frac{gH}{3}}}$$

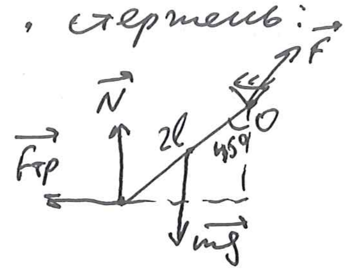
Задача:



верх. точка, m, $\alpha = 45°$, g, $\mu = 0,3$, M, $R/2$, R

$n = 65$

, стержень:



$\vec{N}$, $\vec{F_{тр}}$, $2l$, $45°$, O, $\vec{F}$, $m\vec{g}$

$\Rightarrow$ ур. моментов отн. О:

$$F_{тр}\cdot\sqrt{2}l + N\sqrt{2}l = mg\cdot l\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}$$

скольжение, так что $F_{тр} = \mu N$

$$2\sqrt{2}lN(\mu+1) = mgl\sqrt{2}$$

$$N = \frac{mg}{2(\mu+1)},\ \text{тогда } F_{тр} = \frac{\mu mg}{2(\mu+1)}$$

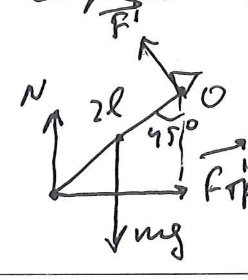
т.к. колесо однородное, то центр масс в центре, а значит его останавливает момент силы трения:

$$\frac{y\omega_0^2}{2} = F_{тр}\cdot 2\pi R\cdot n \quad (1),\ \text{где } y = \int_{R/2}^{R} r^2 dm;\ dm = M\cdot\frac{2\pi r dr}{\pi\left(R^2 - \frac{R^2}{4}\right)} = \frac{8\pi M r dr}{3\pi R^2} = \frac{8M r dr}{3R^2}$$

$$y = \int_{R/2}^{R}\frac{8M}{3R^2}r^3 dr = \frac{8M}{3R^2}\cdot\frac{r^4}{4}\Big|_{R/2}^{R} = \frac{8M}{3R^2}\cdot\frac{R^4}{4}\left(1 - \frac{1}{16}\right) = \frac{8\cdot 15}{3\cdot 4\cdot 16}MR^2 = \frac{5}{8}MR^2$$

в другую сторону:

. стержень, когда прокручиваем



N, $2l$, $45°$, O, $\vec{F'}$, $\vec{F_{тр}'}$, $m\vec{g}$

ур. моментов отн. О: $N\sqrt{2}l = F_{тр}'\cdot\sqrt{2}l + mg\cdot\frac{\sqrt{2}}{2}l$

$$2N\sqrt{2}l(1-\mu) = mg\cdot\sqrt{2}l$$

$$N = \frac{mg}{2(1-\mu)}$$

1	2	3	4
5	5	15	3
20	14	19	16

Б, З

83

83 (восемьдесят три)

Грибов В.А.

Чуренко А.В.

Чистовик

продолжен. №1:

ЗСЭ: $\frac{J\omega_0^2}{2} = n' \cdot F_{тр}' \cdot 2\pi R = 2\pi R \mu n' \cdot \frac{mg}{2(\cancel{1}-\cancel{\mu})}$ (2)

(1) и (2):

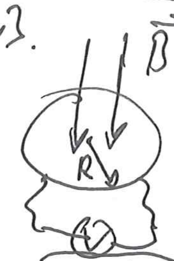
$\cancel{2\pi R} \cdot \cancel{\mu} n' \cdot \frac{\cancel{mg}}{\cancel{2}(\mu-1)} = \cancel{2\pi R} \cdot \frac{\cancel{\mu mg}}{2(\mu+1)} \cdot n$

$\boxed{n' = \frac{\cancel{1}-\cancel{\mu}}{\mu+1} n}$ $n' = \frac{1-0,3}{1,+0,3} \cdot 65 = \frac{0,7}{1,3} \cdot 65 = 5 \cdot 7 = \boxed{35}$

Ответ: 35 оборотов; $n' = \frac{1-\mu}{1+\mu} n$;

Задание №3.

