0 181558 070001

18-15-58-07
(151.5)

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 05

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Робофест
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Касилова Сергея Денисовича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата «4» апреля 2026 года

Подпись участника

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

Выполнять задания на титульном листе запрещается!

18-15-58-07
(151.5)

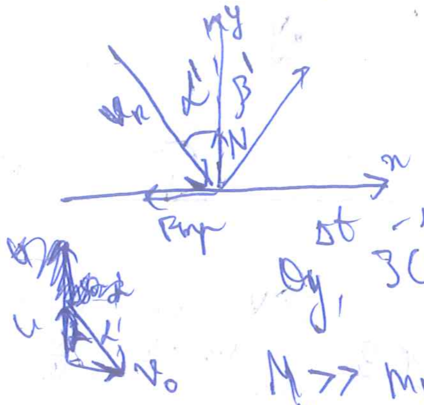
№	1	2	3	4	Σ
Т	10	10	10	10	
З	15	13	15	10	
Σ	25	23	25	20	93

Новикова
Целебровский
Асимова К.А.
Марку

Оценка за теор тур - 56
Итоговая оценка - 85
(Восемьдесят пять)

Черновик

№1



ИСО - плита:

$v_к = \vec{u} + \vec{v}_0 = \sqrt{u^2 + v_0^2 - 2v_0 u\cos\alpha}$

Δt - малое время удара

Oy, ЗСИ: $-mv_{y_0} = mv_{y_1} + N\Delta t$

$M_{пл} \gg m_к \Rightarrow$ $u = const$, $v_{y_0} = -v_{y_1} = v_к\cos\alpha$

Ox: $mv_{x0} = mv_{x1} - F_{тр}\Delta t$ $\mu = 0 \Rightarrow F_{тр} = 0 \Rightarrow v_{x0} = v_{x1}$

$|v_{y0}| = |v_{y1}|$, $v_{x0} = v_{x1} \Rightarrow \frac{v_{x0}}{|v_{y0}|} = tg\alpha = \frac{v_{x1}}{|v_{y1}|} = tg\beta \Rightarrow \alpha = \beta$

Задача: Oy, ЗСИ: $-mv_{y_0} = mv_{y_1} + N\Delta t$

$M_{пл} \gg m_к \Rightarrow u = const$, $v_{0y} = -v_{y1} = v_y = v_к\cos\alpha$, $|N\Delta t| = 2|v_к|\cos\alpha\, m$

$N\Delta t = -2mv_к\cos\alpha$

Ox: $mv_{x0} = mv_{x1} - F_{тр}\Delta t$ $F_{тр} \le \mu N$; $v_{x0} = v_к\sin\alpha$

1. $\beta + \alpha = 90°$; $\beta > 0 \Rightarrow F_{тр} = \mu N$!

~~$mv_к\sin\alpha = mv_{x1} + \mu \cdot 2mv_к\cos\alpha$~~ ~~$v_{x1} = v_к(\sin\alpha - 2\mu\cos\alpha)$~~

~~$tg\beta = \frac{v_{x1}}{v_{y1}} = \frac{v_{x1}}{v_y} = \frac{v_к(\sin\alpha - 2\mu\cos\alpha)}{v_к\cos\alpha} = tg\alpha - 2\mu$~~ ~~$\mu = \frac{tg\alpha - tg\beta}{2}$~~

$v_y = (v_0\cos\alpha + u)$, $v_x = v_0\sin\alpha$ $N\Delta t = -2(v_0\cos\alpha + u)m$

$mv_{x0} = mv_{x1} + \mu N\Delta t$

$v_{x1} = v_0(\sin\alpha - 2\mu\cos\alpha) - 2u$

$mv_0\sin\alpha = mv_{x1} + 2\mu m v_0\cos\alpha + 2u m$

$\frac{v_0(\sin\alpha - 2\mu\cos\alpha) - 2u}{v_0\cos\alpha + u} = \frac{v_0 tg\alpha - 2\mu v_0 - \frac{2u}{\cos\alpha}}{1 + \frac{u}{\cos\alpha}}$

