0 794438 510001

79-44-38-51
(49.6)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 2

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников «Ломоносов»
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Кожевниковой Виктории Сергеевны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

14:52 Работу сдал Карпенков Д.Ю.

Подпись участника

Дата

« 5 » марта 2023 года

79-44-38-51 (49.6)

Чистовик.

задата 4.5.2.

По определению, $\Gamma = \frac{|f|}{d}$ + ; где f-координата изображения, d координата предмета.

Увелитенное из-е ($\Gamma > 1$) в собирающей линзе можно полутить если:
- изображение мнимое (предмет ближе фокуса)
- изображение действительное (предмет дальше F, ближе 2F)

Запишем формулу тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \; +$$

20

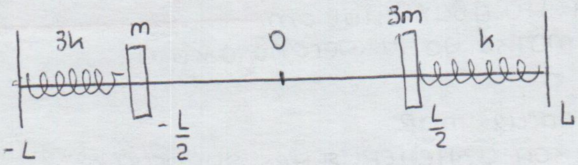
когда из-е действительное: (т.к его полутили на экране оно действ.)

$$f = \Gamma d \Rightarrow D = \frac{1}{d}\left(1 + \frac{1}{\Gamma}\right) \Rightarrow d = \frac{\Gamma + 1}{\Gamma D} \; +$$

расстояние между экраном и предметом (ℓ): +

$$\ell = d + f = \frac{\Gamma+1}{\Gamma D} + \frac{\Gamma+1}{D} = \frac{\Gamma+1}{D}\left(\frac{1}{\Gamma}+1\right) = \frac{(\Gamma+1)^2}{\Gamma D} = \frac{16}{3\cdot 6}\text{м} = \frac{16}{18}\text{м}$$

задата 1.2.2.



Введём координаты так, как показано на рисунке. Занетим, тто пружины растянули на расстояние $\frac{L}{2}$

Грузы будут совершать гармонит колебание

Закон сохр-я энергии первого груза до удара:
$x_1(t)$ зав-ть его координаты от времени

$$(x_1(t)^2)\cdot\frac{3k}{2} + \frac{m\dot{x}_1^2(t)}{2} = const$$ продифференцируем по времени

$$3k\cdot x_1(t)\cdot\dot{x}_1(t) + m\dot{x}_1(t)\ddot{x}_1(t) = 0$$
$$x_1(0) = -L/2$$

это станд. дифф. ур-е, реш. которого

$$\Rightarrow x_1(t) = -\frac{L}{2}\cos\left(\frac{\sqrt{3k}}{\sqrt{m}}\cdot t\right)$$

Аналогитно, $x_2(t)$ - зав-ть координаты второго груза от времени

ЗСЭ: $$\frac{k(x_2)^2}{2} + \frac{3m\dot{x}_2^2(t)}{2} = const \;\; \downarrow d/dt$$

$$kx_2(t) + 3m\ddot{x}_2(t) = 0 \qquad \Rightarrow x_2(t) = \frac{L}{2}\cdot\cos\left(\frac{\sqrt{k}}{\sqrt{3m}}t\right)$$
$$x_2(0) = \frac{L}{2}$$

Столкновение происходит в тот момент, когда $x_2(t) = x_1(t)$ при одном t

$$\frac{L}{2}\cdot\cos\left(\frac{\sqrt{k}}{\sqrt{3m}}t\right) = \frac{L}{2}\cos\left(\frac{\sqrt{3k}}{\sqrt{m}}\cdot t\right) \Rightarrow \cos\left(\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot t\right) + \cos\left(\sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot t\right) = 0$$

$$2\cdot\cos\left(\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot t + \frac{\sqrt{k}}{\sqrt{3m}}\cdot t\right)\right)\cdot\cos\left(\frac{1}{2}\left(\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot t - \sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot t\right)\right) = 0$$

$t > 0$

$$\left[\begin{array}{l}\left(\sqrt{3}\sqrt{\frac{k}{m}} + \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{k}{m}}\right)\cdot t = \pi \Rightarrow t = \frac{\pi\sqrt{m\cdot 3}}{4\sqrt{k}} \\ \left(\sqrt{3}\sqrt{\frac{k}{m}} - \frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{k}{m}}\right)\cdot t = \pi \Rightarrow t = \frac{\pi\sqrt{3m}}{2\sqrt{k}}\end{array}\right.$$

