0 915990 450004

91-59-90-45
(167,2)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 7

Место проведения Ростов-на-Дону
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников "Покори Воробьёвы горы!"
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

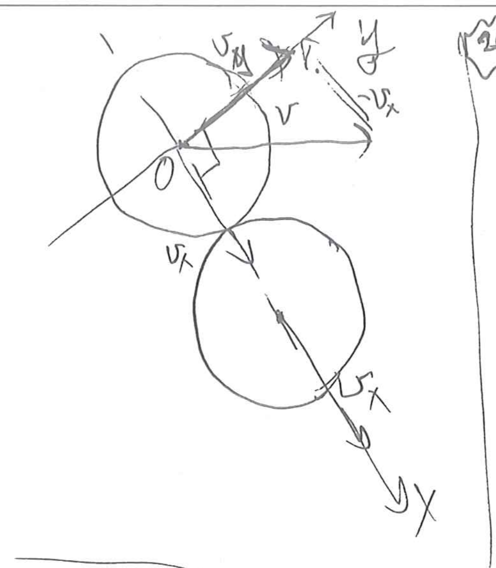
Бардюковой Радмилы Денисовны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата «3» апреля 2026 года

Подпись участника

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

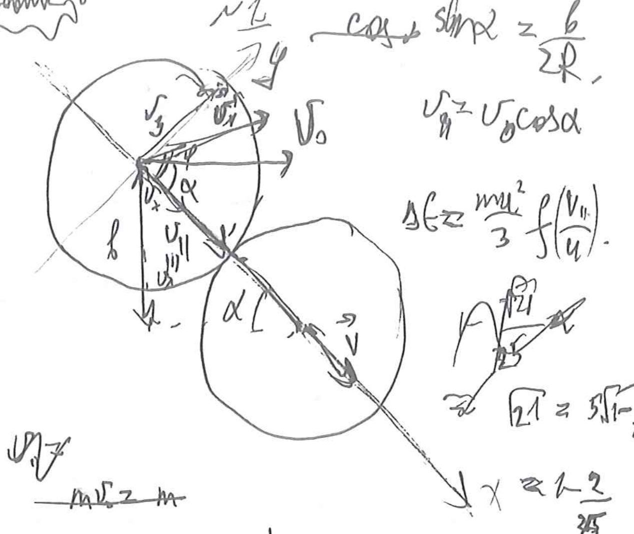
Выполнять задания на титульном листе запрещается!



черновик

№1

$\sin\alpha = \frac{b}{2R}$, $v_{\parallel} = v_0\cos\alpha$



$\Delta E = \frac{mu^2}{3} f\left(\frac{v_{\parallel}}{u}\right)$

$\sqrt{21} = 5\sqrt{1-\frac{4}{25}}$

$x = 1 - \frac{2}{25}$

$mv_{\parallel} = mv_x + mV$.

$mv_0\sin\alpha = mv_y \Rightarrow v_y = v_0\sin\alpha = v_0\frac{b}{2R}$.

$\frac{mv_{\parallel}^2}{2} + \frac{mv_0^2\sin^2\alpha}{2} = \frac{mv_x^2}{2} + \frac{mv_y^2}{2} + \frac{mV^2}{2} + \Delta E \Rightarrow v_{\parallel}^2 = v_x^2 + V^2 + \frac{2}{3}u^2 f\left(\frac{v_{\parallel}}{u}\right)$.

$V = v_{\parallel} - v_x \Rightarrow v_{\parallel}^2 = v_x^2 + v_{\parallel}^2 + v_x^2 - 2v_{\parallel}v_x + \frac{2}{3}u^2 f\left(\frac{v_{\parallel}}{u}\right)$.

