0 697424 140001

69-74-24-14

(5.5)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 3

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Лебедевой Алёны Сергеевны
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

выход 14:16 ~~Кон~~
вход 14:22 ~~Кон~~

Дата

«9» февраля 2024 года

Подпись участника

69-74-24-14 (5.5)

5.4.3

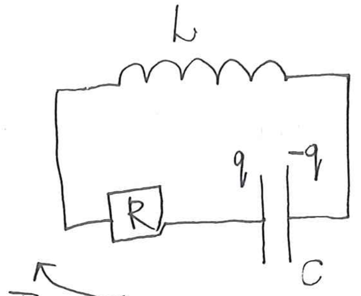
Черновик

Дано:

$R = 0,4$ Ом

$C = 40$ мкФ

$U = 1$ В



I - сила тока

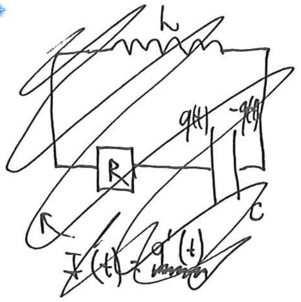
I макс $\Rightarrow I' = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_i = -LI' = 0$, где $\mathcal{E}_i$ - ЭДС индукции (напряжение на катушке)

$\Rightarrow U = IR = \frac{q}{c}$

$U = \frac{q}{c}$, где q - заряд на конденсаторе.