столкновение произойдет при меньшем t:

$$t = \frac{\pi\sqrt{3m}}{4\sqrt{k}}$$

Найдем координату столкновения:

$$x_1(t) = -\frac{L}{2}\cdot\cos\left(\frac{\pi\sqrt{9km}}{4km}\right) = -\frac{L}{2}\cdot\cos\frac{3\pi}{4} = +\frac{L}{2\sqrt{2}}$$

$$x_2(t) = \frac{L}{2}\cdot\cos\frac{\pi\sqrt{3km}}{4\sqrt{3km}} = \frac{L}{2}\cdot\cos\frac{\pi}{4} = \frac{L}{2\sqrt{2}}$$

1	2	3	4	5	Σ
20	4	18	20	2	64

(шестьдесят четыре)

Киселев, Бунина, Озина, Арабьев

Чистовик.

задача 1.2.2 (продолжение)

Найдём скорости грузов в момент столкновения

$$v_1(t) = \dot{x}_1(t) = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot t\right) = \frac{L\sqrt{3k}}{2\sqrt{m}}\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{3k}{m}}\cdot\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{3m}{k}}\right) = \frac{L\sqrt{3k}}{2\sqrt{m}}\cdot\sin\frac{3\pi}{4} = \frac{L\sqrt{3k}}{2\sqrt{m}\cdot\sqrt{2}}$$

$$v_2(t) = \dot{x}_2(t) = -\frac{L}{2}\cdot\sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot t\right) = -\frac{L}{2}\cdot\sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot\sin\left(\sqrt{\frac{k}{3m}}\cdot\frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{3m}{k}}\right) = \frac{-L}{\sqrt{2}\cdot 2}\sqrt{\frac{k}{3m}}$$

Запишем закон сохранения импульса

$mv_1 + 3mv_2 = 4mu$ → конечная скорость их движения

$v_1 + 3v_2 = 4u$

$$\frac{L\sqrt{3k}}{2\cdot 2\sqrt{2}\cdot\sqrt{m}} + \left(\frac{-3L\sqrt{k}}{2\sqrt{2}\cdot\sqrt{3m}}\right) = 4u$$

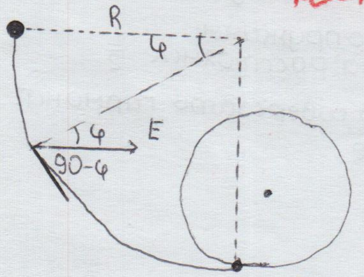
$$\frac{3L\sqrt{k}}{\sqrt{3}2\sqrt{2}\sqrt{m}} - \frac{3L\sqrt{k}}{2\sqrt{2}\cdot\sqrt{3m}} = 4u \Rightarrow u = 0 \Rightarrow$$ вся энергия в конце - эн-я пружин

$$E_{пружин}: W = \frac{k\cdot x_2^2(t)}{2} + \frac{3kx_1^2(t)}{2} = \frac{k}{2}\cdot\frac{L^2}{8} + \frac{3k}{2}\cdot\frac{L^2}{8} = \frac{kL^2}{16} + \frac{3kL^2}{16} = \frac{kL^2}{4}$$

$$k = \frac{4W}{L^2} \Rightarrow 3k = \frac{12W}{L^2} = (\text{все вел-я в СИ}) = \frac{12\cdot 3}{0.2^2} = \frac{36}{0.04} = 900\ Н/м$$

задача 3.9.2.

нет изображения сил!



Посмотрим на движение от начальной точки до нижнего положения на дуге.

В начале энергия: mgR

Запишем закон изменения мех. энергии.

$mgR + A_{непот. сил} = E_k$ (конечная энергия)

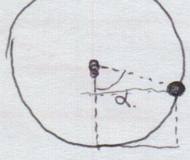
"Непотенциальная сила" - сила эл. поля

Перемещение вдоль линии её действия - R ⇒ работа: EqR

$E_k = mgR + EqR = (mg + Eq)R$

18

Посмотрим на движение по витку.