$2v_x^2 - 2v_{\parallel}v_x + \frac{2}{3}u^2 f = 0 \Rightarrow v_x^2 - v_{\parallel}v_x + \frac{u^2}{3}f = 0$

$v_x = \frac{v_{\parallel} \pm \sqrt{v_{\parallel}^2 - \frac{4f}{3}u^2}}{2} \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2v_0\sin\alpha}{v_0\cos\alpha - \sqrt{v_0^2\cos^2\alpha - \frac{4}{3}fu^2}}$

$\frac{500}{423}$

$\cos\alpha = \frac{\sqrt{4R^2-b^2}}{2R} \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = \frac{v_0\frac{b}{R}}{v_0\frac{\sqrt{4R^2-b^2}}{2R} - \sqrt{v_0^2\frac{4R^2-b^2}{4R^2} - \frac{4}{3}fu^2}} =$

$\sin\alpha = \frac{b}{2R}$

$f(x) = f\left(\frac{v_{\parallel}}{u}\right) = f\left(\frac{v_0}{u}\cos\alpha\right)$

$= \frac{b}{R} \cdot \frac{v_0}{v_0\frac{\sqrt{4R^2-b^2}}{2R} - \sqrt{v_0^2\left(1-\frac{b^2}{4R^2}\right) - \frac{4}{3}fu^2}}$.

$v_0 = v_x + V$.

$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2 + \frac{2}{3}u^2$

при $b = \sqrt{2}R$

$V = v_{\parallel} - v_x = v_{\parallel} - \frac{v_{\parallel}}{2} \pm \frac{\sqrt{\ldots}}{2}$

$v_x^2 - v_0 v_x + \frac{4}{3}u^2 = 0$.

$v_x = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - \frac{4}{3}u^2}}{2} > 0$

$2R\left(1-\left(\frac{u}{v_0}\right)^2\right) = \ldots \frac{16}{25}\cdot\frac{4}{3}\cdot 2R = \frac{8}{3}\ldots 3{,}55 см = 4 см.$

$x = \frac{5}{3\cdot 1{,}41} = \frac{5}{4{,}23} = \frac{500}{423} \approx 1{,}2$

$\frac{500}{423}$

$\frac{\sqrt{2}}{\frac{1}{\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{2}{9}\cdot\frac{3}{25}}}$

91-59-90-45 (167.2)

№	1	2	3	4
В	5	5	3	4
З	13	9	3	20

62

Шестьдесят два

№1

чистовик

Вопрос.

ЗСИ на оси X и ЗСЭ:

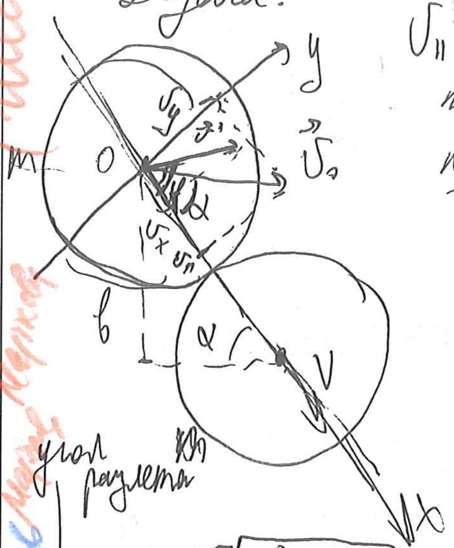
$mv_x = mV + mv_x'$ ($V \parallel X$, т.к. сил трения, создающих не радиальные импульсы, нет) (1).

$mv_y = mv_y'$. (2)

$\frac{mv_x^2 + mv_y^2}{2} = \frac{mv_x'^2}{2} + \frac{mv_y'^2}{2} + \frac{mV^2}{2} \Rightarrow \frac{mv_x^2}{2} = \frac{mv_x'^2}{2} + \frac{mV^2}{2}$, (3)

1 и 3 ур-ния соответствуют лобовому ~~удар~~ удару одинак. шариков $\Rightarrow v_x = 0 \Rightarrow$ угол разлета равен $90°$

Задача.



$v_{\parallel} = v_0\cos\alpha$; $\sin\alpha = b/2R$. Запишем ЗСЭ, сократив $\frac{m}{2}v_y^2 = \frac{m}{2}v_0^2\sin^2\alpha$:

$\frac{mv_{\parallel}^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{mv_x^2}{2} + \Delta E \Rightarrow v_{\parallel}^2 = V^2 + v_x^2 + \frac{2}{3}u^2 f$.