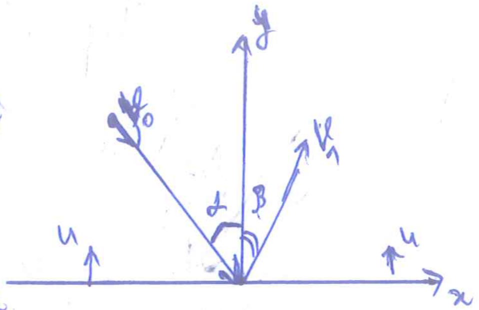
$tg\beta = \frac{v_0(\sin\alpha - 2\mu\cos\alpha) - 2u}{v_0\cos\alpha + u} = \frac{tg\alpha - 2\mu - \frac{2}{5\cos\alpha}}{1 + \frac{2}{5\cos\alpha}}$ $\frac{u}{v_0} = \frac{1}{5}$

2. $\beta = 0$, $F_{тр} < \mu N$: $v_{x1} = 0$ $mv_{x0} = -F_{тр}\Delta t$

$mv_0\sin\alpha = 2\mu m(v_0\cos\alpha + u)$ $\mu = \frac{v_0\sin\alpha}{2(v_0\cos\alpha + u)} = \frac{1}{2\left(tg\alpha + \frac{2}{5\cos\alpha}\right)}$

Чистовик

№1) Вопрос: $M_{пл} >> m_к \Rightarrow u = const$;



~~$V_{y0} + u = V_{y1}$~~

~~ИСО: плита,~~

$V_{y0} = V_0 \cos\alpha$, $V_{y1} = 2u + V_{y0} = 2u + V_0\cos\alpha$

ЗСИ Ox: $mV_{x0} = mV_{x1}$, $\sum F_{внеш} = 0 \Rightarrow V_{x0} = V_{x1} = V_0 \sin\alpha$

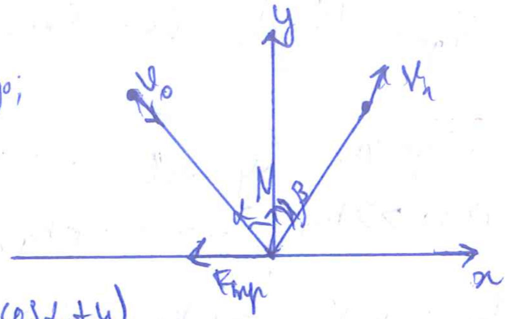
$u = \frac{V_0}{2}$, $\frac{u}{V_0} = \frac{1}{2}$

$tg\beta = \frac{V_{x1}}{V_{y1}} = \frac{V_0 \sin\alpha}{V_0\cos\alpha + 2u} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha + 2\cdot\frac{1}{2}} = \frac{0,643}{0,766+1} = 0,364$

$\beta = arctg \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha + 1} \approx 20^\circ$ (+)

Ответ: 20°

Задача: $M_{пл} >> m_к \Rightarrow u = const$, $V_{y1} = 2u + V_{y0}$;



$V_{y0} = V_0\cos\alpha$, $V_{y1} = 2u + V_0\cos\alpha$

ЗСИ Oy: $-mV_{y0} = mV_{y1} + N\Delta t$

$N\Delta t = -m(2V_0\cos\alpha + 2u) = -2m(V_0\cos\alpha + u)$

ЗСИ Ox: $mV_{x0} = mV_{x1} - F_{тр}\Delta t$, $V_{x0} = V_0 \sin\alpha$

$F_{тр} \leq \mu N$; $\sin(53,13) = 0,8 = \frac{4}{5}$, $\cos\alpha = \frac{3}{5}$, $tg\alpha = \frac{4}{3}$, $ctg\alpha = \frac{3}{4}$

1. $V_{x1} > 0$, $F_{тр} = \mu N$: $mV_0 \sin\alpha = mV_{x1} + 2\mu m(V_0\cos\alpha + u)$

$V_{x1} = V_0 \sin\alpha - 2\mu(V_0\cos\alpha + u)$

$tg\beta = \frac{V_{x1}}{V_{y1}} = \frac{V_0\sin\alpha - 2\mu(V_0\cos\alpha + u)}{V_0\cos\alpha + 2u}$

$\alpha + \beta = 90^\circ$ $\beta = 90^\circ - \alpha$

$V_0 \sin\alpha - 2\mu(V_0\cos\alpha + u) = tg(90 - \alpha)(V_0\cos\alpha + 2u)$ $|:V_0$, $u = \frac{V_0}{5}$, $\frac{u}{V_0} = \frac{1}{5}$