Зададим в произвольный момент времени положение тела через угол α между радиусом, проведенным к телу и радиусом, проведенным к нижней точке витка

Закон ~~сох~~ изменения мех. энергии:

$$E_k + A_{эл. поля} = mgr(1-\cos\alpha) + \frac{mv^2}{2}$$

$A_{эл. поля} = Eq\cdot r\sin\alpha \Rightarrow$

$$E_k + Eqr\sin\alpha - mgr + mgr\cos\alpha = \frac{mv^2}{2}$$

V_{min} при $\frac{mv^2}{2}\min$, а $\frac{mv^2}{2}\min$ при $Eqr\sin\alpha + mgr\cos\alpha$ min

$$Eqr\sin\alpha + mgr\cos\alpha = \sqrt{(Eqr)^2 + (mgr)^2}\left(\sin\left(\alpha + \arccos\frac{Eqr}{\sqrt{(Eqr)^2 + (mgr)^2}}\right)\right)$$

min значение: $-r\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2}$

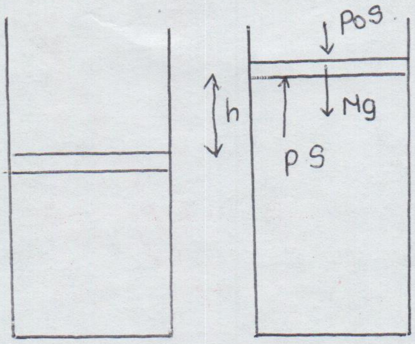
$$\frac{mv^2}{2} = (mg + Eq)\cdot R - mgr - r\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2}$$

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2}{m}\left((mg + Eq)R - mgr - r\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2}\right)} = \sqrt{2\cdot 10^3\left((10^{-2} + 10^{-3})\cdot 1 - 10^{-2}\cdot\frac{1}{4} - \frac{1}{4}\sqrt{10^{-6} + 10^{-4}}\right)}$$

$$= 10\sqrt{20(0{,}011) - \frac{20}{400} - \frac{1}{4}\cdot 10^{-3}\sqrt{101}} = 10\sqrt{0{,}22 - 0{,}05 - \frac{1}{400}\sqrt{101}} \approx 10\sqrt{0{,}17 - 0{,}025} = 10\sqrt{0{,}145}\ мс^{-1}$$

79-44-38-51
(49,6)

задача 2.9.2 чистовик



Пусть p- давление в конце
т.к поршень покоится

$p_0 S + Mg = p \cdot S$

$10^5 \cdot 10^{-2} + 10^2 \cdot 10 = 2 \cdot 10^3 = 10^{-2} \cdot p$

$p = 2 \cdot 10^5$ Па (+)

влажность $\varphi = \frac{\rho_{пара}}{\rho_{н.п}} = \frac{4}{5}$

~~$p_{св_0} \cdot V_0 = \nu R T_0$~~
~~$p_{с.в} \cdot (V_0 + Sh) = \nu RT$~~

$\varphi \rho_{н.п} \cdot \left(\frac{m}{\rho_{воды}} + S \cdot h\right) = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T_к$

$\frac{4}{5} \cdot \rho_{н.п.} \left(\frac{m}{\rho_{воды}} + S \cdot h\right) = \frac{m}{\mu} RT$