Вопрос:



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

$\mathcal{E}_{in} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(\vec{B}, \vec{S}) = \left[\vec{B} \perp \vec{S};\ \dot{B} = \beta;\ S = \pi R^2\right] = -\pi R^2 \beta$

$U = |\mathcal{E}_{in}| = \boxed{\pi R^2 \beta}$ – показание вольтметра.

15

Задача:

· сопротивление заплатки: ~~R~~ $R = \frac{\rho l}{l d} = \frac{\rho}{d}$

масса: $m = \tau l^2 d$;

· под действием силы тяжести заплатка начнёт движение вниз, тогда создастся ЭДС индукции, равное $|\mathcal{E}_{in}| = Blv$, создающее ток в направлении по часовой стрелке, тогда вверх будет действовать сила Ампера:

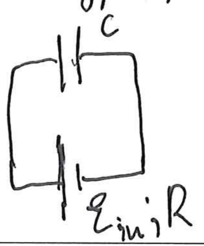
$F_A = IB \cdot l$ (где I – ток в цепи; можно сказать, что просуммировав по всем горизонтальным тоненьким лентам действует общая сила IBl),

II з.Н на вертик. ось:

$m\frac{dv}{dt} = mg - IBl$, причём $I = \frac{\tau l d g}{2B} = const$

+

· контур представляет цепь:



$\mathcal{E}_{in} = \frac{q}{C} + IR$ +

$vBl = \frac{q}{C} + IR \Big| \frac{d}{dt} \Leftrightarrow Bl \cdot \dot{v} = \frac{\dot{q}}{C}$,

$\dot{q} = I = const$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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

96-31-97-43
(113.3)

$$C = \frac{I}{Bl\cdot\dot v};\quad \dot v = \frac{dv}{dt} = g - \frac{IBl}{m} = g - \frac{Bl}{m}\cdot\frac{\tau l d g}{2B} = g - \frac{\tau l^2 d g}{2m} = \text{const}$$

$$C = \frac{I}{Bl\cdot\left(g - \frac{IBl}{m}\right)} = \frac{I}{Blg - I\frac{B^2l^2}{m}} = \frac{\frac{\tau l d g}{2B}}{B\cancel{l}g - \frac{\tau l d g}{2B}\cdot\frac{Bl}{m}} = \frac{\tau d g}{B\left(2Bg - \frac{\tau l^2 d g B}{m}\right)} = \boxed{\frac{\tau d}{B^2\left(2 - \frac{\tau d l^2}{m}\right)}}$$

· закон движения: $\dot v = g - \frac{Bl}{m}I$

$$\Delta v = \left(g - \frac{BlI}{m}\right)\Delta t,\quad v_0 = 0 \Leftrightarrow \Delta v = v(t)$$

$$y(t) = \frac{\left(g - \frac{BlI}{m}\right)t^2}{2},\quad y_0 = 0 \Leftrightarrow \Delta y = y - y_0$$

нач. положение; положение в момент t.

Ответ: $\boxed{C = \frac{\tau d}{B^2\left(2 - \frac{\tau d l^2}{m}\right)}}$

$$y(t) = \left(g - \frac{l^2\tau d g}{m\cdot 2}\right)\frac{t^2}{2} = \boxed{\left(1 - \frac{\tau l^2 d}{2m}\right)\frac{g t^2}{2}}$$

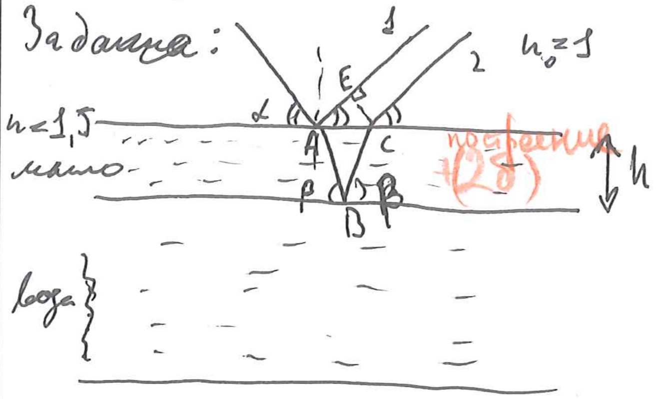
Чистовик

Задача №4: Чистовик

Вопрос: чтобы две монохроматические световые волны дали минимум ~~интерференционной~~ картины 1б.
оптическая разность их хода должна быть равна ~~[illegible]~~ нечётному числу длин волн.

