0233091950002

23-30-91-95
(5.3)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников „Ломоносов"
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Комова Тимофея Александровича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

выход: 14:52
вход 14:55

Дата

«9» февраля 2024 года

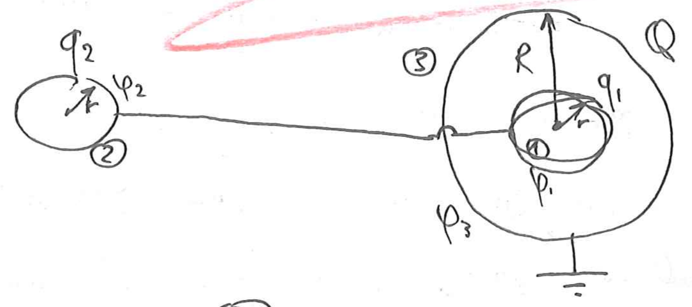
Подпись участника

23-30-91-95 (5.3)

Чистовик

3.10.3

20



Назовём сферич. проводящ. оболочку — (3)

сферу внутри (3) — (1)

сферу на удалении — (2)

Заметим, что (3) заземлена.

$\Rightarrow \varphi_3 = 0: \frac{kq_1}{R} + \frac{kQ}{R} \Rightarrow Q = -q_1$ +

$$\varphi_1 = \frac{kq_1}{r} + \frac{kQ}{R} = kq_1 \frac{R-r}{R\cdot r}$$

[Из-за удалённости (2), пренебрежём её вкладом в ~~создание~~ потенциал на поверхности (1) и (3). Аналогично, не будем учитывать (1) и (3) при подсчёте φ_2]

Заметим, что (1) и (2) соединены тонкой проволокой

$\Rightarrow \varphi_1 = \varphi_2$

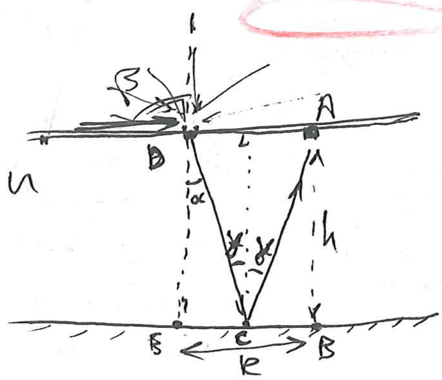
$$\varphi_2 = \frac{kq_2}{r}$$

$$\Rightarrow \frac{kq_2}{\cancel{r}} = kq_1 \frac{R-r}{R\cdot \cancel{r}}$$ +

$$q_2 = q_1 \frac{(R-r)}{R} = 6\cdot 10^{-10}\,\text{Кл} \cdot \frac{1\,\text{см}}{3\,\text{см}} = \underline{2\cdot 10^{-10}\,\text{Кл}}$$

Ответ: $2\cdot 10^{-10}$ Кл. [$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - потенциалы на поверхностях (1), (2), (3) соотв.]

4.10.3.



Т.к. свет рассеянный и он попадает во отверстие под всевозможными углами.

$\Rightarrow$ По закону Снелла:

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

Нам нужно найти крайний случай (т.е. луч, который попадает ровно в т. A)

$\Rightarrow$ У такого луча $\sin\alpha$ — max

$\Rightarrow$ и $\sin\beta$ — max, а это $\underline{1}$, $(\beta = \frac{\pi}{2})$

$\Rightarrow$ Будем рассматривать луч, который попадает в отверстие — почти горизонтально.

	1	2	3	4	5	Σ
	12	20	20	20	20	92

Потапин; Потапчик; Хомутов; Потапов; Дерендяев

Чистовик Чистовик

3.10.3 (Продолжение)

$\Rightarrow \sin\alpha \cdot n = 1$

Заметим, что этот луч попадает на зеркало под углом γ к вертикали.

$\Rightarrow \gamma = \alpha$ (как верт. углы при $\parallel$ пр.)