4

$\frac{m}{\rho_{воды}} + S \cdot h = \frac{5mRT}{\mu \cdot p_{н.п} \cdot 4}$

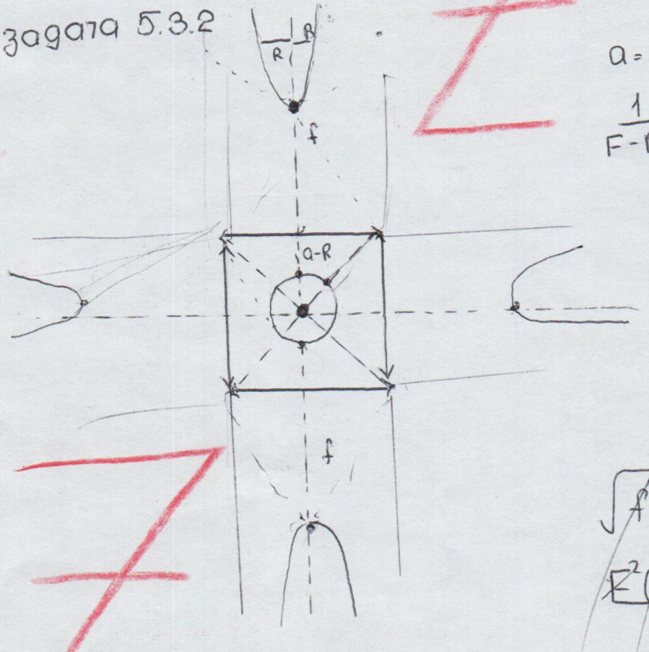
$S \cdot h = \frac{5mRT}{\mu \cdot p_{н.п.} \cdot 4} - \frac{m}{\rho_в} = m\left(\frac{5\rho RT - 4\mu p_{нп}}{4\mu p \rho_в}\right)$

$m = \frac{4\mu \cdot p \cdot \rho \cdot S \cdot h}{5\rho RT - 4\mu p_{нп}} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \cdot 10^5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2} \cdot 0.83}{5 \cdot 10^3 \cdot 8,3 \cdot (127+273) - 4 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \cdot 10^5} =$

$= \frac{4 \cdot 18 \cdot 2,5 \cdot 0,83 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3 \cdot 400 \cdot 8,3 - 4 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \cdot 10^5} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 2,5 \cdot 0.83}{200 \cdot 83 - 18} = \frac{18 \cdot 8.3}{2200 - 18} = \frac{149,4}{2182} \approx \frac{1}{44} \approx$

$\approx \frac{1000}{44}$ г $= 22.5$ г (−)

задача 5.3.2



$a = F$

$\frac{1}{F-R} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} + \frac{1}{R-F} = \frac{R}{F(R-F)}$

$f = \frac{F(R-F)}{R} > 0$

~~$\frac{f}{F} < 2 \Rightarrow \frac{R-F}{R} < 2$~~

~~$\sqrt{f^2 + R^2} < 2f$~~

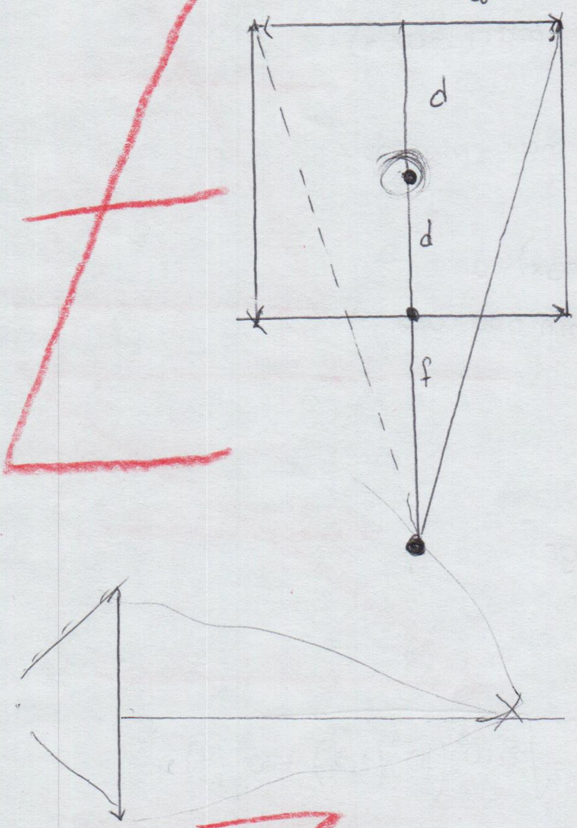
~~$F^2(R-F)^2 + R^4 < 4R^2 \cdot F^2 (R-F)^2$~~

$4R^2 < (R-F)^2$

$2R < R-F$

$F < R \Rightarrow R > F \Rightarrow F < 2.25$ см.

Б3?