при этом $V = v_{\parallel} - v_x \Rightarrow v_{\parallel}^2 = v_{\parallel}^2 + v_x^2 - 2v_{\parallel}v_x + v_x^2 + \frac{2}{3}u^2 f \Rightarrow$

$\Rightarrow v_x^2 - v_{\parallel}v_x + \frac{f}{3}u^2 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_x = \frac{v_{\parallel} \pm \sqrt{v_{\parallel}^2 - \frac{4f}{3}u^2}}{2} =$

угол разлета

$= \frac{v_{\parallel} - \sqrt{v_{\parallel}^2 - \frac{4}{3}fu^2}}{2}$, т.к. при отсутствии потерь $v_x = 0$.

$$\boxed{\operatorname{tg}\varphi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{2v_0\sin\alpha}{v_0\cos\alpha - \sqrt{v_0^2\cos^2\alpha - \frac{4}{3}fu^2}}}$$

Относит. движение шайб. связано с потерями энергии формулой $\Delta E = \frac{1}{2}\mu u^2$) ($\mu$ – прив. масса, u – относ. скорость) $\Rightarrow$ иначе увеличилась бы относ. скорость

$\Rightarrow$ тупого угла φ быть не может $\Rightarrow \varphi_{max} = \frac{\pi}{2}$ при $f = 0$,

т.е. при $\frac{v_0\cos\alpha}{u} \le 1 \Rightarrow 1 - \frac{b^2}{4R^2} \le \left(\frac{u}{v_0}\right)^2 \Rightarrow b \ge 2R\left(1-\left(\frac{u}{v_0}\right)^2\right)^{1/2} = 4 см$.

– при $b = \sqrt{2}R$ $v_{\parallel} = v_0\sqrt{1-\frac{b^2}{4R^2}} = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$, $v_0\sin\alpha = v_0/\sqrt{2}$; $f = f\left(\frac{v_0}{\sqrt{2}u}\right)$

$f\left(\frac{v_0}{\sqrt{2}u}\right) = f\left(\frac{5}{\sqrt{2}\cdot 3}\right) \approx f(1{,}2) \approx \frac{1}{6} \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi \approx \frac{\sqrt{2}\cdot\frac{v_0}{\sqrt{2}}}{\frac{v_0}{\sqrt{2}} - \sqrt{\frac{v_0^2}{2} - \frac{4}{18}u^2}} \approx \frac{10}{5 - \sqrt{21}} \approx \frac{10}{2/5} =$

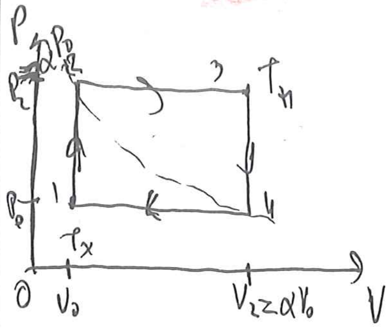
$= \frac{50}{2} = 25$.

– при $b = R$ $v_0\sin\alpha = v_0/2$, $v_0\cos\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}v_0$, $f = f\left(\frac{\sqrt{3}v_0}{2u}\right) = f\left(\frac{5}{2\sqrt{3}}\right)$.

– при $b = 0$ $v_y = 0$, $v_x \ne 0 \Rightarrow \operatorname{tg}\varphi = 0$.

чистовик

Ответ: $\varphi = \varphi_{max} = \frac{\pi}{2}$ при $b \geq 4$см; $tg\varphi_1 \approx 25$; $tg\varphi_2 \approx$; $tg\varphi_3 = 0$.



№2

Вопрос: $C_V = \frac{dU}{\nu dT} = \frac{i}{2}R$ $\left(dU = \frac{i}{2}\nu R dT\right)$.

$$C_p = \frac{dU + \delta A}{\nu dT} = \frac{\frac{i}{2}\nu R dT + PdV}{\nu dT} = \frac{\frac{i}{2}\nu R dT + d(PV)}{\nu dT} = \frac{\frac{i}{2}\nu R dT + d(\nu RT)}{\nu dT} = \frac{\frac{i}{2}\nu R dT + \nu R dT}{\nu dT} = \frac{i+2}{2}R,$$

i – степени свободы газа.

Задача:

1) $P_2V_2 = \nu R T_н$, $P_0V_0 = \nu R T_x$, $P_2V_0 = P_0V_2$ $\Rightarrow \frac{V_2}{V_0} = \frac{P_2}{P_0} = \sqrt{\frac{T_н}{T_x}} \equiv \alpha \approx 1{,}5$.

$A = S_{цикла} = (\alpha-1)^2 P_0V_0$.