3б. ← ответ (неполон)

Задача:



• рассмотрим два луча падающих под углом $\alpha = 60°$ к поверх-ти пленки: один отразится сразу, а другой преломится, отразится от границы вода | масло и преломится опять;

(верно определены лучи) +(1б) +(2б)

• ~~[illegible]~~ 2 луч при отражении от пов. вода/масло теряет ~~[illegible]~~ половину длины волны, т.к. вода оптически другая среда;

не исс* зависимость от $n_{вода}$

• $AB = BC$ (углы равны по зак. отраж.)

• зак. Снеллиуса: $n_0 \cdot \sin(90° - \alpha) = n \cdot \sin(90 - \beta)$

$$\frac{\cos\alpha}{n} = \cos\beta = \frac{1}{2n};$$

$$AB = BC = \frac{h}{\sqrt{1 - \frac{\cos^2\alpha}{n^2}}}; \quad AC = 2 \cdot AB\cos\beta = \frac{2h\cos\beta}{\sqrt{(1-\cos^2\beta)}}$$

+1б.

$\frac{\lambda}{2}$ учтено не тем? *!

$$AE = AC\cos\alpha;$$

$$CE = AC\sin\alpha;$$

(возможно и $k = 0$, $\frac{k\lambda}{2}$)

• ~~[illegible]~~ разность хода:

$$\Delta d = 2ABn + \frac{\lambda}{2} - AE = 2 \cdot \frac{hn}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}} + \frac{\lambda}{2} -$$

$$= \frac{2hn^2}{\sqrt{n^2-\cos^2\alpha}} - \frac{2h\cos^2\alpha}{\sqrt{n^2-\cos^2\alpha}} + \frac{\lambda}{2} = \quad - \frac{2h\cos\beta\cos\alpha}{\sqrt{1-\cos^2\beta}} =$$

$$= \frac{2h}{\sqrt{n^2-\cos^2\alpha}}(n - \cos^2\alpha) + \frac{\lambda}{2}$$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

96-31-97-43
(113.3)

прод. № 4:

условие макс:

$$\Delta d = k\lambda,\ k = \{1, 2, 3 \dots\}$$

$$\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{2h(n^2 - \cos^2\alpha)}{\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}} = 2h\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}$$

$$h = \frac{\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda}{2\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}},$$ за период $k_i \to k_{i+1} = k_i - 1$,

+(3б)

тогда $$v = \frac{dh}{dt} = \frac{\Delta h}{T} = \frac{\lambda}{2T\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}\left(k_i - \cancel{\frac{1}{2}} - k_{i+1} + \cancel{\frac{1}{2}}\right) = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha} \cdot T}$$

3б.

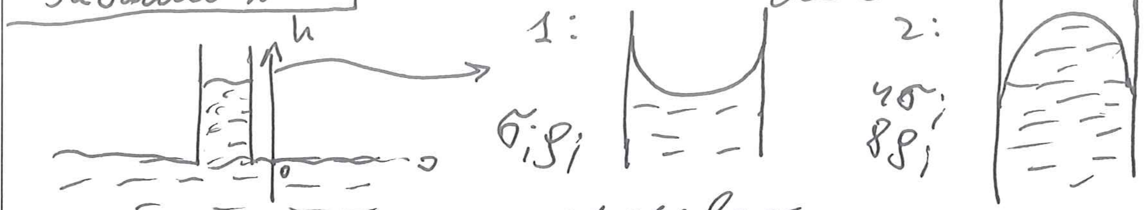
$$v = \frac{5\cancel{00} \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 9\cancel{00} \cdot \sqrt{2{,}25 - 0{,}25}} = \frac{5 \cdot \sqrt{2}}{2 \cdot 9 \cdot 2} \cdot 10^{-9}\,\frac{м}{с} \simeq \frac{7}{36} \cdot 10^{-9}\,\frac{м}{с} \simeq 2\,\frac{Å}{с}$$

