73-70-78-07
(3.9)

# МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
## имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант № 1

Место проведения Москва
город

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников „Ломоносов" по физике
наименование олимпиады

по Физика
профиль олимпиады

Галицына Матвея Дмитриевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«9» февраля 2024 года

Подпись участника

73-70-78-07
(3.9)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Σ |
|---|---|---|---|---|---|
| +11 | 18 | 20 | 16 | 15 | 80 |
| Дмитриев Н.В | Губина | Зиятов С.А. | Фольбин | Лукин | Василевский |

6

Задача 1.4.1

$R_1 = 6{,}4\cdot 10^4$ км

$R_2 = 10^5$ км

$g_0 = 9$ м/с$^2$

$\arcsin x \approx x$

$\tau$ — ?

$$g(x)m = \frac{G\cdot mM}{x^2}$$

$$g(x) = \frac{GM}{x^2}$$

$$\frac{v^2(x)}{x} = \frac{GM}{x^2}$$

$$v^2(x) = \frac{GM}{x}$$

Для 1ого спутника:

$$\omega_1^2(x_1) = \frac{GM}{x_1^3}$$

Для 2ого спутника:

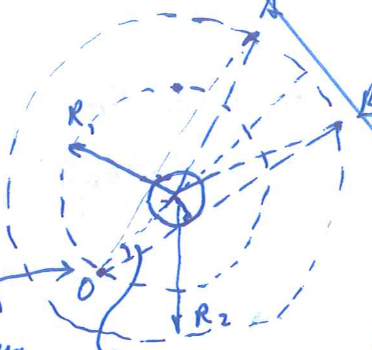
$$\omega_2^2(x) = \frac{GM}{x_2^3}$$

$$g(r) = \frac{GM}{r^2}$$

$$GM = g(r)r^2$$

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

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




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

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

$$\smile AB = 2\frac{r}{R_1}(R_1+R_2)$$

$$\frac{r}{R_1} =$$

Перейдем во вращ. сист. 1ого спутника:

$$\omega_{2отн,1} = \omega_2 - \omega_1 = \sqrt{GM}\left(\sqrt{\frac{1}{R_2^3}} - \sqrt{\frac{1}{R_1^3}}\right)$$

Область AB – слепая область.

$$\omega_{2отн1} = \sqrt{g(r)r^2}\left(\sqrt{\frac{1}{R_2^3}} - \sqrt{\frac{1}{R_1^3}}\right)$$

$$v_{2отн,1} = \omega_{2отн,1} R_2 = g(r)r^2R_2\left(\frac{1}{R_2^3} - \frac{1}{R_1^3}\right)$$

$$\tau = \frac{\smile AB}{v_{2отн1}} = \frac{2r(R_1+R_2)}{R_1\, g(r)r^2R_2\left(\frac{1}{R_2^3} - \frac{1}{R_1^3}\right)}$$

Черновик

73-70-78-07 (3.9)

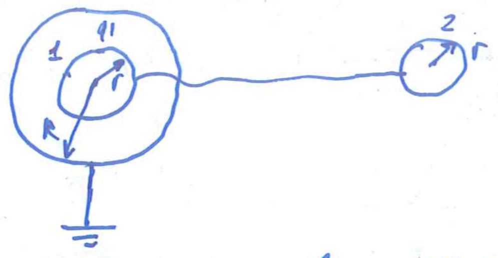
Задача 3.10.11 1б 2б Чистовик

$r = 2 см$

$q_1 = 6 \cdot 10^{-10}$ Кл

$q_2 = 2 \cdot 10^{-10}$ Кл

$R - ?$




~~1л Потенциал 1ого шара равен потенциалу 2ого~~

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

Потенциал 1ого шара равен потенциалу 2ого, т.к. иначе бы продолжалось перетекание ~~[illegible]~~ заряда 2б

$$\varphi_2 = \frac{kq_2}{r} = \varphi_1$$

Потенциал внешнего шара R 0, т.к. он заземлен:

$$\varphi_R = 0 = \frac{kq}{R} + \frac{kq_1}{R} \Rightarrow q = -q_1$$ 4б (влияние от 2ого шара просто нет, т.к. он удален далеко)

$$\varphi_1 = \frac{kq_1}{r} - \frac{kq_1}{R} = kq_1\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$$ 4б

$$\varphi_1 = \varphi_2 \quad kq_1\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right) = kq_2\frac{1}{r}$$

$$-q_1 \cdot \frac{1}{R} = (q_2 - q_1)\frac{1}{r}$$

$$q_1\frac{1}{R} = (q_1 - q_2)\frac{1}{r}$$

$$R = \frac{q_1}{q_1 - q_2} \cdot r = \frac{6 \cdot 10^{-10} \cdot 2}{6 \cdot 10^{-10} - 2 \cdot 10^{-10}} =$$ 5б

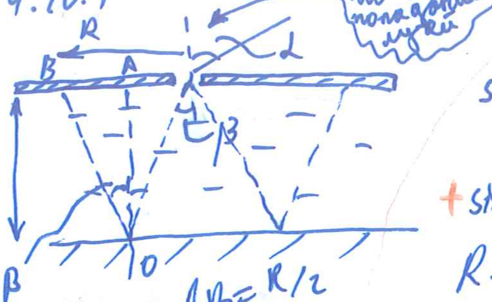
$$= \frac{6}{4} \cdot 2 = \frac{3}{2} \cdot 2 = 3 (см)$$

Ответ: 3 см 2б

Задача 4.10.1

$h = 5$ см

$n = 1,5$



Задача на критический угол

$\sin\beta\, n = \sin\alpha$ ← 3-й случай

при $\alpha = 90°$

+ $\sin\beta = \frac{1}{n} = \frac{1}{1,5} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3}$

R – радиус освещенной пов-ти нижней грани экрана.

$\frac{R}{2h} = tg\beta$ (для $\triangle AOB$) +

$\Rightarrow R = tg\beta \cdot 2h$

$\sin\beta = \frac{2}{3}$

$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$

$tg\beta = \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{2}{3\sqrt{5}}\, 3 = \frac{2}{\sqrt{5}}$ +

$R = \frac{2}{\sqrt{5}} \cdot 2 \cdot 5 = \frac{20}{\sqrt{5}} =$

$= 4\sqrt{5}$ (см) $\simeq 8,8$ см +

Чистовик

Ответ: $4\sqrt{5}$ см

Задача 5.4.1

$L = 0,3$ Гн

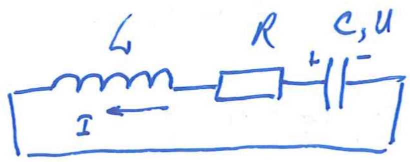
$R = 1$ Ом

$C = 30$ мкФ

$U = 2$ В

$\pi = 3,14$

$Q - ?$



Мощность тепловых потерь на резисторе в произвольный момент:

$P = I_R^2 \cdot R$ ; $I = I_A \cos(\omega t + \varphi)$ (не + – гармонические)

$P = I_A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) R = I_A^2 R \cos^2(\omega t)$

$\omega \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ + ~~t $I_A t$~~ ~~$\cos^2\alpha = \frac{1+2}{}$~~

из гого п-ла Кирхгоффа

Ток вначале $I = \frac{U}{R} = 2A$ (т.к. лок. максимум, т.ч. $I_L' = 0$) +

$\cos 2\alpha = 2\cos^2\alpha - 1$

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

ЗСЭ (выполняется, если потери за t малы)

$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2}$ $\quad U_m^2 = U^2 + \frac{L}{C} I^2 = 4 + \frac{0,3 \cdot 4}{30 \cdot 10^{-6}}{}_{100} =$

$= 4 + 4 \cdot 10^{+4} \approx 4,0004 (B)^2 \Rightarrow$ ~~$U_m \approx 2U$ $U_m \approx 2,00B$~~

$I_A = q_A \omega = CU_m\omega$

~~$U_m \approx 2,00(B)$~~

$P(t) = I_A^2 R \frac{\cos 2\omega t + 1}{2} = \frac{I_A^2 R}{2} + \frac{I_A^2 R}{2} \cos 2\omega t$

Второе слагаемое за T обнуляется; $Q(t) = P(t) dt$

$\Rightarrow Q_T = \frac{I_A^2 R T}{2} = \frac{C^2 \omega^2 U_m^2 R T}{2} = \frac{C^2 U_m^2 R T}{2LC} = \frac{CU_m^2 R T}{2L}$ ?