$2\mu = \cancel{tg(90-\alpha)(V_0} \frac{\sin\alpha - ctg\alpha(\cos\alpha + \frac{2}{5})}{\cos\alpha + \frac{1}{5}}$

$\mu = \frac{\frac{4}{5} - \frac{3}{4}(\frac{3}{5} + \frac{2}{5})}{2\cdot\frac{3}{5} + \frac{1}{5}} = \frac{5}{280} = 0,03125$

2. $tg\beta = 0 \Rightarrow V_0\sin\alpha - 2\mu(V_0\cos\alpha + u) = 0$, ~~$F_{тр} < \mu N$~~

$2\mu = \frac{V_0\sin\alpha}{V_0\cos\alpha + u}$ $|:2V_0$

$\mu = \frac{\sin\alpha}{2\cos\alpha + \frac{2}{5}} = \frac{\frac{4}{5}}{\frac{6}{5} + \frac{2}{5}} = 0,5$

(+)

Ответ: $0,03125$ $(\alpha + \beta = 90^\circ)$; $0,5$ $(\beta = 0^\circ)$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

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

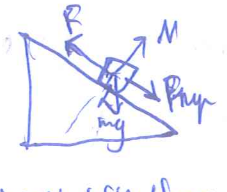
ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

18-15-58-07
(151.5)

Черновик

б2) $\mathcal{E} I = I^2 R + F v$, $F = k I$, $kv = \mathcal{E} - IR$

~~$\mathcal{E} I$ полезн~~ $\mathcal{E} I = P_{полезн}$, $I^2 R = P_R$, $Fv = N$



$\mathcal{E} I_m = I^2_m R + \cancel{k I_k v}\ m_m k v$

O_y: $N = -mg \cos\alpha$, $R = F_{тр} + m_m g \sin\alpha$, $F = m_m g(-\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$

$\cancel{I^2_m R - \mathcal{E} I_m + m_m k v = 0}$ $\cancel{D = \mathcal{E}^2 - 4 R m_m k v}$

$F = B I l$ $F = m_m k = B I l$, $m_m = I \frac{Bl}{k}$

$\mathcal{E} I_m = I^2_m R + m_m k$ $\frac{\mathcal{E} I_m - I^2_m R}{m_m k} = v = 0$

$I_m = 0$; $\mathcal{E} - I_m R = 0$, $I_m = \frac{\mathcal{E}}{R}$

$k I v = P$ $P = Fv = m_{ac}\frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{m^2 R_{ac}}{k}$ $v = \frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{IR}{k}$ $F = m a_c$

$\frac{\mathcal{E}}{k} - \frac{FR}{k^2} =$

$m = const \Rightarrow F = const$

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

Чистовик

б) $\xi y = y^2 R + R v$, $R = k y$; $R = m a$ (a, k – const), $y = \frac{R}{k} = \frac{ma}{k}$

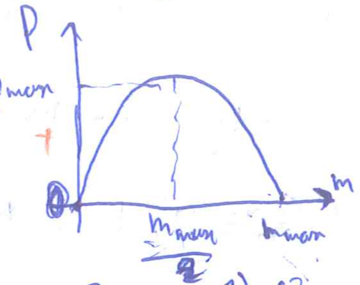
$P_{полез} = R v = \xi y - y^2 R = \frac{\xi m a}{k} - \left(\frac{ma}{k}\right)^2 R$ $m^2 \Rightarrow$ парабола

Ответ: парабола

Задача: $P \geq 0$, $m_{макс} = 500$ кг $\Rightarrow$ $P(500 \text{ кг}) = 0$

$$0 = \frac{\xi m_м a}{k} - \frac{m_м^2 R a^2}{k^2} \quad \frac{m_м = 0}{\cancel{max}} ; \quad \xi - \frac{m_м R a}{k} = 0$$

$$m_м = \frac{\xi k}{Ra}, \quad \frac{k}{a} = \frac{m_м R}{\xi}$$



$$P_{max} = P(m_1) = P\left(\frac{m_{max}}{2}\right) = \frac{\xi m_м a}{2k} - \frac{m_м^2 R a^2}{4k^2}$$

$$\frac{a}{k} = \frac{\xi}{m_м R} ; \quad P_{max} = \frac{\xi \cancel{m_м} \xi}{2 \cancel{m_м} R} - \frac{\cancel{m_м^2} R \xi^2}{4 \cancel{m_м^2} R^2} = \xi^2\left(\frac{1}{2R} - \frac{1}{4R}\right) = \frac{\xi^2}{4R}$$