$\frac{a}{2d+f} < 1$

$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$

$f = \frac{Fd}{d-F}$

$\frac{a}{2d + \frac{Fd}{d-F}} < 1$

$2d^2 - Fd < 1$

$a < 2d^2 - Fd$

$Fd < 2d^2 - a$

$F < 2d - \frac{a}{d}$

$F - \frac{F}{d} < 2d$

$F\left(\frac{d-1}{d}\right) < 2d$

$\frac{150}{2200} =$

180×8.3

54

144

14,94

$\frac{1}{44}$

$220 \overline{|} \frac{5}{44}$

$1000 : 44 = 22,5$

88

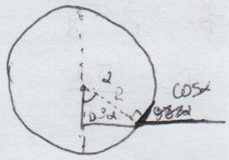
120

$F < \frac{2d^2}{d-1}$

Черновик.

$$\frac{mv_{\text{ниж}}^2}{2} = EqR - EqR\cos\frac{\pi}{2} + mgR\cdot\sin\frac{\pi}{2} = (Eq+mg)\cdot R$$

$R\cdot(Eq + mg\cdot R) = E_0$



$$E_0 + \int_0^\alpha Eqr\sin\alpha\, d\alpha = \frac{mv^2}{2} + mgr(1-\cos\alpha)$$

$$E_0 + Eqr\int_0^\alpha \sin\alpha\, d\alpha = \frac{mv^2}{2} + mgr - mgr\cos\alpha$$

$$\frac{mv^2}{2} = E_0 + Eqr(1-\cos\alpha) - mgr(1-\cos\alpha) = 0$$

min при $(Eqr - mgr)(1-\cos\alpha)$ min при $\cos\alpha = 1$

$Eqr \vee mgr$

$10^3\cdot 10^{-6} \vee 10^{-3}\cdot 10$

$$\frac{mv^2}{2} = E_0 + (Eqr - mgr)\cdot 2$$

$$\frac{mv^2}{2} = Eq(R) + mgR + 2qEr - 2mgr$$

$$\frac{mv^2}{2} = Eq(R+2r) + mg(R-2r)$$

$$V = \sqrt{\frac{2}{m}\left(Eq(R+2r) + mg(R-2r)\right)} = \sqrt{2\cdot 10^3\left(10^{-3}(1,5) + 10^{-2}\cdot\left(\frac{1}{2}\right)\right)} =$$

$$= \sqrt{3+10} = \sqrt{13}\ мс^{-1}$$

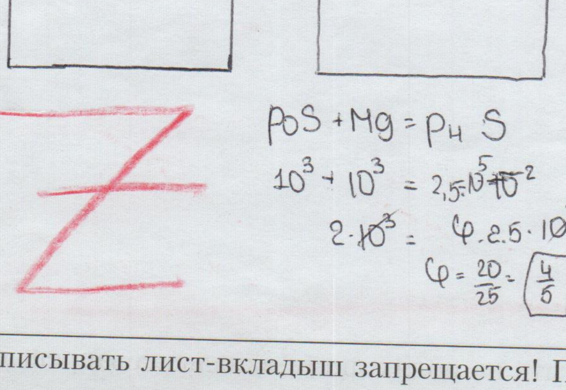
$0,170 - 0,025 = 0,145$

$0,12 \times 0,12 = 0,144$

$1/4 = 0,25;\ 1/8 = 0,125$ | $\frac{2}{64}$

$0,06645$

2.9.2



$p_H\cdot S\cdot(h_0+h) = \nu RT$

10×10 см $= 10^{-2}$ м^2

$$p_H\cdot\left(\frac{m}{\rho_{воды}} + Sh\right) = \nu RT$$

$$p_H\frac{m}{\rho_{воды}} + p_H Sh = \frac{m}{\mu}RT$$

$$p_H\cdot\mu = \rho' RT \Rightarrow \rho' = \frac{p_H\cdot\mu}{R\cdot T}$$

$p_0S + Mg = p_H S$

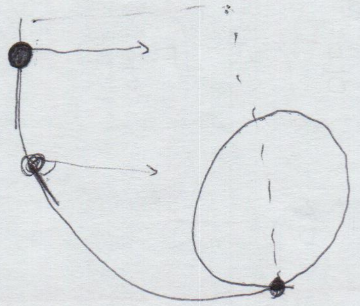
$10^3 + 10^3 = 2{,}5\cdot 10^5 \cdot 10^{-2}$