Подставляем $I_A$

73-70-78-07
(3.9)

~~$Q_T = 230\cdot10^{-6}$~~

Чистовик

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

$$Q_T = \frac{2\pi C U_m^2 R\sqrt{LC}}{2L} = \pi C U_m^2 R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$\begin{array}{r} \times\ 3{,}14 \\ 120 \\ \hline 000 \\ +628 \\ +314 \\ \hline 376{,}80 \end{array}$$

$$Q_T = 3{,}14\cdot30\cdot10^{-6}\cdot4000\sqrt{\frac{30\cdot10^{-6}}{0{,}3}} = 3{,}14\cdot30\cdot4\cdot10^{4}\cdot10^{-8} \approx 37{,}8\cdot10^{-4}\ Дж$$

Ответ: ~~$37{,}8\cdot10^{-4}$~~ $37{,}8\cdot10^{-4}$ Дж $\approx 4$ мДж

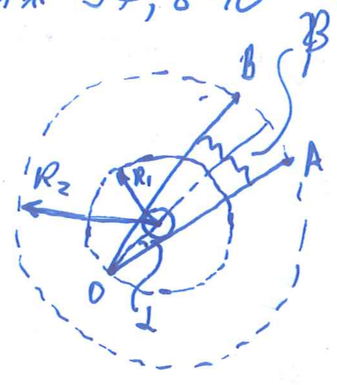
## Задача 1.4.1

$R_1 = 6{,}4\cdot10^4$ км

$R_2 = 10\cdot10^4$ км

$g = 9$ м/с$^2$

$\tau$ - ?




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

$\beta = 2\alpha = \frac{2r}{R_1}$

$m g(R) = \frac{GMm}{R^2}$

$g(R) = \frac{GM}{R^2}$

$a_{цс} = \omega^2 R$

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

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

Угловая скорость 1-го:

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

Для 2-го:

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

Сделаем первое тело покоющимся, перейдя в его вращающуюся СО:

$$\omega_{2\,отн} = \omega_2 - \omega_1 = \sqrt{GM}\left(\frac{1}{\sqrt{R_2^3}} - \frac{1}{\sqrt{R_1^3}}\right)$$

Линейная скорость: $v_{2\,отн} = \omega_{2\,отн} R_2 = \sqrt{GM}\,R_2\left(\frac{1}{\sqrt{R_2^3}} - \frac{1}{\sqrt{R_1^3}}\right)$

Т.к. $\alpha$ - малый угол, то $\smile AB \approx (R_1+R_2)\cdot2\alpha = (R_1+R_2)\beta$

Время за которое 2-ой спутник пролетит в таком случае AB и будет искомым.

$$\tau = \frac{(R_1+R_2)\beta}{R_2\sqrt{GM}\left|\left(\frac{1}{\sqrt{R_2^3}} - \frac{1}{\sqrt{R_1^3}}\right)\right|}$$

знак не столько важен

$g(r) = \frac{GM}{r^2}$

$GM = g(r)\,r^2$

$\sqrt{GM} = \sqrt{g(r)}\cdot r$

$$\tau = \frac{2r}{R_1\cdot\sqrt{g(r)}\cdot r}\cdot\frac{R_1+R_2}{R_2\left|\frac{1}{\sqrt{R_2^3}} + \frac{1}{\sqrt{R_1^3}}\right|}$$

$$\boxed{\tau = \frac{2(R_1+R_2)\sqrt{(R_1R_2)^3}}{R_1R_2\sqrt{g(r)}\left(\sqrt{R_2^3} - \sqrt{R_1^3}\right)}}$$

Время прохождения «слепой» зоны.