По закону отражения: угол падения = угол отраж. = $\gamma = \alpha$

$\Rightarrow$ Образовались равные $\triangle EDC = \triangle BAC$ (пр/уг с рав. высотами $DE = AB$ и рав. остр. углами)

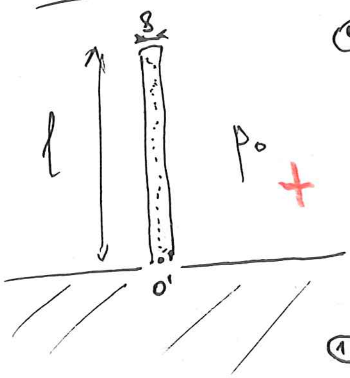
$\Rightarrow EC = EB = \frac{R}{2}$

$$\Rightarrow \sin\alpha = \frac{EC}{DC} = \frac{R/2}{\sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + h^2}}$$

$$n = \frac{1}{\sin\alpha} = \frac{\sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + h^2}}{R/2} = \sqrt{\frac{4^2 + 4^2}{4^2}} = \sqrt{2} \approx 1,4$$

Ответ: 1,4.

2.5.3



(0) Заметим, что по закону Дальтона

$$p_{внутри} = p_в + p_{н.п.}$$

Запишем рав. давл. в т. O':

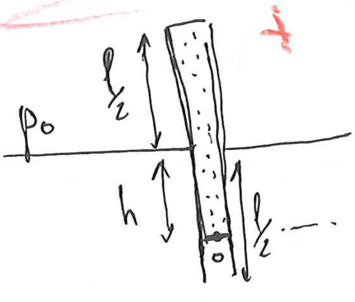
$$p_0 = p_в + p_{н.п.}$$

(1) Что происходит с газом (воздухом) и н.п. (насыщ. пар - здесь и далее)?

Будем считать воздух — идеал. газом

$\Rightarrow pV = const$ ($T = const$ по усл.)

Т.к. пар уже изначально был насыщенным $\Rightarrow$ при погруж. его часть сконденсируется, а оставшаяся часть будет иметь $p = p_{н.п.}$



$$p_в V_в = p_в' V_в'$$

$$p_в \cdot l \cdot S = p_в' \cdot \left(\frac{l}{2} + h\right) \cdot S$$

$$p_в' = p_в \frac{l}{\frac{l}{2} + h} = (p_0 - p_{н.п.}) \frac{l}{\frac{l}{2} + h}$$

23-30-91-95 (5.3)

Чистовик

Чистовик

2.5.3 (Продолжение)

(2) Запишем равенство давл. в т. O:

$$\rho g h + p_0 = p_B' + p_{н.п.} \quad +$$

$$\rho g h = (p_0 - p_{н.п.})\left(\frac{l}{\frac{l}{2}+h}\right) - (p_0 - p_{н.п.}) \quad \Big|:(p_0 - p_{н.п.})$$

Пусть

$$\underbrace{\frac{\rho g h}{p_0 - p_{н.п.}}}_{\alpha} = \frac{l - \frac{l}{2} - h}{\frac{l}{2}+h} = \frac{\frac{l}{2}+h-2h}{\frac{l}{2}+h} = 1 - \frac{2h}{\frac{l}{2}+h} \quad +$$

$$\frac{2h}{\frac{l}{2}+h} = 1-\alpha \Rightarrow \frac{2h}{1-\alpha} = \frac{l}{2}+h$$

$$\underline{l} = \frac{4h}{1-\alpha} - 2h = 2h\left(\frac{2}{1-\alpha} - 1\right) = 2h\left(\frac{2-1+\alpha}{1-\alpha}\right) =$$

$$\underline{= 2h\,\frac{1+\alpha}{1-\alpha}}$$

$$\underline{\alpha} = \frac{\rho g h}{p_0 - p_{н.п.}} = \frac{\cancel{10^3}\cdot 10\cdot 0{,}45}{\cancel{10^3}(100-14{,}5)} = \frac{4{,}5}{85{,}5} = \frac{9}{171} = \underline{\frac{1}{19}}$$

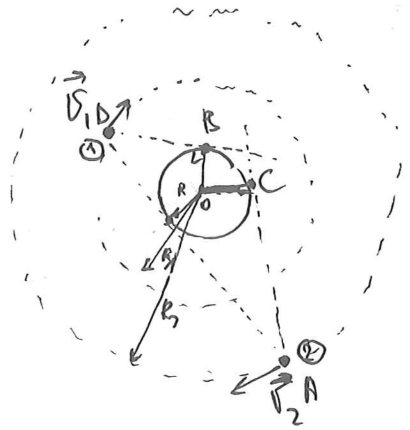
$$\begin{array}{r|l} -171 & 9 \\ \underline{9} & 19 \\ -81 & \\ \underline{81} & \\ 0 & \end{array}$$

$$\Rightarrow \underline{l} = 2\cdot 0{,}45\cdot \frac{1+\frac{1}{19}}{1-\frac{1}{19}}\,м = 0{,}9\cdot\frac{20}{\cancel{19}}\cdot\frac{\cancel{19}}{18}\,м = \frac{18}{18}\,м = \underline{1\,м}$$

Ответ: 1 м. +

Чистовик

1.4.3.