$Q_н = \frac{3}{2}P_0V_0(\alpha-1) + \frac{5}{2}\alpha P_0V_0(\alpha-1) = \frac{P_0V_0(\alpha-1)}{2}(3+5\alpha)$.

$$\eta = \frac{A}{Q_н} = \frac{(\alpha-1)^2 P_0V_0 \cdot 2}{(\alpha-1)(3+5\alpha)} = \frac{2(\alpha-1)}{3+5\alpha} = \frac{2\cdot 0{,}5}{3+7{,}5} = \frac{1}{10{,}5} \approx 9\%.$$

2) Для РТ': $A' = (\beta-1)^2 P_0V_0$, $Q_н' = \frac{P_0V_0(\beta-1)}{2}(3+5\beta) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \eta' = \frac{A - A'}{Q_н - Q_н'} = \frac{2\left((\alpha-1)^2 - (\beta-1)^2\right)}{(\alpha-1)(3+5\alpha) - (\beta-1)(3+5\beta)}, \quad \beta = \sqrt{\frac{T_н'}{T_x'}} \approx \frac{16}{3\sqrt{7}}.$$

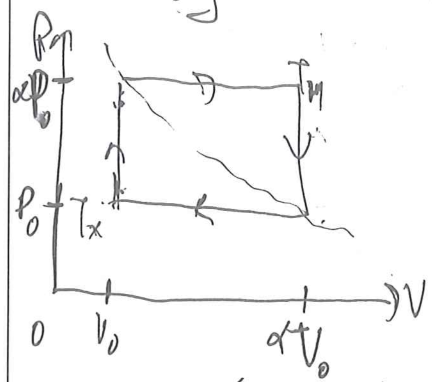
$$\eta' \approx \frac{2\left(0{,}25 - \frac{(16-5\sqrt{7})^2}{175}\right)}{5{,}25 - \frac{16-5\sqrt{7}}{5\sqrt{7}}\cdot\left(3+\frac{16}{\sqrt{7}}\right)}.$$

Ответ: $\eta \approx \frac{1}{10{,}5} \approx 9\%$; $\eta' \approx \frac{0{,}5 - \frac{2(16-5\sqrt{7})^2}{175}}{5{,}25 - \left(\frac{16}{5\sqrt{7}} - 1\right)\left(3+\frac{16}{\sqrt{7}}\right)}$.

черновик

№2 Т23

Без РТ' $\quad \alpha \equiv \sqrt{\frac{T_н}{T_x}}$



$A = (\alpha-1)^2 P_0V_0$. $\quad Q_н = \frac{C_V}{R}P_0V_0(\alpha-1) + \frac{C_p}{R}\alpha P_0V_0(\alpha-1) =$

$= \frac{P_0V_0}{2}\left(3(\alpha-1) + 5\alpha(\alpha-1)\right)$.

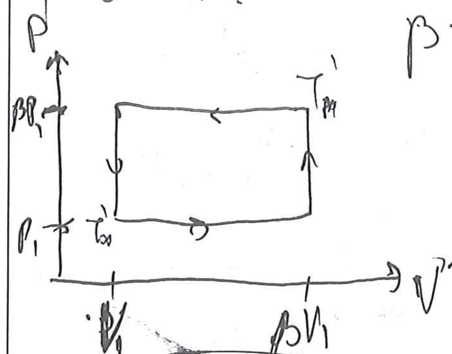
$Q_x = \frac{3}{2}\alpha P_0V_0(\alpha-1) + \frac{5}{2}P_0V_0(\alpha-1)$.

$Q_н = \frac{P_0V_0}{2}\left(3(\alpha-1)\alpha + 5(\alpha-1) + 2(\alpha-1)^2\right)$.

~~$5(\alpha-1)+3(\alpha-1)\alpha+2(\alpha-1)^2 = 3(\alpha-1)+5\alpha(\alpha-1)$ $\Rightarrow 5+3\alpha+2\alpha-2 = 3+5\alpha$~~

$$\eta = \frac{A}{Q_н} = \frac{2(\alpha-1)^2}{3\alpha-3+5\alpha^2-5\alpha} = \frac{2(\alpha-1)^2}{5\alpha^2-3-2\alpha}.$$

С РТ':



$\beta = \sqrt{\frac{T_н'}{T_x'}}$ $\quad Q_н' = Q_н' = \frac{P_0V_0}{2}\left(3(\alpha-1)+5\alpha(\alpha-1)-3(\beta-1)-5\beta\ldots\right)$

$= \frac{P_0V_0}{2}\left[(\alpha-1)(3+5\alpha) - (\beta-1)(3+5\beta)\right]$.