$$T = \frac{2(R_1+R_2)\sqrt{(R_1R_2)^3}}{R_1R_2\sqrt{g(r)}(\sqrt{R_2^3}-\sqrt{R_1^3})} = \frac{2(R_1+R_2)\sqrt{R_1R_2}}{\sqrt{g(r)}(R_2^{1,5}-R_1^{1,5})}, \text{ где } \begin{array}{l} R_1 = 6,4\cdot 10^{7} м \\ R_2 = 10\cdot 10^{7} м \\ g = 9 м/с^2 \end{array}$$

$$T = \frac{2\cdot 16,4\cdot 10^4\cdot\sqrt{64\cdot 10^8}\cdot 10^3\cdot 10^3}{3\cdot(10\cdot 10^4\sqrt{10\cdot 10^4}-6,4\cdot 10^4\cdot\sqrt{6,4\cdot 10^4})} =$$

$$= \frac{2\cdot 16,4\cdot 10^4\cdot 8\cdot 10^4\cdot 10^3\cdot 10^3}{3\cdot(10^7\cdot\sqrt{10}-6,4\cdot 10^6\sqrt{6,4})} = \frac{16\cdot 16,4\cdot 10^{8}}{3\cdot 10^6(10\sqrt{10}-6,4\sqrt{6,4})} =$$

$$= \frac{16\cdot 1640}{3(10\sqrt{10}-6,4\sqrt{6,4})} =$$

$$\begin{array}{r} \times 2,6 \\ 2,6 \\ \hline +156 \\ 52 \\ \hline 6,76 \end{array}$$

=

$\sqrt{6,4} \approx 2,5$

$\sqrt{10} \approx 3,3$

$$T = \frac{2\cdot 16,4\cdot 10^7\cdot 10^7\cdot\sqrt{64}}{3\cdot 10^7(10\sqrt{10\cdot 10^7}-6,4\sqrt{64\cdot 10^7})} =$$

$$= \frac{16\cdot 16,4\cdot 10^{4}}{3\cdot 10^3(\sqrt{100}\cdot 10-6,4\sqrt{64})} = \frac{16\cdot 16,4\cdot 10^4}{3(100-51,2)} =$$

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

$$= \frac{16\cdot 16,4\cdot 10^4}{3\cdot 58,8} = \frac{2624\cdot 10^3}{3\cdot 58,8} =$$

$$\begin{array}{r} \times 164 \\ 16 \\ \hline +984 \\ 164 \\ \hline 2624 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \times 58,8 \\ 3 \\ \hline 176,4 \end{array}$$

$$= \frac{2624}{176,4}\cdot 10^3 \approx 1,4\cdot 10^3 (с)$$

$$\begin{array}{r|l} -26240 & 176,4 \\ 1764 & 1,4,0\ldots \\ \hline 8600 & \end{array} \qquad \begin{array}{r} \times 1764 \\ 5 \\ \hline 8820 \end{array} \qquad \begin{array}{r} \times 1764 \\ 4 \\ \hline 7056 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 8600 \\ 7056 \\ \hline 1544 \end{array}$$

$T = 1400с$ (прим очень приблизительно)

~~Считать тяжело~~...

Ответ $\approx 1400с$

Чистовик

Задача 2.5.1

Чистовик

$\ell = 1$ м

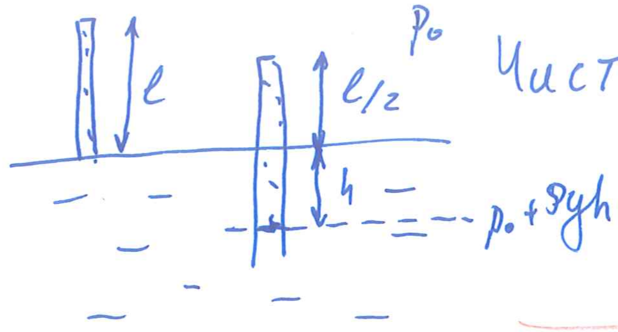
$p_0 = 10^5$ Па

$h = 0,45$ м

$g = 10$ м/с²

$\rho_0 = 10^4$ кг/м³

$p_н - ?$




Пар остался ~~как~~ насыщенным:

Давление сухого воздуха:

$p_1 = p_0 - p_н$ (вначале)

$p_2 = p_0 + \rho g h - p_н$ (в конце)

Для изотермического процесса ид. газа:

$$(p_0 - p_н)\ell S = (p_0 + \rho g h - p_н)(\ell/2 + h)S$$

$$p_0 \ell - p_н \ell = (p_0 + \rho g h)\left(\frac{\ell}{2} + h\right) - p_н\left(\frac{\ell}{2} + h\right)$$

$$p_0 \ell - (p_0 + \rho g h)\left(\frac{\ell}{2} + h\right) = p_н\left(\frac{\ell}{2} - h\right)$$

$$\cancel{p_0\ell}\; p_0 \ell - p_0\frac{\ell}{2} - p_0 h - \rho g h\left(\frac{\ell}{2} + h\right) = p_н\left(\frac{\ell}{2} - h\right)$$

$$p_0\left(\frac{\ell}{2} - h\right) - \rho g h\left(\frac{\ell}{2} + h\right) = p_н\left(\frac{\ell}{2} - h\right)$$

$$\Rightarrow p_н = p_0 - \rho g h\left(\frac{\frac{\ell}{2} + h}{\frac{\ell}{2} - h}\right) = p_0 - \rho g h\,\frac{\ell + 2h}{\ell - 2h} =$$

$$= \cancel{p_0 h}\; 10^5 - 0,45 \cdot 10^4\,\frac{1,9}{0,1} = 10^5(1 - 0,45 \cdot 1,9) =$$

$$= 10^5 \cdot (1 - 0,955) = 10^5 \cdot 0,045 = 45 \cdot 10^2 \text{ Па}$$

$$\begin{array}{r} \times\, 0,45 \\ 1,9 \\ \hline 405 \\ +\;45\phantom{0} \\ \hline 0,955 \end{array}$$

Ответ: 4500 Па

+

$+$

$-$

Задача 2.5.1

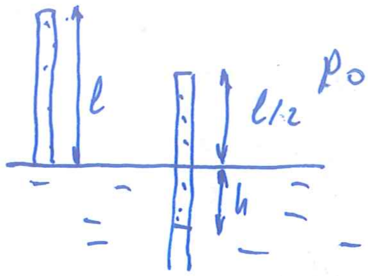
~~Чистовик~~

$l = 1\,м$ $\quad p_0 = 10^5\,Па$

$h = 0{,}45\,м$ $\quad \rho_0 = 10^3\,кг/м^3$

$g = 10\,м/с^2$

$p_{нас}$ - ?




Т.к. изначально пар был насыщенным, то при погружении он останется насыщенным.

Давление в трубке изначально $p_0$, а после погружения $p_0 + \rho g h$

Для сухого воздуха:

$$p_1 l S = \nu R T \qquad \frac{p_1 l}{p_2\left(h + \frac{l}{2}\right)} = 1; \quad p_1 = p_0 - p_{нас}$$

$$p_2\left(h + \frac{l}{2}\right) S = \nu R T \qquad p_2 = p_0 + \rho g h - p_{нас}$$

$$\frac{(p_0 - p_{нас}) l}{(p_0 + \rho g h - p_{нас})\left(h + \frac{l}{2}\right)} = 1$$

$$p_0 l - p_{нас} l = (p_0 + \rho g h)\left(h + \frac{l}{2}\right) - p_{на}\left(h + \frac{l}{2}\right)$$

$$p_0 l - (p_0 + \rho g h)\left(h + \frac{l}{2}\right) = p_{н}\left(l - h - \frac{l}{2}\right) = p_{н}\left(\frac{l}{2} - h\right)$$

$$\Rightarrow p_{н} = \frac{p_0 l - (p_0 + \rho g h)\frac{l}{2}}{\frac{l}{2} - h} = \frac{2\left(p_0 \frac{l}{2} - \frac{l \rho g h}{2}\right)}{l - 2h} =$$