0) Запишем 2 Закон Ньютона для каждого из спутников

$$m_2 a_{2ц.с.} = F_{тяг} = \frac{m_2 M}{R_2^2} G$$

$$a_{2ц.с.} = \frac{v_2^2}{R_2}$$

$$v_2^2 = \frac{M}{R_2} G$$

Аналогично

$$v_1^2 = \frac{M}{R_1} G$$

т.к. $R_2 > R_1$

$\Rightarrow v_2 < v_1$

1) Что будет происходить?

1 спутник по меньшей орбите будет периодич. „прятаться" за Землей от 2 спутника

Перед тем, как связь прервётся — лазер. луч или прямая соединяющая спутники коснётся Земли

(лазерный луч — прямой) преломл. пренебреж.

Связь восстановится, когда 2е другие касат. от спутников к Земле образуют прямую

$\Rightarrow$ Нам нужно найти это время — t.

2) Обозначим точки касания — т. B и т. C — как на рисунке

Заметим, что при любом смещ. 1 или 2 (т.е. точек D и A соотв.)

т. B и т. C — сместятся на тот же угол

т. к. ΔDOB, ΔAOC будут вращаться отн-но т. O — центр вращ. $\Rightarrow$ DB и AC — всегда постоянны

23-30-91-95 (5.3)

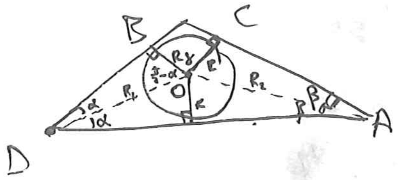
Чистовик

1.4.3 (Продолжение)

$\Rightarrow \omega_D = \omega_B = \omega_1 = \upsilon_1 R_1 = \sqrt{\frac{MG}{R_1^3}}$ +

$\omega_A = \omega_C = \omega_2 = \upsilon_2 R_2 = \sqrt{\frac{MG}{R_2^3}}$ +

③ Изначально ситуация следующая:



Т.к. α и β малы $\Rightarrow \sin\alpha = \alpha$, $\sin\beta = \beta$

$\sin\alpha = \frac{R}{R_1} = \alpha$

$\sin\beta = \frac{R}{R_2} = \beta$

$\gamma = 2\pi - 2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) - 2\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha+\beta)$

$\Rightarrow$ 

Связь наладится, когда т. B совместиться с т. C (это снова будет одна касательная)

Т.к. $\omega_C = const$, $\omega_B = const$

$\Rightarrow \omega_{отн.} = \omega_B - \omega_C$ (в СО т. C) – т.е. это угл. ск-ть вдогонку

$\Rightarrow \gamma = \tau\omega_{отн.}$

$$\boxed{\tau} = \frac{\gamma}{\omega_{отн.}} = \frac{2(\alpha+\beta)}{\omega_B - \omega_C} = \frac{2R\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)}{\sqrt{MG}\cdot\sqrt{\frac{1}{R_1^3} - \frac{1}{R_2^3}}} = \frac{2R\cdot(R_1+R_2)}{R_1R_2}\cdot\sqrt{\frac{R_1^3R_2^3}{(R_2^3-R_1^3)\cdot MG}} =$$

$$= \boxed{2R(R_1+R_2)\cdot\sqrt{\frac{R_1R_2}{(R_2^3-R_1^3)\cdot MG}}} = 2\cdot 6{,}4\cdot 10^6\cdot 164\cdot 10^6\cdot\sqrt{\frac{64\cdot 10^6\cdot 100\cdot 10^6}{(\cancel{100}^3 - \cancel{64}^3)\cdot 10^{18}\cdot 6\cdot 10^{24}\cdot 6{,}7\cdot 10^{-11}}}\ c =$$