Ом $= \frac{кл^2}{c} \cdot$ Ом

~~II правило Кирхгофа в момент времени t~~



$\cancel{U - I(t)R + \mathcal{E}_i = 0}$

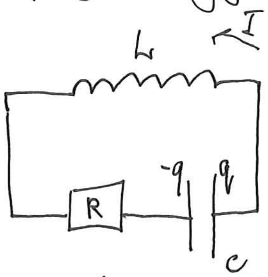
$q''(t) + \frac{1}{LC} q(t) = 0$

$\cancel{\frac{q(t)}{C} - q'(t)R} - L q''(t) = 0$

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

в мом. врем. t: $I = q'(t)$ $dQ = (q')^2 R\,dt = q' \cdot dq\,R$

Через следующие полпериода: $Q = R\int_{-q}^{q} q'\,dq = 2Rq$



q не изменится, так как потери энергии много меньше энергии в контуре

$dQ = (I)^2 dt\,R = \left(\frac{dq}{dt}\right)^2 dt\,R = I\,dq\,R$

$Q = R\int I^2 dt = R\int (q')^2 dt =$

1	2	3	4	5
18	20	20	20	9

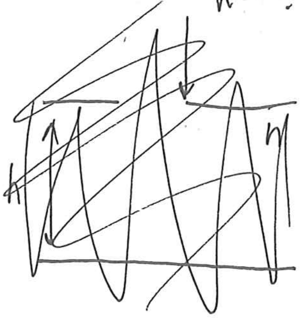
87

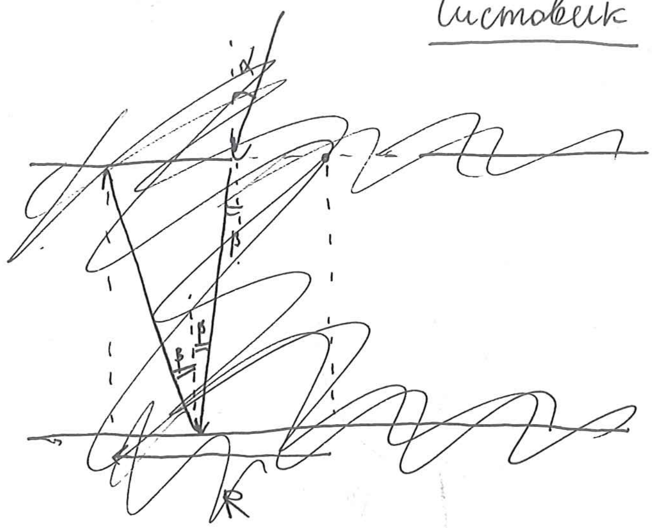
4.10.3 Дано: Чистовик

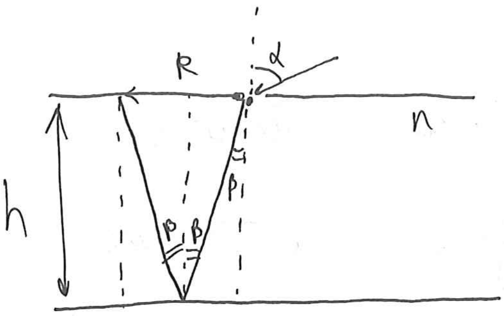
$h = 4$ см

$R = 8$ см

$n - ?$





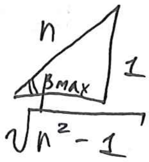


α – угол входящего в отверстие луча света (к нормали)

β – угол преломившегося в воде луча (к нормали)

$$R_{max} \Rightarrow \beta_{max} \Rightarrow \alpha_{max} = \frac{\pi}{2}$$

$$\sin\alpha = n\sin\beta \Rightarrow \sin\beta_{max} = \frac{1}{n}$$



$$tg\,\beta_{max} = \frac{1}{\sqrt{n^2-1}}$$

$$R = 2h\,tg\,\beta = \frac{2h}{\sqrt{n^2-1}}$$

$$n^2 - 1 = \frac{4h^2}{R^2} \qquad n = \sqrt{\frac{4h^2}{R^2} + 1} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16\text{см}^2}{64\text{см}^2} + 1} = \sqrt{2}$$

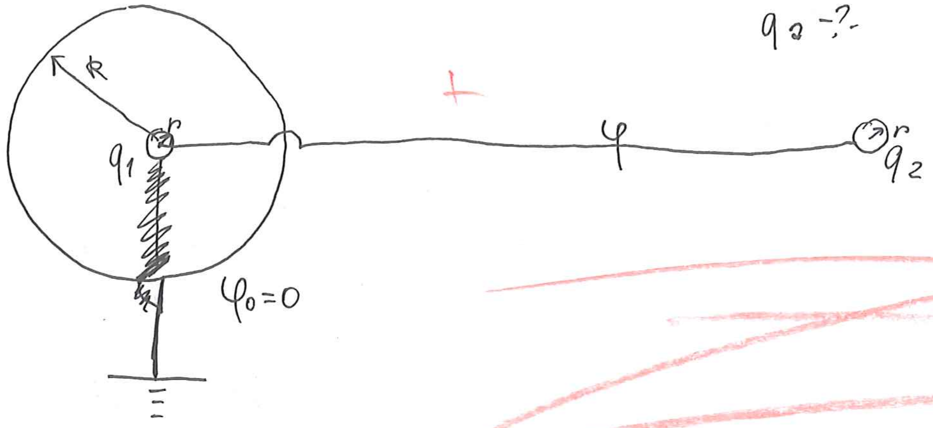
Ответ: $\sqrt{2}$

3.10.3

Чистовик

Дано:
$q_1 = 6\cdot10^{-10}$ Кл
$r = 2$ см
$R = 3$ см
q_2 - ?

20



φ_0 – потенциал заземлённой оболочки

φ – потенциал шаров (одинаковый, т.к. они соединены проволкой, но в установившемся режиме заряд между ними не перетекает

φ_1, φ_2 – потенциалы шаров 1 и 2, равные φ

~~[illegible]~~ На внутренней поверхности оболочки заряд $-q_1$, т.к. поля через ~~[illegible]~~ гаусову поверхность внутри поверхности, проводящей оболочки нет, а на внешней пов-ти заряда нет, т.к. $\varphi_0 = 0 = k\frac{q_{внеш.}}{R}$

$$\varphi = \varphi_1 = k\frac{q_1}{r} + \frac{k(-q_1)}{R} = \varphi_2 = k\frac{q_2}{r}$$

$$q_2 = q_1\left(1 - \frac{r}{R}\right) = 6\cdot10^{-10}\,Кл\left(1 - \frac{2\,см}{3\,см}\right) = 2\cdot10^{-10}\,Кл$$

Ответ: $2\cdot10^{-10}$ Кл

69-74-24-14 (5.5)

2.5.3

Чистовик

Дано:

$h = 0{,}45\,м$

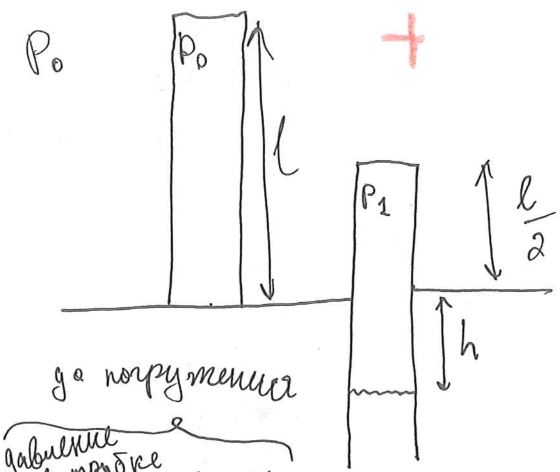
$P_{нас} = 14{,}5\,кПа = 14{,}5\cdot10^3\,Па$

$P_0 = 10^5\,Па$

$g = 10\,м/с^2$

$\rho_0 = 10^3\,кг/м^3$

$l - ?$



давление в трубке; давление воздуха в трубке

$$P_0 = P_{в0} + P_{нас}$$

$$P_1 = P_0 + \rho_0 g h = P_{в1} + P_{нас}$$

давление воздуха в трубке после погружения

S – площадь попереч. сечения трубки

ν – кол-во вещества воздуха в трубке

$$P_{в0} S l = \nu R T = (P_0 - P_{нас}) S l$$

$$P_{в1} S\cdot\left(\frac{l}{2}+h\right) = \nu R T = (P_0 + \rho_0 g h - P_{нас}) S\left(\frac{l}{2}+h\right)$$

$$P_0 l - P_{нас} l = P_0\cdot\frac{l}{2} + P_0 h + \rho g h\cdot\frac{l}{2} + \rho g h^2 - P_{нас}\frac{l}{2} - P_{нас} h$$

$$l\left(P_0 - P_{нас} - \frac{P_0}{2} - \frac{\rho g h}{2} + \frac{P_{нас}}{2}\right) = h\left(P_0 + \rho g h - P_{нас}\right)$$

$$l\left(\frac{P_0}{2} - \frac{P_{нас}}{2} - \frac{\rho g h}{2}\right) = h\left(P_0 + \rho_0 g h - P_{нас}\right) \quad (:10^3)$$

$$l = \frac{2h(P_0 + \rho_0 g h - P_{нас})}{P_0 - P_{нас} - \rho g h} = \left(\frac{2\cdot0{,}45\,(10^5 + 10^3\cdot10\cdot0{,}45 - 14{,}5\cdot10^3)}{10^5 - 14{,}5\cdot10^3 - 10^3\cdot10\cdot0{,}45}\right)м$$

$$= \left(\frac{0{,}9\cdot(100 + 4{,}5 - 14{,}5)}{100 - 14{,}5 - 4{,}5}\right)м = \left(\frac{0{,}9\cdot90}{81}\right)м = 1\,м$$

Ответ: 1 м

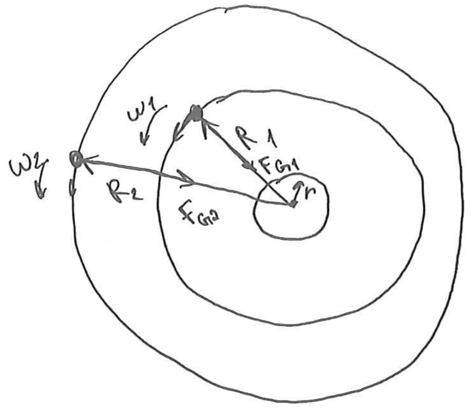
1.4.3

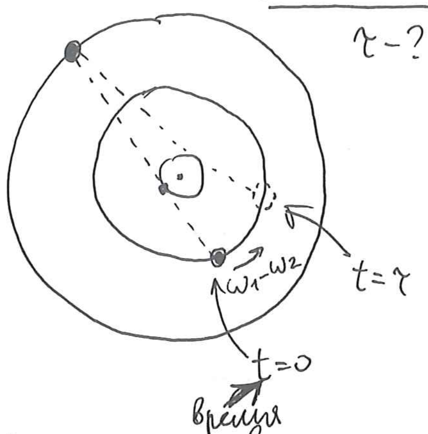
Чистовик

Во вращающейся СО спутника 2 :

Дано:
$R_1 = 6{,}4\cdot10^{7}$ м
$R_2 = 10^{8}$ м
$r = 6{,}4\cdot10^{6}$ м
$M = 6\cdot10^{24}$ кг
$G = 6{,}7\cdot10^{-11}$ Н$\cdot$м$^2\cdot$кг$^{-1}$

τ – ?