$$= \frac{p_0 l - \rho g h l}{l - 2h} = \frac{10^5 \cdot 1 - 1000 \cdot 10 \cdot 0{,}45 \cdot 1}{1 - 0{,}9} =$$

$$= \frac{10^5 - 100 \cdot 45}{0{,}1} = \frac{100 \cdot 10^3 - 4{,}5 \cdot 10^3}{0{,}1} = (100 - 4{,}5) \cdot 10^4 =$$

$$= 95{,}5 \cdot 10^4\,Па$$

Ответ: $95{,}5 \cdot 10^4\,Па$

Черновик

Оценка изменена с "80" на "84"

Председателю апелляционной комиссии
олимпиады школьников «Ломоносов»
Ректору МГУ имени М.В. Ломоносова
академику В.А. Садовничему
от участника заключительного этапа по
профилю физика
*Галицына Матвея Дмитриевича*

Прошу пересмотреть мой индивидуальный предварительный результат заключительного этапа, а именно ***80 баллов***, поскольку считаю, что в ***1ой задаче***

я приступил к решению задачи;

сделал верный пояснительный рисунок;

записал уравнения движения спутников;

получил формулу для ускорения свободного падения;

определил угловые скорости спутников;

показал слепую зону на рисунке;

верно записал длину этой дуги;

получил верную формулу для нахождения спутников в слепой зоне.

Однако заработал ***11 баллов***.

***В задаче №4*** выполнены все критерии, получена верная конечная формула и правильный численный ответ. Однако она оценена в ***16 баллов***.

***Задачу №5*** решил альтернативным способом, получив все необходимые формулы для конечной формулы общего вида. Получил численные ответы (физические формулы) на ключевых промежуточных этапах в альтернативном решении. Задача была оценена в ***15 баллов***.

***В прикреплённом ниже файле буквы рядом с критерием показывают данное утверждение или формулу в моей работе.***

Подтверждаю, что я ознакомлен с Положением об апелляциях на результаты олимпиады школьников «Ломоносов» и осознаю, что мой индивидуальный предварительный результат может быть изменён, в том числе в сторону уменьшения количества баллов.

27.02.2024

| № | 11.1 Действие | Максимальный балл |
|---|---|---|
| 1 | Участник приступил к решению задачи | 1 + |
| 2 | Сделан верный поясняющий рисунок к задаче | 2 A |
| 3 | Записаны уравнения движения для спутников | 3 B |
| 4 | Получены формула для ускорения свободного падения | 2 C |
| 5 | Определены угловые скорости каждого спутника через ускорение свободного падения | 2 D |
| 6 | Показано, «слепая» зона – дуга | 2 E |
| 7 | Верно определена длина этой дуги | 3 F |
| 8 | Получена верная формула для времени нахождения спутников в слепой зоне | 3 G |
| 9 | Получен правильный численный ответ | 2 |
| ВСЕГО | | 20 |

| № | 11.4 Действие | Максимальный балл |
|---|---|---|
| 1 | Участник приступил к решению задачи | 1 + |
| 2 | Сделан верный поясняющий рисунок к задаче | 3 A |
| 3 | Сделано утверждение о том, что рассеянный свет падает на поверхность жидкости под всеми углами | 2 B |
| 4 | Сделано утверждение о том, наибольший угол преломления будет у лучей, падающих по касательной | 4 C |
| 5 | Верно определен угол преломления луча, падающего по касательной | 4 D |
| 6 | Получена верная формула для искомой физической величины | 4 E |
| 7 | Получен правильный численный ответ | 2 F |
| ВСЕГО | | 20 |

Сделано утверждение, основанное на условии задачи о том, что эта задача на явление критического угла.

5 задача (мой вариант - 1)

$$I=\frac{U}{R}$$ *

$$Um^2=\left(\frac{L}{C}\right)\times I^2$$ **

$$Qt=\Pi\times C\times Um^2\times R\times\sqrt{\left(\frac{C}{L}\right)}$$ ***

Решил задачу альтернативным способом, получив все необходимые формулы для конечной формулы общего вида.