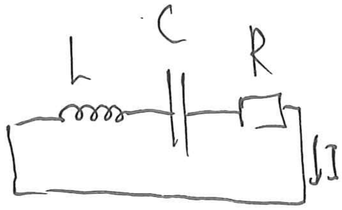
$$= 12{,}8\cdot 164\cdot 10^{12}\cdot\sqrt{\frac{\cancel{640}\cdot 10^{13}\cdot 10^{11}}{\cancel{36}\cdot(10000 - 6400 + 4096)\cdot \cancel{6}\cdot 6{,}7\cdot 10^{18}\cdot 10^{24}}}\cdot c =$$

$$= 12{,}8\cdot 164\cdot 10^{12}\cdot 10^{-8}\cdot\sqrt{\frac{\cancel{80}}{2\cancel{7}\cdot \cancel{2}0496\cdot 6{,}7}}\ c = 12{,}8\cdot 164\cdot 10^4\cdot\sqrt{\frac{\cancel{8}}{\cancel{27}\cdot 20496\cdot 67}}\ c$$

Ответ: $12{,}8\cdot 164\cdot 10^4\cdot\sqrt{\frac{8}{27\cdot 20496\cdot 67}}\ c$ – ? посчитайте, ПОЖАЛУЙСТА, сами (на калькуляторе)

Чистовик

5. 4. 3



⓪ Заметим, что

$$\dot{I}L + U_c + IR = 0$$

Когда $I = I_{max}$

$\dot{I} = 0$

$\Rightarrow$ в $t = 0$:

$|U_c| = I_{max}R$

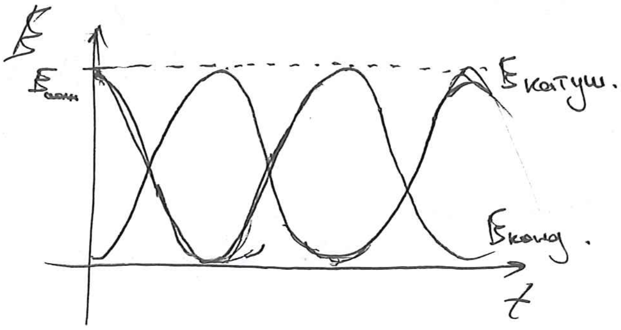
$\Rightarrow \quad I_{max} = \frac{|U_c|}{R}$

① Что такое Q?

$$\delta Q = R \cdot I^2 dt \quad \Rightarrow \quad Q = R\int_0^T I^2 dt$$

② Где мы видели $I^2 dt$?

А как же энергия катушки?



Т.к. $Q \ll E_{полн.}$

$\Rightarrow$ Будем считать $E = const$

Из симметрии: $\int_0^T E_{конд}\, dt = \int_0^T E_{кат.}\, dt$

(Или — площади под графиками энергий $E_{конд.}$ и $E_{кат.}$ за период (T) равны)

В момент: $E_{конд} + E_{кат} = E_{полн.}$

Чистовик

5.4.3. (Продол.)

$$\Rightarrow \int_0^T E_{конд.}\,dt + \int_0^T E_{кат}\,dt = \int_0^T E_{полн}\,dt = E_{полн.}\cdot T =$$

$$= 2\cdot\int_0^T E_{кат.}\,dt = 2\int_0^T \frac{LI^2}{2}\cdot dt =$$

$$E_{кат.} = \frac{LI^2}{2} \qquad = L\cdot\int_0^T I^2 dt$$

$$\Rightarrow \int_0^T I^2 dt = \frac{E_{полн} T}{L}$$

③ Т.к. колебания — слабо затухающ., то будем считать:

$T = 2\pi\sqrt{LC}$ - как у обыч. колеб. контура

$$E_{полн.} = \frac{L I_{max}^2}{2}$$

$$\Rightarrow Q = R\int_0^T I^2 dt = R\cdot\frac{E_{полн.}\cdot T}{L} = R\cdot\frac{\cancel{L} I_{max}^2}{\cancel{2}\cancel{L}}\cdot\cancel{2}\pi\sqrt{LC}$$

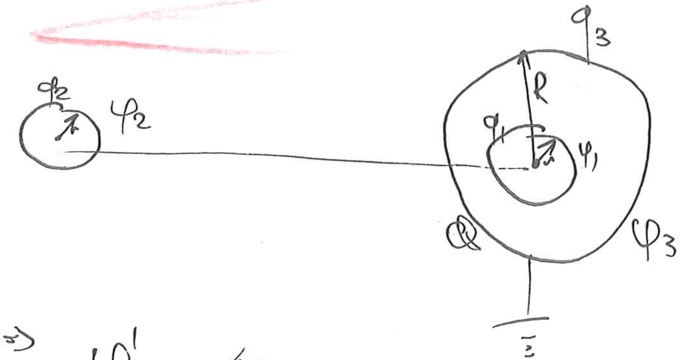
$$\sqrt{L} = \frac{Q}{R I_{max}^2\cdot\pi\sqrt{C}} = \frac{Q}{R\cdot\frac{U_c^2}{R^2}\pi\sqrt{C}} = \frac{Q\cdot R}{U_c^2\cdot\pi\sqrt{C}}$$