$\frac{m_{max}}{2} = m_1 = 250$ кг, $P_{max} = \frac{200 \cdot 200}{4 \cdot 4} = 2500$ Вт

$v_1 = 1{,}25$ м/с , m_1 : $\xi \cancel{y} = y^{\cancel{2}} R + k \cancel{y} v$ $k v_1 = \xi - \frac{ma}{k} R$

$$k v_1 = \xi - \frac{m_1 \xi}{m_м} = \xi\left(1 - \frac{m_1}{m_м}\right) = \frac{\xi m_м - m_1 \xi}{\xi m_м}$$

$$k v_2 = \frac{\xi(m_м - m_2)}{m_м} = \frac{\xi(m_м - 1{,}2 m_1)}{m_м}$$

$$\frac{\cancel{k} v_2}{\cancel{k} v_1} = \frac{\cancel{\xi}(m_м - 1{,}2 m_1) \cdot \cancel{m_м}}{\cancel{\xi}(m_м - m_1) \cdot \cancel{m_м}} \qquad v_2 = \frac{v_1(m_м - 0{,}6 m_м)}{m_м - 0{,}5 m_м} = 1 \text{ м/с}$$

Ответ: ~~$P_{max} = 2500$ Вт~~, $m_1 = 250$ кг ~~$m_1 = 250$ кг~~, $v_2 = 1$ м/с

Чистовик

$$S_2 = \int_{\arcsin\frac{7}{10}}^{90} \sin x\,dx - \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin\frac{7}{10}\right) = -\cos x \Big|_{\arcsin\frac{7}{10}}^{\frac{\pi}{2}} - \frac{1}{2}\left(\frac{\pi}{2} - \arcsin\frac{7}{10}\right)$$

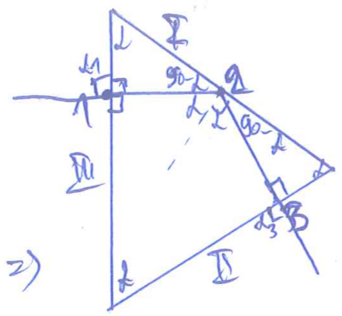
$$= \cos \arcsin\frac{7}{10} - \frac{\pi}{4} + \frac{\arcsin\frac{7}{10}}{2} \approx 0{,}714 - 0{,}79 + 0{,}388 = 0{,}312$$

$$P = \frac{0{,}312 \cdot 15}{1{,}1} \text{ Вт} \approx 4{,}25 \text{ Вт}$$

Ответ: 4,25 Вт

Чистовик

№4) Вопрос: $\alpha = 60^\circ$



1. $1 \sin 0 = n \sin \alpha_1$, $\alpha_1 = 0$

2. $n \sin(90 - (90 - \alpha)) = \sin \alpha_2$

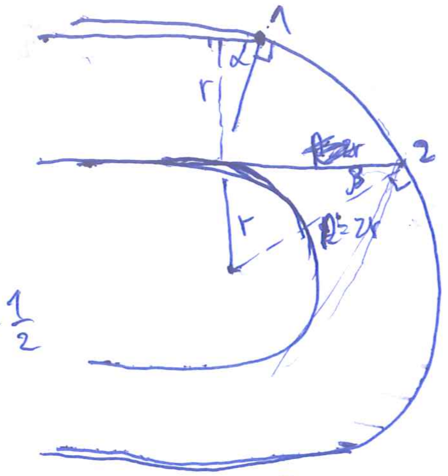
$n \sin \alpha = \sin \alpha_2$ $\quad n \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}7\sqrt{3} > 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha_2 \ \varnothing$ — полное внутренние отражение

3. $n \sin(90 - 90) = \sin \alpha_3 = 0$, $\sin \alpha_3 = 0$, луч выйдет из II стенки

Ответ: 2

Задача:



1. $\alpha \to 90^\circ$: $\sin \alpha = 1$

$n(\lambda) \approx \frac{a}{\lambda}$, $\frac{a}{\lambda} > 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow n(\lambda) \sin 90^\circ = \sin \alpha'$, $\alpha' \ \varnothing$ – ПВО

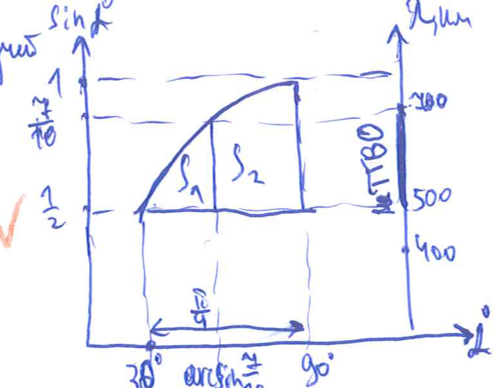
2. β – min, $\sin \beta = \cancel{\frac{r}{\sqrt{R^2+r^2}}} = \cancel{\frac{r}{\sqrt{5r^2}}} = \cancel{\frac{1}{\sqrt{5}}}$ $\frac{r}{2R} = \frac{1}{2}$

$n(\lambda) \cdot \frac{1}{2} = \sin \beta'$, $\nexists \beta'$: $n(\lambda) \geq 2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{a}{\lambda} < 2$: $\lambda \in (500; 700)$ (нм) $\Rightarrow \lambda \in (400; 500)$ (нм) – ПВО всегда

3: γ : $\lambda = 700$: $n(700 \text{ нм}) \sin\gamma = \frac{10}{7} \sin\gamma = \sin\gamma' \Rightarrow \sin\gamma = \frac{7}{10}$

k – отношение испытывающих ПВО лучей к их изначальному кол-ву



$\lambda \in (400; 500)$ (нм) – $k = 1$

$\lambda \in (500; 700)$ (нм) – $k = \frac{\arcsin\frac{a}{\lambda} - 30}{60}$

$\frac{P_{общ}}{S_1 + S_2} = \frac{P_{ост.}}{S_2}$, $\quad P_{ост} = \frac{S_2 P_{общ}}{S_1 + S_2}$

$S_1 + S_2 = \int_{30^\circ}^{90^\circ} \sin x \, dx - \frac{1}{2}\frac{\pi}{4} = -\cos x \Big|_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} - \frac{\pi}{8} = \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\pi}{8} \approx 1{,}1$

$S_2 = \int_{30}^{\arcsin\frac{7}{10}} \cancel{\sin x \, dx - \frac{1}{2}\left(\arcsin\frac{7}{10} - \frac{\pi}{4}\right)} =$

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

18-15-58-07
(151.5)

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

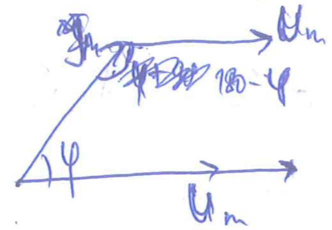
Черновик

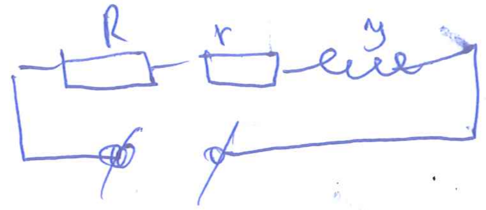
№3) $U = U_0 \sin \omega t$; $U_{комп.} = U_0 e^{i\omega t}$ $\quad J = \mathrm{Im}(J_{компл.}) = \frac{U_0}{R} e^{i\omega t - \varphi}$

$\varphi = \arctg \frac{\mathrm{Im}\, z}{\mathrm{Re}\, z}$, $\varphi = \arctg \frac{\mathrm{Im}\, z}{\mathrm{Re}\, z} = \mathrm{tg}\,\varphi$ $\quad R = \sqrt{\mathrm{Im}^2 z + \mathrm{Re}^2 z} =$

$\mathrm{Im}^2 z = \mathrm{tg}^2\varphi \, \mathrm{Re}^2 z$ $\quad \sqrt{\mathrm{Im}^2 z + \mathrm{Re}^2 z} = \mathrm{Re}\, z \sqrt{\mathrm{tg}^2\varphi + 1}$