$2\cdot 10^3 = \varphi\cdot 2.5\cdot 10^3$

$\varphi = \frac{20}{25} = \boxed{\frac{4}{5}}$

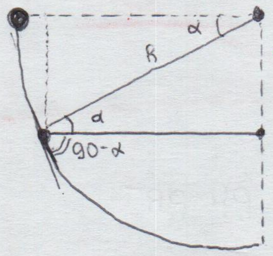
$$\varphi\cdot p_H\cdot S(h+h_0) = \nu RT = \frac{m}{\mu}RT$$

3.9.2. (черновик)



$E_0 = mgR$

$A: Eq \cdot \int \cos\alpha (R)\, d\alpha$



$$mgR(1-\sin\alpha) + \frac{mv^2}{2} = mgR + \int^{\alpha} EqR^{\sin\alpha}\, d\alpha$$

$$mgR(1-\sin\alpha) + \frac{mv^2}{2} = mgR + EqR \int_0^{\alpha} \sin\alpha\, d\alpha$$

$$\frac{mv^2}{2} = mgR - mgR + mgR\sin\alpha - EqR\cdot\cos\alpha + EqR$$

$$\frac{mv^2}{2} = mgR\sin\alpha - EqR\cos\alpha + EqR$$

$$\frac{dE}{d\alpha} = mgR\cos\alpha + EqR\sin\alpha = 0$$

$$\tan\alpha = -\frac{mg}{Eq}; \quad \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha \Rightarrow$$

$$\cos^2\alpha(\tan^2\alpha + 1) = 1$$

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{1}{\tan^2\alpha + 1}}$$

$$mg\cos\alpha + Eq\sin\alpha = 0$$

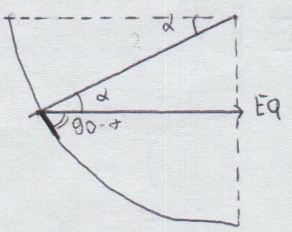
$$\frac{mg}{\sqrt{\ldots}}\cos\alpha + \frac{Eq}{\sqrt{Eq}}$$

$\sin\varphi$

$$\cos\alpha = \cos\varphi = \frac{Eq}{\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2}}$$

$$\sin\alpha = -\sin\varphi = \frac{-mg}{\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2}}$$

$$mgR + \int_0^{\alpha} EqR\sin\alpha\, d\alpha = mgR(1-\sin\alpha) + \frac{mv_{(\alpha)}^2}{2}$$



$$mgR + EqR(-\cos\alpha)\Big|_0^{\alpha} = mgR - mgR\sin\alpha + \frac{mv^2}{2}$$

$$mgR + EqR(-\cos\alpha + 1) = mgR - mgR\sin\alpha + \frac{mv^2}{2}$$

$$EqR(1) - EqR\cdot\cos\alpha + mgR\sin\alpha = mv^2/2$$

$$\frac{d}{d\alpha} = mgR\cos\alpha + qER\sin\alpha$$

$$\sin\alpha = -\sin\varphi = \frac{-mg}{\sqrt{(mg)^2 + (Eq)^2}} \Rightarrow \sqrt{(mg)^2 + Eq^2}\left(\sin\left(\alpha + a\sin\frac{mg}{\sqrt{\ldots}}\right)\right)$$

$$\cos\alpha = \cos\varphi = \frac{Eq}{\sqrt{(mg)^2 + Eq^2}}$$

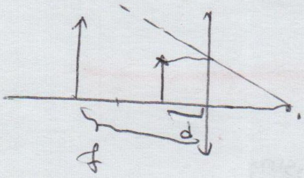
Черновик.