$$\underline{L} = \frac{Q^2}{R^2\cdot\left(\frac{U_c^4}{R^4}\right)\pi^2 C} = \left(\frac{Q\cdot R}{U_c^2\cdot\pi}\right)^2\frac{1}{C} = \left(\frac{\overset{10}{\cancel{31,4}}\cdot 10^{-3}\cdot 0,4}{1^2\cdot\cancel{3,14}}\right)^2\cdot\frac{1}{40\cdot 10^{-6}}\,Гн =$$

$$= (4\cdot 10^{-3})^2\,\frac{1}{40\cdot 10^{-6}}\,Гн = \frac{\overset{4}{\cancel{16}}}{\underset{10}{\cancel{40}}}\,Гн = \underline{0,4\,Гн}$$

Ответ: 0,4 Гн.

Черновик



$$\Rightarrow \quad \varphi_3' = \cancel{\varphi_3} \frac{q_1 k}{R} + \frac{Qk}{R} = 0 \Rightarrow Q = -q_1$$

$$\varphi_2 = \varphi_2' = \varphi_1'$$

$$\varphi_1' = \frac{Qk}{R} + \frac{q_1 k}{r} =$$

$$= q_1 k \left(\frac{-1}{R} + \frac{1}{r}\right) = q_1 k \cdot \left(\frac{R-r}{Rr}\right)$$

$$\varphi_2 = \frac{q_2 k}{r} = q_1 k \frac{(R-r)}{Rr}$$

$$85{,}5 = \frac{171}{2} = \frac{9 \cdot 19}{2}$$

$$\boxed{q_2 = q_1 \frac{R-r}{R}}$$

$$\rho g h = 10^3 \cdot$$

$$p_0 - p_{н.п} = 10^3 \cdot 88{,}8$$

$$\cancel{\frac{9}{1} \cdot 10^6 = \left(100 - \frac{19 \cdot 9}{2} \cdot \frac{5}{100}\right)} = 100 + 4{,}5$$

$$\cancel{(100 - \frac{19 \cdot 9}{2} + \frac{100}{100} \cdot \frac{19 \cdot 9}{2}) \cdot 10^3} = 104{,}5$$

$$\begin{array}{r} 2222 \\ \times\ 855 \\ 45 \\ \hline 4275 \\ +\ 3420 \\ \hline 38475 \end{array}$$

$$\cancel{\times\ 885} \quad \cancel{88}$$

$$p_B' = \frac{98}{100} \cdot p_B = \frac{98}{100} \cdot \left(10^5 - 14{,}5 \cdot 10^3\right) \text{Па} =$$

$$= \frac{855}{100} \cdot 10^3 (88{,}8) \text{Па} =$$

$$= 45 \cdot 855 \text{ Па} \cancel{= 45 \cdot 10 \cdot 10^3}$$

$$\begin{array}{r} 2444 \\ \times\ 855 \\ 98 \\ \hline 4295 \\ +\ 7695 \\ \hline 81245 \\ 14500 \end{array}$$

$$45 \cdot 855 + 14800 = \cancel{84}\ 4800 + 100000$$

$$0{,}8 - 0{,}48$$

$$\boxed{0{,}08}$$

$$\frac{\rho g h}{p_0 - p_{н.п}} = \frac{4{,}5 \cdot 2}{9 \cdot 19} \cancel{25} \frac{1}{19} = \frac{\frac{l}{2} - h}{\frac{l}{2} + h}$$

$$0{,}5 + 0{,}48$$

$$\boxed{0{,}98}$$

Черновик

$\sin^2 \omega t \, dt$

$\cancel{\dot{x} = \frac{dx}{dt}}$

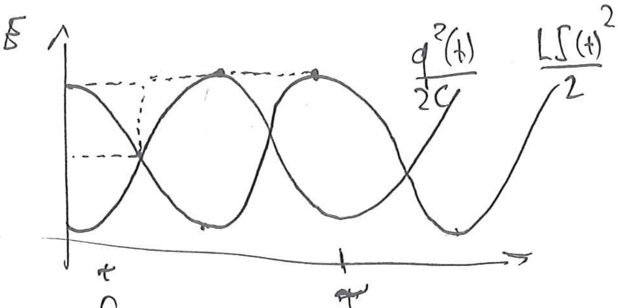
$\frac{d(\cos \omega x)}{dx} = -\omega \sin \omega x$