$A' = P_0V_0\left[(\alpha-1)^2 - (\beta-1)^2\right]$.

~~$\eta' = \frac{Q_н'}{A}$~~ $\quad \eta' = \frac{A'}{Q_н'}$.

~~№7~~ ~~Расчет:~~

№3

~~$\ell' = \frac{\ell - h}{1 - \frac{h^2}{2\ell^2}\left(1+\frac{2h}{\ell}\right)} \approx (\ell-h)\left(1+\frac{h^2}{2\ell^2}\left(1+\frac{2h}{\ell}\right)\right) = \ell + \ell\frac{h^2}{2\ell^2}\left(1+\frac{2h}{\ell}\right) + h\left(1+\frac{h^2}{2\ell^2}\right)$~~

~~$\Delta W = kQq\left(\frac{1}{\ell} - \frac{1}{\ell'^2}\right) < 0 \Rightarrow \Delta W = kQq\left(\frac{1}{\ell'^2} - \frac{1}{(\ell-h)^2}\left(1-\frac{h^2}{\ell^2}\left(1+\frac{2h}{\ell}\right)\right)\right)$~~

~~$\Delta W = kQq\left(\frac{1}{\ell^2} - \frac{1}{\ell^2}\left(1-\frac{h^2}{\ell^2}\right)\right) = kQq\frac{h^2}{\ell^4}$~~

~~$\ell' = \ell(1+$~~ $\quad d\varphi = \frac{h}{\ell}\left(1+\frac{h}{\ell}\right)$. ~~$\ell =$~~ $\ell' = \sqrt{(\ell-h)^2 + h^2} =$

$= \sqrt{\ell^2 + h^2 - 2\ell h} \approx \left(\ell^2 - 2\ell h\right)^{1/2} = \ell\left(1 - \frac{2h}{\ell}\right)^{1/2} \approx \ell\left(1 - \frac{h}{\ell}\right)$.

$\Delta W = kQq\left(\frac{1}{\ell} - \frac{1}{\ell\left(1-\frac{h}{\ell}\right)}\right) = kQq\left(\frac{1}{\ell} - \frac{1}{\ell}\left(1+\frac{h}{\ell}\right)\right) = -\frac{kQq}{\ell^2}h$.

$-\frac{kQq}{\ell^2}h + mgh$ ~~$= const$~~ $= \frac{mv^2}{2}$ ~~$= const$~~.

когда ~~$h = 0$~~ $\dot{h} = 0$ $\quad -\frac{kQq}{\ell^2}h + mgh = 0$

~~70~~ 47 №3 $\frac{140}{94}=\frac{70}{47}$ черновик

№3.1

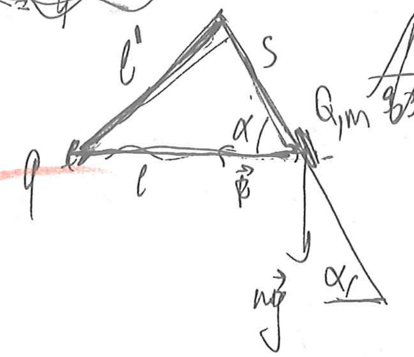
$\cancel{W=\varphi q}$ $W=\frac{1}{2}(\varphi\cdot q)^2$

$=\frac{1}{2}\left(\frac{k\cdot q^2}{r^2}+\frac{kq^2}{a^2}+\frac{kq^2}{r^2}+\frac{kq^2}{a^2}\right)=kq^2\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{a^2}\right)$.