II ЗН на ~~[illegible]~~ прямую через центр Земли и спутник:

$$G\frac{\cancel{m_1}M}{R_1^2} = \cancel{m_1}\omega_1^2R_1$$

$$G\frac{m_2M}{R_2^2} = \omega_2^2R_2$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_1^3}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{R_2^3}}$$

$$R_2 > R_1 \Rightarrow \omega_1 > \omega_2$$

ω_1, ω_2 – угловая скорость ~~[illegible]~~ спутников 1 и 2

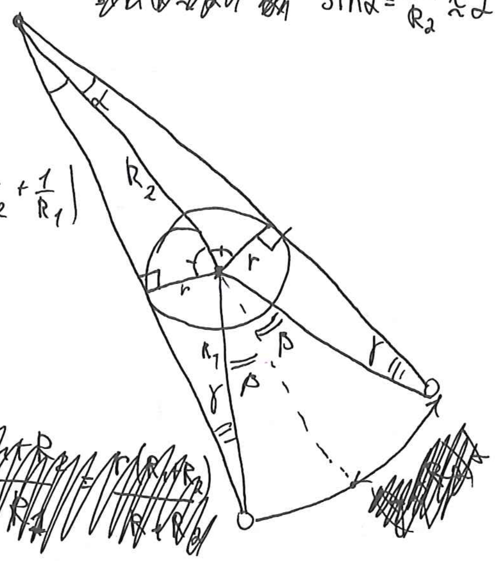
m_1, m_2 – массы спутников

~~[illegible]~~ $\sin\alpha = \frac{r}{R_2} \approx \alpha$

$\sin\gamma = \frac{r}{R_1} \approx \gamma$

внеш. угол Δ

$\beta = \alpha + \gamma = r\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}\right)$



$$\tau = \frac{2\beta}{\omega_1-\omega_2} = \frac{2r(R_1+R_2)}{R_1R_2(\omega_1-\omega_2)} = 2r\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\frac{1}{\sqrt{GM}\left(\frac{1}{\sqrt{R_1^3}}-\frac{1}{\sqrt{R_2^3}}\right)}$$

$$= \frac{2r}{\sqrt{GM}}\left(\frac{R_1+R_2}{\cancel{R_1R_2}}\right)\frac{\cancel{R_1R_2}\sqrt{R_1R_2}}{\sqrt{R_2^3}-\sqrt{R_1^3}} =$$ ~~[illegible]~~

Продолжение →

Чистовик

$$= \left(\frac{2 \cdot 6{,}4 \cdot 10^{6} \left(6{,}4 \cdot 10^{7} + 10^{8}\right) \sqrt{6{,}4 \cdot 10^{7} \cdot 10^{8}}}{\sqrt{6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}} \left(10^{8} \sqrt{10^{8}} - 6{,}4 \cdot 10^{7} \sqrt{6{,}4 \cdot 10^{7}}\right)} \right) c =$$

$$= \left(\frac{2 \cdot 6{,}4 \cdot \cancel{10^{6}} \cdot \cancel{10^{7}} \cdot 16{,}4 \cdot \cancel{10^{7}} \cdot 8}{\sqrt{6{,}7 \cdot 6} \cdot 10^{12} \cdot \cancel{10^{10}} \left(100 - 6{,}4 \cdot 8\right)} \right) c =$$

$$= \left(\frac{\cancel{16}^{\,8} \cdot 64 \cdot \cancel{164}^{\,\approx 2{,}7}}{\sqrt{402} \cdot \cancel{488} \cdot 10^{3}} \right) c = \frac{1728}{10^{5}} c \approx 1{,}7 \cdot 10^{-2} c$$