$\frac{dx}{dt} = 1$

$2 E_{(\text{полн})} L I(t)^2$

$\frac{\sin^2 \omega x \, d(\cos \omega x)}{-\omega \sin \omega x}$

$\int \sin^2 \omega x \, dx$



$\int_0^\tau I^2 dt = \frac{E_{\text{полн}}}{L}$

$\int_0^\tau \frac{LI(t)^2}{2} dt = \frac{E_{\text{полн}}}{2} \cdot \tau$

$\int_0^\tau I(t)^2 dt = \frac{E_{\text{полн}} \cdot \tau}{L}$

$Q = \int I^2(t) dt \cdot R$

$\frac{q}{C} + L\ddot{q} = 0$

$\ddot{q} + \frac{q}{LC} = 0$

$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$\Rightarrow T = 2\pi\sqrt{LC}$

в максимуме

$$Q = R \cdot \frac{E_{\text{полн}} \cdot T}{L} = R \cdot \frac{I^2 L}{2} \cdot \frac{T}{L} = R I^2 \cdot \frac{2\pi\sqrt{LC}}{2} =$$

$$= R U_c^2 \cdot \pi\sqrt{LC}$$

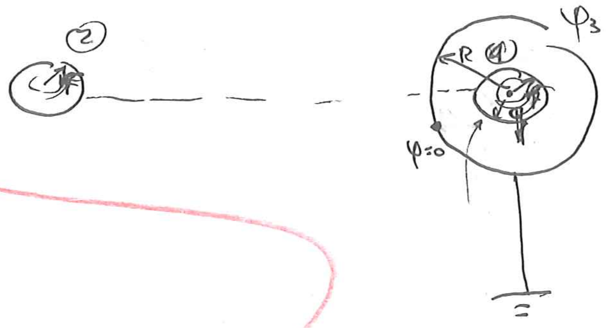
$$L = \left(\frac{Q}{RU_c^2 \cdot \pi}\right)^2 \frac{1}{C} = \left(\frac{3{,}14 \cdot 10^{-3}}{0{,}4 \cdot 3{,}14}\right)^2 \cdot \frac{1}{4\,\text{мкФ}} = \frac{10^{-4}}{16 \cdot 10^{-2}} \cdot \frac{1}{4 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= \frac{1000}{4 \cdot 16} = \frac{2^3 \cdot 5^3}{2^6} = \left(\frac{5}{2}\right)^3 = (2{,}5)^3 = \cancel{15{,}625\ \text{Гн} = 15{,}6\ \text{Гн}}$$

$$\begin{array}{r} 6{,}25 \\ \times\ 2{,}5 \\ \hline 3125 \\ 1250\ \ \\ \hline 15{,}625 \end{array}$$

Черновик

(3)



Изначально

$\varphi_1 = \frac{kq}{r}$

$\varphi_2 = \frac{kq}{r}$

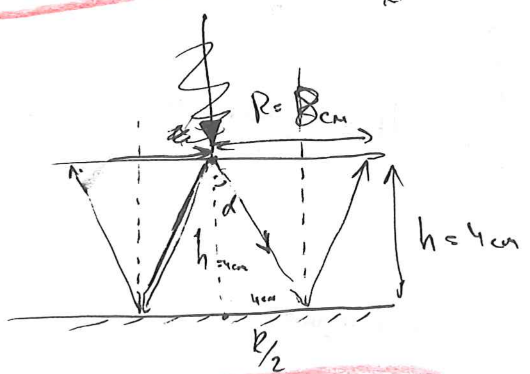
$\varphi = \varphi_3 + \varphi_1 = 0$

$\varphi_3 = -\varphi_1 = \frac{kQ}{R} = -\frac{kq}{r}$

$\Rightarrow Q = \frac{R}{r} q$

$\frac{q^2}{2C} = \frac{U^2 C}{2}$

(4)



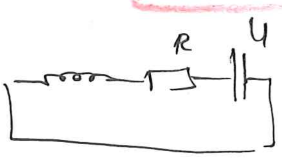
$\sin\alpha \cdot n = 1$

$\sin\alpha = \frac{R/2}{\sqrt{h^2 + (\frac{R}{2})^2}} = \frac{4}{4\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\alpha = 45°$