4.6.2. $\Gamma = \frac{|f|}{d}$ * $\Rightarrow$ т.к. есть на экране из-е действительное

① $\Gamma = \frac{f}{d} \Rightarrow d \cdot 3 = f \Rightarrow \frac{1}{d} + \frac{1}{3d} = \frac{4}{3d} = D \Rightarrow$ $\boxed{d = \frac{4}{3D}}$ *; $f = \frac{4}{D}$ * $\qquad \boxed{F = \frac{1}{6}\text{ м}}$

расстояние: $\frac{4}{D} + \frac{4}{3D} = \frac{16}{3D} = \frac{16}{18}$ м. *

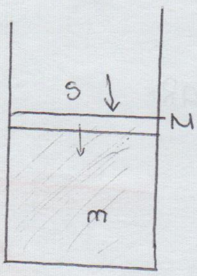
② $\Gamma = \frac{-f}{d} = -3d = f \Rightarrow \frac{1}{d} - \frac{1}{3d} = \frac{2}{3d} = D \Rightarrow d = \frac{2}{3D}$; $|f| = \frac{2}{D}$

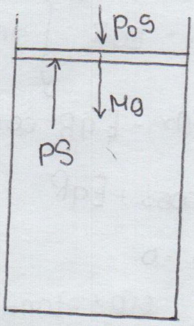


$l = |f| - d$

$\frac{2}{D} - \frac{2}{3D} = \frac{4}{3D} = \frac{4}{18}$ м

2.9.2





$pS = p_0S + Mg$

$m = \rho_B \cdot S h_0 =$

$p_H \cdot V = \nu RT$

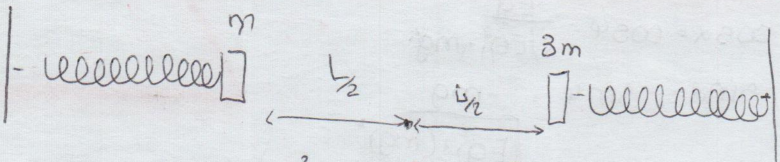
~~ρ_H~~

$p_H \cdot \frac{m}{\rho} = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p\mu = \rho RT$

$p\mu = \rho RT$

$pV = \nu RT \Rightarrow V = S(h_0 + h) = \frac{\nu RT}{p}$

1.2.2



$\frac{3k \cdot x_1^2(t)}{2} + \frac{m\dot{x}_1^2(t)}{2} = const$

$3kx_1(t)\dot{x}_1(t) + m\dot{x}_1(t) \cdot \ddot{x}_1(t) = 0$

$\frac{3kx_1(t)}{m} + \ddot{x}_1(t) = 0$

$\frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi\sqrt{m}}{\sqrt{3k}}$

$E_0 = \frac{k}{2}\frac{L^2}{4} + \frac{3k}{2}\frac{L^2}{4} = \frac{4kL^2}{2 \cdot 4} = \frac{kL^2}{2}$

$x_0 \cdot \cos(\omega t) = -\frac{L}{2} \cdot \cos(\omega_1 t) = +\frac{L}{2} \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)$

$-\cos(\omega_1 t) = \cos(\omega_2 t)$

$-\cos\left(\frac{2\pi\sqrt{m}}{\sqrt{3k}} \cdot t\right) = \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{3m}}{\sqrt{k}} \cdot t\right)$

$0 = \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{3m}}{\sqrt{k}} \cdot t\right) + \cos\left(\frac{2\pi\sqrt{m}}{\sqrt{3k}} t\right) = \cos$

$= 2 \cdot \left(\cos\left(\frac{\pi\sqrt{3m} \cdot t}{\sqrt{k}} + \frac{\pi\sqrt{m}}{\sqrt{3k}} t\right)\right)(\cos \ldots)$

$-\cos\left(\frac{\omega_0}{\sqrt{3}} t\right) = \cos(\sqrt{3}\omega_0 t)$

$-\cos\left(\frac{\omega_0 t}{\sqrt{3}}\right) = \cos\left(\frac{3\omega_0 t}{\sqrt{3}}\right)$

$2 \cdot \cos\left(\frac{2\omega_0 t}{\sqrt{3}}\right) \cdot \cos\left(\frac{\omega_0 t}{\sqrt{3}}\right) =$

$\frac{\omega_0 t}{\sqrt{3}} = \frac{\pi}{2}$

$t = \sqrt{3} \cdot \frac{\pi}{2\omega_0} = \frac{\sqrt{3}\pi \cdot \sqrt{k}}{2\pi\sqrt{m}} = \frac{\sqrt{3k}}{2\sqrt{m}}$

$t = \frac{\sqrt{3k}}{4\sqrt{m}}$