~~$W= C= W=\frac{qu}{2}=q$~~

$\sqrt{\frac{588}{300}}=\sqrt{\frac{294}{150}}=\sqrt{\frac{294}{750}}=\sqrt{\frac{197}{75}}\approx\frac{14}{\sqrt{75}}=\frac{14}{\sqrt{3}\cdot 5}$

$\sqrt{3}\approx 1{,}87\Rightarrow\sqrt{3}\cdot 5=9{,}35$



$0=-mg\,s\sin\alpha+\frac{kQq}{l^2}+\frac{kQq}{l'^2},\ q>0.$

$l'^2=l^2+s^2-ls\cos\alpha\Rightarrow mgs\sin\alpha+\frac{kQq}{l^2}-\frac{kQq}{l^2+s^2-sl\cos\alpha}=0\Rightarrow=mg\frac{s}{\sqrt{2}}+kQq\frac{s^2-sl\frac{1}{\sqrt{2}}}{l^2(l^2+s^2-sl\cos\alpha)}\Rightarrow$

$\Rightarrow\frac{mg}{\sqrt{2}}+kQq\frac{\sqrt{2}s-l}{\sqrt{2}l^2(l^2+s^2-\frac{sl}{\sqrt{2}})}=0\Rightarrow mgl^2\left(l^2+s^2-\frac{sl}{\sqrt{2}}\right)+kQq(\sqrt{2}s-l)=0$

$mgl^4+mgl^2s^2-mg\frac{l^3}{\sqrt{2}}s+kQq\sqrt{2}s-kQql=0\,\Big|\cdot\frac{1}{mgl^2}$.

$s^2+l^2-\frac{l}{\sqrt{2}}s+\frac{kQq\sqrt{2}}{mgl^2}s-\frac{kQq}{mgl}=0.$

$s^2-\left(\frac{l}{\sqrt{2}}-\frac{\sqrt{2}kQq}{mgl^2}\right)s-\frac{kQq}{mgl}=0.$

$s=\frac{1}{2}\left(\frac{l}{\sqrt{2}}-\frac{2\sqrt{2}kQq}{\sqrt{2}mgl^2}\right)\pm\sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{l}{\sqrt{2}}-\frac{\sqrt{2}kQq}{mgl^2}\right)^2+\frac{kQq}{mgl}}$

$0=-mg\frac{s}{\sqrt{2}}+kQq$

$\frac{kQq}{l^2}$ $\Delta U+W=const.$ $W=\frac{kQq}{l^2}$. $\Delta W=\frac{kQq}{l^2}\left(1-\frac{1}{l'}\right)$

$d\varphi=\frac{h}{l-h}\approx\frac{h}{l}$, $\cos d\varphi=1-\frac{h^2}{l^2}=\frac{l}{l'}$

$\sin d\varphi=\frac{h}{l-h}\approx\frac{h}{l}\left(1+\frac{h}{l}\right)$

$\cos d\varphi=\frac{l'}{l-h}$

~~$\Delta W=kQq\left(\frac{1}{l^2}-\frac{1}{l'^2}\right)=kQq\left(\frac{1}{l^2}-\frac{1}{l}\right)$~~

$\cos d\varphi=1-\frac{d\varphi^2}{2}=\frac{l-h}{l'}\Rightarrow l'=\frac{l-h}{1-\frac{d\varphi^2}{2}}$

$\frac{d\varphi^2}{2}=\frac{h^2}{2l^2}\left(1+\frac{h}{l}\right)^2\approx\frac{h^2}{2l^2}\left(1+\frac{2h}{l}\right)$.

$1-\frac{d\varphi^2}{2}=1-\frac{h^2}{2l^2}-\frac{h^3}{l^3}\approx 1-\frac{h^2}{2l^2}\left(1+\frac{2h}{l}\right)$.

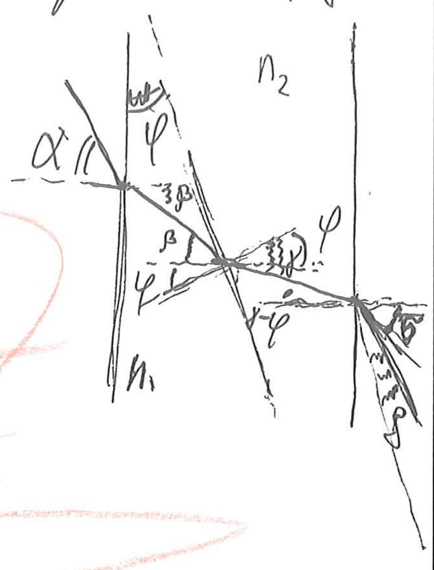
~~$1-\frac{d\varphi^2}{2}=\frac{h^2}{l^2}\cdot\frac{h}{l}=\frac{h^3}{l^3}$~~.