$\Rightarrow n = \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}$

(5)



~~$W_C + W_L = W_C' + W_L' + Q$~~ нужно

~~$\frac{U_c^2 C}{2} + \frac{J^2 L}{2} =$~~

$LJ' + RJ + \frac{q}{C} = 0$ 0 т.к. малое; U_c

$J = \frac{U_c}{R}$

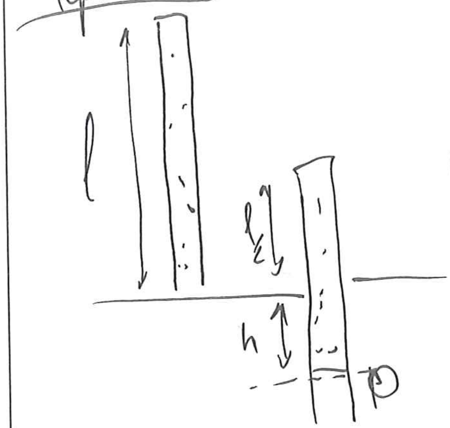
$\cancel{\frac{dq}{dt}}$ $\Rightarrow q = q_0 \cdot \cos\omega t$

$J = J_0 \cdot \sin\omega t$

$\delta Q = RJ^2 dt = \cancel{RJ} \cdot dq =$

$= R \cdot J_0^2 \cdot \sin^2\omega t \cdot dt$

Черновик



$p_A = p_в + p_{н.п.}$

$p_в V = \nu RT$

$p_в V = const$

$p_в V = p_в' V'$

$p_в l = \left(\frac{l}{2} + h\right) p_в' \qquad p_в' = p_в \frac{l}{\left(\frac{l}{2}+h\right)} =$

$= (p_A - p_{н.п.}) \frac{l}{\frac{l}{2}+h}$

$\cancel{D}$:

$\rho_в g h + p_A = p_{н.п.} + p_в'$

$\rho_в g h + p_A = p_{н.п.} + (p_A - p_{н.п.}) \frac{l}{\frac{l}{2}+h}$

$\rho_в g h = (p_A - p_{н.п.}) \left(\frac{l - \frac{l}{2} - h}{\frac{l}{2}+h} \right)$

$\alpha = \frac{\rho_в g h}{p_A - p_{н.п.}} = \frac{\frac{l}{2}+h}{\frac{l}{2}-h} = \frac{\frac{l}{2}+h-2h}{\frac{l}{2}+h} = 1 - \frac{2h}{\frac{l}{2}+h}$

$\alpha - 1 = -\frac{2h}{\frac{l}{2}+h} \qquad \frac{l}{2}+h = -\frac{2h}{\alpha-1}$

$l = -2h - \frac{4h}{\alpha-1} = -2 \cdot 0{,}45 + \frac{19 \cdot 4 \cdot 0{,}45}{18} =$

$\alpha = \frac{10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}45}{(100 - 14{,}5) 10^3} = \frac{10 \cdot 0{,}9}{171} = \frac{9}{171} = \frac{1}{19} \qquad = 0{,}9 \left(\frac{19}{9} - 1 \right) =$

85,5

200 − 29

171

171

$\frac{1}{19} - 1 = \frac{-19+1}{19} = -\frac{18}{19}$

$= \frac{0{,}9 \cdot 10}{9} = \boxed{1\text{ м}}$

190 = 19

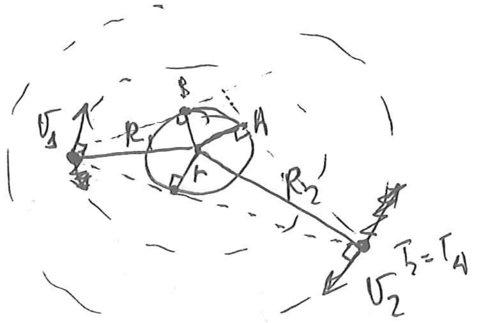
$\omega R = v \qquad \frac{v^2}{R} = \frac{GM}{R^2}$