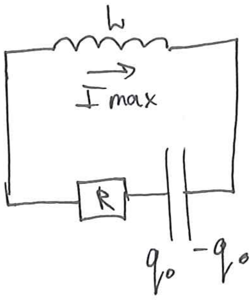
$\cancel{20}$ 55 10 $\quad$ 61

Ответ: $1{,}7 \cdot 10^{-2} c$

5.4.3

Чистовик

$I_{max} \Rightarrow I' = 0 \Rightarrow \mathcal{E}_i = -LI' = 0 \Rightarrow$ +



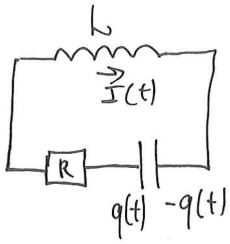
II правило Кирхгофа:

$-U_R + U = 0$

$U_R = U = I_{max} R \Rightarrow I_{max} = \frac{U}{R}$

$q_0 = cU$ – заряд конд.

ЗСЭ:



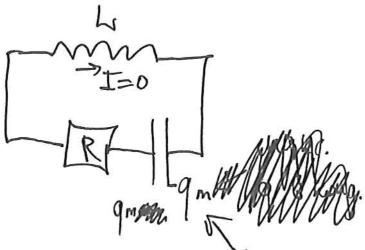
$$\frac{LI^2(t)}{2} + \frac{q^2(t)}{2c} = const$$

9

+

т.к. потери энергии за один период малы по сравнению с энергией в контуре

$$\frac{L(q'(t))^2}{2} + \frac{q^2(t)}{2c} = const \Big| \frac{d}{dt}$$



$$L\cancel{q'(t)}q''(t) + \frac{q(t)\cancel{q'(t)}}{c} = 0$$

$$q''(t) + \frac{q(t)}{Lc} = 0$$

ЗСЭ:

$$\frac{q_m^2}{\cancel{2}c} = \frac{q_0^2}{\cancel{2}c} + \frac{LI_{max}^2}{\cancel{2}}$$

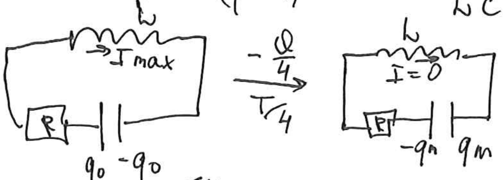
$$q_m = \sqrt{c^2U^2 + Lc\frac{U^2}{R^2}} = U\sqrt{c\left(c + \frac{L}{R^2}\right)}$$

– ← минус

$$q(t) = q_m \sin\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)$$

$$q'(t) = \frac{q_m}{\sqrt{Lc}} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)$$

$$dQ = I^2(t)Rdt = (q'(t))^2 Rdt = \frac{q_m^2}{Lc}\cos^2\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)Rdt$$



$T = 2\pi\sqrt{Lc}$ $\quad \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{Lc}$

$$\frac{Q}{4} = \frac{q_m^2 R}{Lc}\int_0^{T/4}\cos^2\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)dt = \frac{q_m^2 R}{Lc}\cdot\frac{\cos^3\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)\sqrt{Lc}}{-2\sin\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)}\Bigg|_0^{\frac{T}{4}}$$

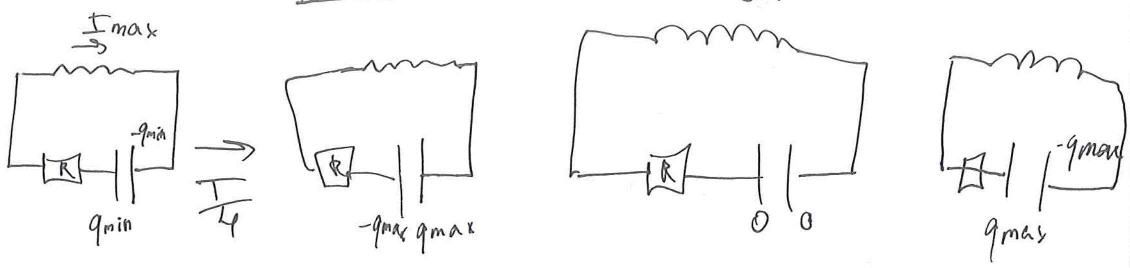
Чистовик

$$Q = \frac{4\left(c^2U^2 + Lc\frac{U^2}{R^2}\right)R}{Lc}\left(-\frac{\sqrt{Lc}}{2}\left(\frac{\cos^3\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)} - \frac{\cos^3(0)}{\sin(0)}\right)\right)$$

$$q(t) = q_m \sin\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t + \varphi\right)$$

$$q'(t) = \frac{q_m}{\sqrt{Lc}} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t + \varphi\right) = I(t)$$