91-59-90-45

№4 чистовик

Вопрос: При переходе границы раздела сред луч преломляется, ~~не меняя свою~~ оставаясь в той же плоскости. Отношение синусов углов между перпендикуляром к границе раздела и лучом до и после перехода равны отношению показанию преломления сред.

$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha'}=n_{отн.}=\frac{n_2}{n_1}$



Задача: 3-и преломления для малых углов:

$\alpha=n_1\beta\Rightarrow\beta=\frac{\alpha}{n_1}\Rightarrow n_1(\beta+\varphi)=n_2\gamma=\alpha+n_1\varphi.$

$n_2(\gamma-\varphi)=\sigma=\alpha+n_1\varphi-n_2\varphi=\alpha-\Delta n\varphi\Rightarrow$

$\Rightarrow\delta=\alpha-\sigma=\Delta n\cdot\varphi=\frac{\pi}{60}\cdot\frac{\pi}{2}=1{,}5^0.$

Ответ: $1{,}5^0$.

№3.

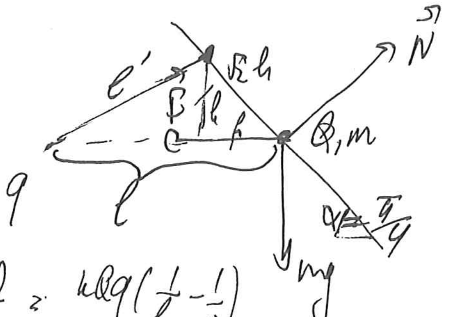
Вопрос.

$W=\frac{1}{2}(\varphi_1q_1+\varphi_2q_2)=\frac{1}{2}\left(\frac{kq^2}{r^2}+\frac{kq^2}{a^2}+\frac{kq^2}{r^2}+\frac{kq^2}{a^2}\right)=kq^2\left(\frac{1}{r^2}+\frac{1}{a^2}\right)=kq^2\frac{1}{a^2}\left(1+\frac{a^2}{r^2}\right)\approx$

~~$\approx\frac{1}{2}kq^2$~~ $\approx\frac{kq^2}{a^2}$. Считаем поле около шариков, ~~примерно сферически~~ созданное другим шариком, примерно однородным, т.к. оно ~~ув~~ уменьшается (максимум) на $\Delta E=kq\left(\frac{1}{r^2}-\frac{1}{(r+2a)^2}\right)=kq\left(\frac{1}{r^2}-\frac{1}{r^2}\left(1-\frac{4a}{r}\right)\right)=kq\frac{4a}{r^3}$.

Задача: ~~$F\cos\alpha=mg\sin\alpha\Rightarrow F=mg$~~.

$F\cos\alpha=mg\sin\alpha\Rightarrow F=mg$.



Т.к. возмущение мало, будем работать с малыми величинами: $\Delta W=\frac{kQ(-q)}{l'}-\frac{kQ(-q)}{l}=kQq\left(\frac{1}{l}-\frac{1}{l'}\right)$.

$l'=\sqrt{h^2+(l-h)^2}\approx\sqrt{l^2-2lh}\approx l\left(1-\frac{h}{l}\right)\Rightarrow\frac{1}{l'}=\frac{1}{l}\left(1-\frac{h}{l}\right)^{-1}\approx\frac{1}{l}+\frac{h}{l^2}+\frac{h^2}{l^3}\Rightarrow$

$\Rightarrow\Delta W=-\frac{kQq}{l^2}h+\frac{kQqh^2}{l^3}\Rightarrow\Delta U+\Delta W=\frac{kQqh^2}{l^3}$.

ЗСЭ: ~~$\Delta U+\Delta W=0$ (шайба не движется)~~ $\Delta U+\Delta W=\frac{mv^2}{2}$ (v – скорость при возмущении) $\Rightarrow\frac{kQqh^2}{l^3}=\frac{mv^2}{2}\Rightarrow h=\sqrt{\frac{m\cdot v^2l^3}{2kQq}}\Rightarrow s=\sqrt{2}h=\sqrt{\frac{mv^2l^3}{kQq}}$.