$v^2 = \frac{GM}{R}$

$\omega^2 R^2 = \frac{GM}{R}$

$\omega = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$

Черновик



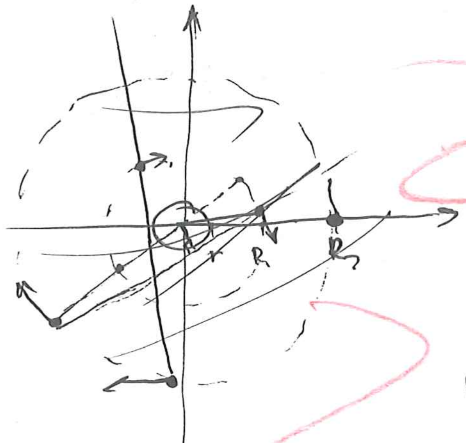
$ma = \frac{m v^2}{R} = F_т = \frac{Mm}{R^2} G$

$v^2 = \frac{M}{R} \cdot G$

$\Rightarrow R_2 > R_1$ $\quad \omega R = v$

$\Rightarrow v_2 < v_1$ $\quad \Rightarrow \omega = \frac{v}{R}$

$\omega^2 = \frac{MG}{R^3}$



$x_2 = R_2 \cdot \cos(\omega t)$

$y_2 = R_2 \cdot \sin(\omega t)$

$\sqrt{кг \cdot м \cdot м^2}$

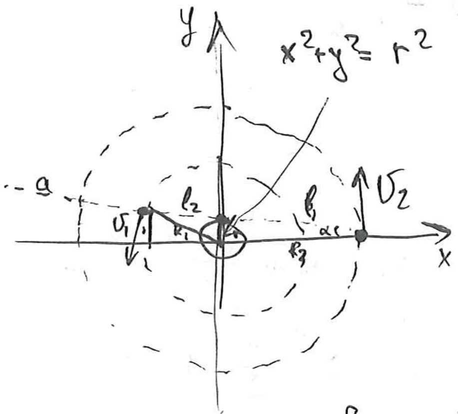
$\begin{array}{r} 2048 \\ + 2048 \\ \hline 4096 \end{array}$

В $t = 0$:

$\left. \begin{array}{l} x_2 = R_2 \\ y_2 = 0 \end{array} \right\}$ a: $y = kx + b$

$0 = k \cdot R_2 + b$

$r = b \quad k = -\frac{r}{R_2}$



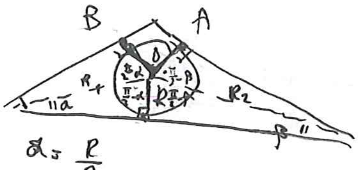
$l_1 = \sqrt{R_2^2 + r^2}$

$l_2 = \sqrt{R_1^2 - r}$

$\Rightarrow y = -\frac{r}{R_2} x + r$

$y^2 + x^2 = R_1^2$

$\left(-\frac{r}{R_2}\right)^2 x^2 - \frac{2r^2}{R_2} x + r^2 + x^2 - R_1^2 = 0$



$x_{1,2} = \frac{\frac{2r^3}{R_2} \pm \sqrt{\frac{4r^4}{R_2^4} - 4(r^2 - R_1^2)\left(\left(-\frac{r}{R_2}\right)^2 + 1\right)}}{2\left(1 - \left(\frac{r}{R_2}\right)^2\right)}$

$\omega_A = \omega_2$

$\omega_B = \omega_1$

$\alpha = \frac{R}{R_1}$

$\beta = \frac{R}{R_2}$

$\omega_0 = \omega_B - \omega_A$

$\gamma = 2\alpha + 2\beta = 2\left(\frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right)$

$\sqrt{\frac{кг \cdot м \cdot кг \cdot м \cdot м^2}{c^2 \, кг^2}}$

$\Rightarrow t = \frac{\gamma}{\omega_0} = \frac{2\left(\frac{R}{R_1} + \frac{R}{R_2}\right)}{\sqrt{\frac{MG}{R_1^3} - \frac{MG}{R_2^3}}} = \frac{2R}{\sqrt{MG}} \frac{(R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2} \cdot \sqrt{\frac{R_1^3 \cdot R_2^3}{R_2^3 - R_1^3}} = \frac{2R(R_1 + R_2)}{\sqrt{MG}} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_2^3 - R_1^3}} =$

$= \frac{6{,}4 \cdot 10^3 \cdot 16{,}4 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{\sqrt{6 \cdot 10^{24} \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-11}}} \cdot \sqrt{\frac{6{,}4 \cdot 10^4 \cdot 10^5 \cdot 10^6}{3{,}6 \cdot (6{,}4^2 + 6{,}4 + 10^2)}}$