+1б

Ответ: $v = \dfrac{\lambda}{2T\sqrt{n^2 - \cos^2\alpha}}$; $\simeq 2\,\dfrac{Å}{с}$

Чистовик

Задание №2:   Чистовик



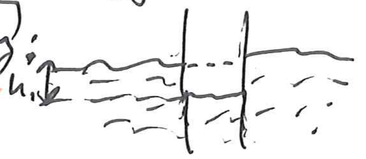
• из-за кривизны пов-ти возникают силы поверхностного натяжения, [illegible] внутрь шара, поэтому изменяется давление, ~~[illegible]~~ а следовательно и высота:

1: $\rho g h = \frac{2\sigma}{R}$, столб выше, т.к. давление внутри меньше, чем на поверхности вне капилляра
(Лапласово давление)

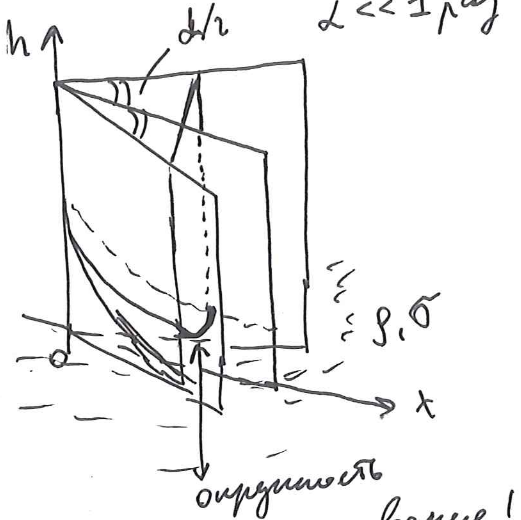
2: $\rho_1 g h_1 = -\frac{2\sigma_1}{R}$, "–", т.к. пов-ть не смачивает ⇒ давление больше, чем на пов-ти вне капилляра:

$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$; $h_1 = -\frac{2\sigma_1}{\rho_1 g R} = -\frac{4\sigma \cdot 2}{8\rho g R} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{2\sigma}{\rho g R} = -\frac{1}{2} h$ ⇒

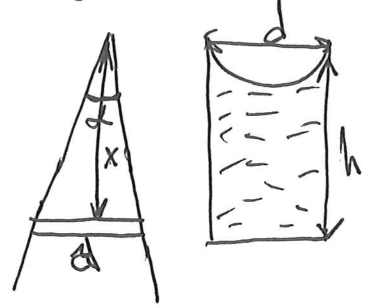
$|h_1| = \frac{1}{2} h$; $\boxed{h_1 = 2\text{ мм, уходит вниз}}$;



Задача:



рассмотрим сечение столба жидкости на расстоянии x и высоте h:



т.к. $\alpha \ll 1$ рад, $d = x\alpha$, тогда $r = \frac{d}{2} = \frac{x\alpha}{2}$

и полное смачивание!!

• из-за полного смачивания столб поднимается, тогда уравновешиваются лапласово давление и давление столба:

$\rho g h = \frac{2\sigma}{r}$; $\rho g h = \frac{2\sigma}{\frac{x\alpha}{2}} \Leftrightarrow h = \frac{4\sigma}{x\alpha\rho g}$, тогда

$h(x) = \frac{4\sigma}{\rho g \alpha} \cdot \frac{1}{x}$

Ответ: $\boxed{h(x) = \frac{4\sigma}{\rho g \alpha} \cdot \frac{1}{x}}$ Чистовик

Из-за ф-лы Лапласа