Черновик



Q мало => мала

5.4.3

$Q \sim I^2 R$

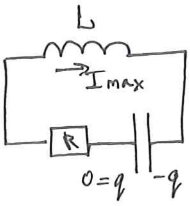
Черновик

Q мало, I^2 велико

=> R мало =>

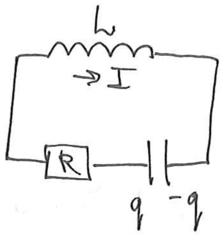
$U_R = IR$ мало =>

$U_c \approx -\mathcal{E}_i$, где U_c - напр. на конд., $\mathcal{E}_i$ - ЭДС катушки



$I_{max} \Rightarrow q=0$ - заряд на конденсаторе $\left(U_c = \frac{q}{c}\right)$

$I'=0 \Rightarrow \mathcal{E}_i = 0 = U_c$



II правило Кирхгофа:

$U_c + \mathcal{E}_i = 0$

$\frac{q}{c} - LI' = 0$

$I = -q'$

$$q'' + \frac{q}{Lc} = 0 \Rightarrow q(t) = q_0 \sin\left(\frac{t}{\sqrt{Lc}}\right)$$

$$Lq'' + \frac{q}{c} - IR = Lq'' + \frac{q}{c} + q'R = 0$$

$$\left(\cos^3\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)\right)' =$$

$q = q$

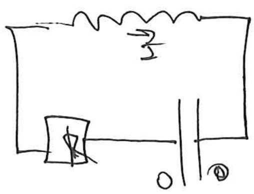
$$= \cos^2\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right) \cdot \left(-\sin\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{Lc}}$$

$$\frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2c} + Q = const$$

$I = q'$

$dQ = I^2 R\, dt =$

$$\int \cos^2\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right) dt = \frac{\cos^3\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)\sqrt{Lc}}{-3\sin\left(\frac{1}{\sqrt{Lc}}t\right)}$$



$q = q_m \sin(\omega t + \varphi)$

$q' =$

Черновик

$$G\frac{\cancel{m_1}M}{R_1^2} = \cancel{m_1}\,\omega_1^2 R_1$$

$$G\frac{M}{R_2^2} = \omega_2^2 R_2$$

$$\begin{array}{r} 6{,}4 \\ \cdot\ \ 8 \\ \hline 51{,}2 \end{array}$$

L

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{GM}{R_1^3}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{R_2^3}}$$

$100 - 51{,}2 = 48{,}8$

$R_2 > R_1 \Rightarrow \omega_1 > \omega_2$

$48{,}8 : 4 = 12{,}2$

$12{,}2 : 2 = 6{,}1$

$7 \cdot 6 = 42$

$$\begin{array}{r} 67 \\ \cdot\ \ 6 \\ \hline 402 \end{array}$$

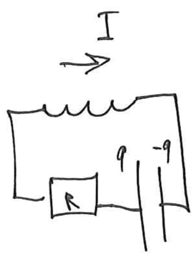
$164 : 61 = 2{,}7$

$$\begin{array}{r} 1\,22 \\ \hline 420 \\ 427 \\ \hline -7 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 64 \\ 27 \\ \hline 448 \\ 128 \\ \hline 1728 \end{array}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2}$$

$$\frac{\tau}{T} = \frac{2\beta}{2\pi} \Rightarrow \tau = \frac{2\beta}{2\pi}\cdot\frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2}$$



за dt: $Q = I^2 R\,dt$ $\qquad I = \frac{dq}{dt} = q'$

$$q'' + \frac{q}{Lc} = 0$$

$$q(t) = q_0 \sin\omega t$$

$$q' = q_0\omega\cos\omega t = I$$

$$dQ = q_0^2\omega^2 R\cos^2\omega t\,dt$$

$$Q = q_0\omega^2 R\int_0^{\tau}$$