№3 (продолжение) **Чистовик**

$mg = \frac{kQq}{l^2} \Rightarrow s = \sqrt{\frac{v^2 l}{g}} = v\sqrt{\frac{l}{g}} = (0{,}2c)\cdot v.$

$v = \frac{d(\sqrt{2}h)}{dt} = \sqrt{2}\dot{h} \Rightarrow m\dot{h}^2 + \frac{kQqh^2}{l^3} = const \Rightarrow$ происходят гарм. колеба-

ния $\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{kQq}{l^3 m}} = \sqrt{\frac{g}{l}}$; $A\omega = v \Rightarrow a = A\omega^2 = v\omega = v\sqrt{\frac{g}{l}}.$

(черновик)

$(1+x)^n \approx 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2.$

$l' = \sqrt{l^2 + h^2 - 2lh} = l\sqrt{1 + \left(\frac{h}{l}\right)^2 - \frac{2h}{l}} = l\sqrt{1 - \frac{2h}{l}\left(1 - \frac{h}{2h}\right)} =$

$= l\sqrt{1 - \frac{2h}{l}} = l\left(1 - \frac{h}{l} - \frac{4h^2}{8l^2}\right) = l\left(1 - \frac{h}{l} - \frac{h^2}{2l^2}\right).$

$\Delta W = kQq\left(\frac{1}{l} - \frac{1}{l\left(1 + \left(\frac{h}{l}\right)^2 - \left(\frac{2h}{l}\right)\right)^{1/2}}\right) =$

$= kQq\left(\frac{1}{l} - \frac{1}{l}\left(1 - \frac{h}{l}\left(1 + \frac{h}{2l}\right)\right)^{-1}\right)$

$\frac{1}{l'} = \frac{1}{l}\left(1 - \frac{h}{l}\left(1 + \frac{h}{2l}\right)\right)^{-1} = \frac{1}{l}\left(1 - \frac{h}{l}\right)^{-1} = \frac{1}{l}\left(1 + \frac{h}{l} + \left(\frac{h}{l}\right)^2\right).$

$\Delta W = -\frac{kQq}{l}\left(\frac{h}{l} + \left(\frac{h}{l}\right)^2\right) = -\frac{kQq}{l^2}h\left(1 + \frac{h}{l}\right).$

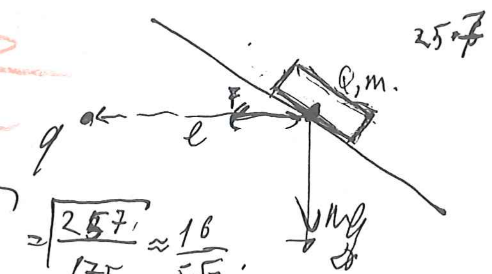
$K + U = const \Rightarrow \frac{mv^2}{2} + \cancel{mgh} - \cancel{\frac{kQqh}{l^2}} - \frac{kQq}{l^3}h^2 = const \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{mv^2}{2} - \frac{kQq}{l^3}h^2 = const.$ $v = \frac{d(\sqrt{2}h)}{dt} = \sqrt{2}\dot{h}.$

$m\dot{h}^2 - \frac{kQq}{l^3}h^2 = const.$ $\frac{kQq}{\sqrt{2}l^2} = \frac{mg}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{kQq}{l^2} = mg.$

$m\dot{h}^2 - mg\frac{h^2}{l} = const \Rightarrow \dot{h}^2 - g\frac{h^2}{l} = const \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}.$

$\frac{kqQ}{l^2} = mg$



2,5·7

70 | 47
47 | 1,49
230
188
420

$\sqrt{\frac{504}{350}} = \sqrt{\frac{257}{175}} \approx \frac{16}{5\sqrt{7}}.$

$\varphi = \cancel{\frac{3}{60} = \frac{1}{20}}$

$\varphi = \frac{3}{57} = \frac{1}{19}.$

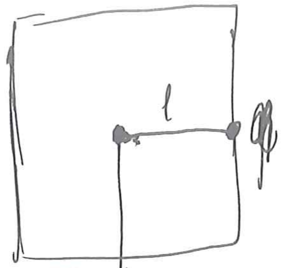
1,00 | 19
0,05

1,00 | 19
0,95 | 0,052
50
38
12

$0{,}05 \cdot \frac{1}{2} = 0{,}025.$

$W = \frac{kqQ}{R^2} + \frac{kq^2}{2a^2} + \frac{kQ^2}{2a^2}.$

(черновик :)



$\frac{mg}{\sqrt{2}} = mg \sin\alpha$

91-59-90-45
(167.2)

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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