$\mathrm{Re}\, z \, J^2 = \frac{U_0}{}$





$z = R + r + i\omega L = \sqrt{(R+r)^2 + (\omega L)^2} \, e^{i \arctg\left(\frac{\omega L}{R+r}\right)}$

$J(t) = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + (\omega L)^2}} \sin\left(\omega t + \arctg\frac{\omega L}{R+r}\right)$

U_R

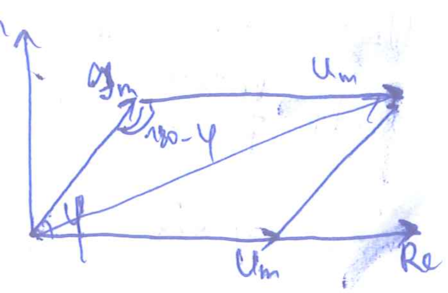
$U^2 - U_L^2 = J^2\left((R+r)^2 - r^2 + \cancel{(\omega L)^2} - \cancel{(\omega L)^2}\right) = J^2(2Rr - r^2 = J^2 2Rr - J^2 R^2$

$J^2 r^2 =$

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

Чистовик

№3) Вопрос



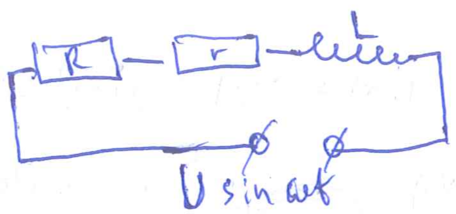
~~На комплексной плоскости~~

$$P = \mathfrak{I}_g U_g = \frac{|\vec{\mathfrak{I}}_m||\vec{U}_m|\cos\varphi}{\sqrt{2}\cdot\sqrt{2}} = \frac{\mathfrak{I}_m U_m \cos\varphi}{2}$$

Ответ: $\dfrac{\mathfrak{I}_m U_m \cos\varphi}{2}$ (+)

Задача:

$\dfrac{U}{\sqrt{2}} = 220$ В, $\dfrac{U_R}{\sqrt{2}} = 120$ В, $\dfrac{U_L}{\sqrt{2}} = 160$ В



$$Z = R + r + i\omega L = \sqrt{(R+r)^2 + (\omega L)^2}\, e^{i\,\mathrm{arctg}\left(\frac{\omega L}{R+r}\right)}$$

$$\mathfrak{I}(t) = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2+(\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \mathrm{arctg}\frac{\omega L}{R+r}\right) \qquad \mathfrak{I} = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2+(\omega L)^2}}$$

$$\mathfrak{I}_L(t) = \mathrm{Im}\left(\frac{U_L}{\sqrt{r^2+(\omega L)^2}}\, e^{i\left(\omega t - \mathrm{arctg}\left(\frac{\omega L}{r}\right)\right)}\right) = \frac{U_L}{\sqrt{r^2+(\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \mathrm{arctg}\left(\frac{\omega L}{r}\right)\right)$$

$$\mathfrak{I}_L = \frac{U_L}{\sqrt{r^2+(\omega L)^2}} = \mathfrak{I} = \frac{U_R}{R}$$

$$U^2 - U_L^2 = \mathfrak{I}^2\left((R+r)^2 - r^2 + \cancel{(\omega L)^2} - \cancel{(\omega L)^2}\right) = \mathfrak{I}^2(2Rr + R^2) = 2\mathfrak{I}^2 Rr + \mathfrak{I}^2 R^2$$

$$\mathfrak{I}^2 R^2 = U_R^2 \Rightarrow \quad 2\mathfrak{I}^2 Rr = U^2 - U_L^2 - U_R^2; \qquad \mathfrak{I}_g = \frac{\mathfrak{I}}{\sqrt{2}}$$

$$P = \frac{\mathfrak{I}^2 r}{2} = \frac{\frac{U^2}{2} - \frac{U_L^2}{2} - \frac{U_R^2}{2}}{2R} = \frac{48400 - 14400 - 25600}{42} = 200 \text{ Вт}$$

Ответ: 200 Вт (+)

Черновик

$n \sin 60 = 2 \sin\varphi \quad \frac{\sqrt{3}}{2}$