



22-49-08-47
(151.4)



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

Вариант 5

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

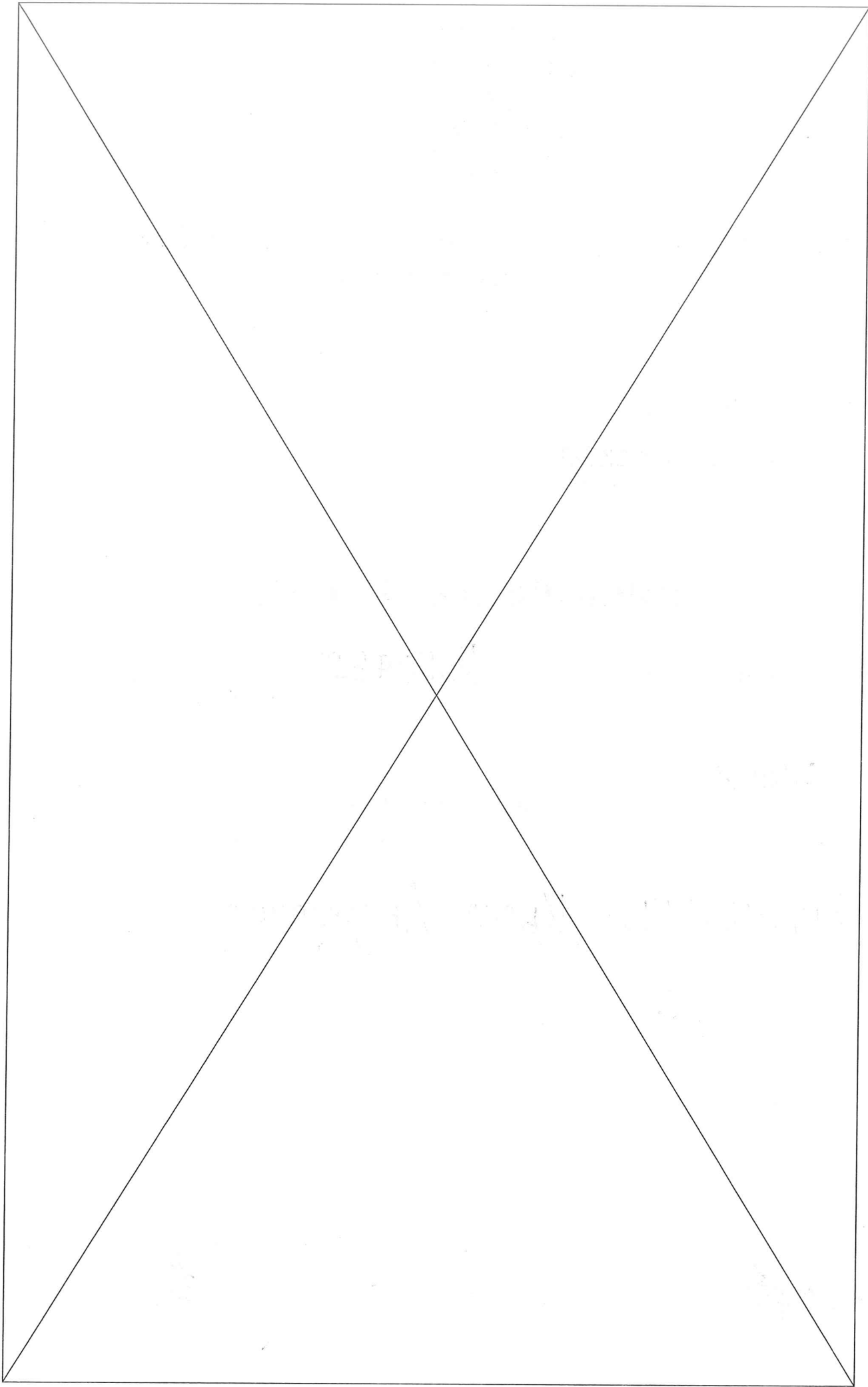
Олимпиада школьников РоботФест
наименование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

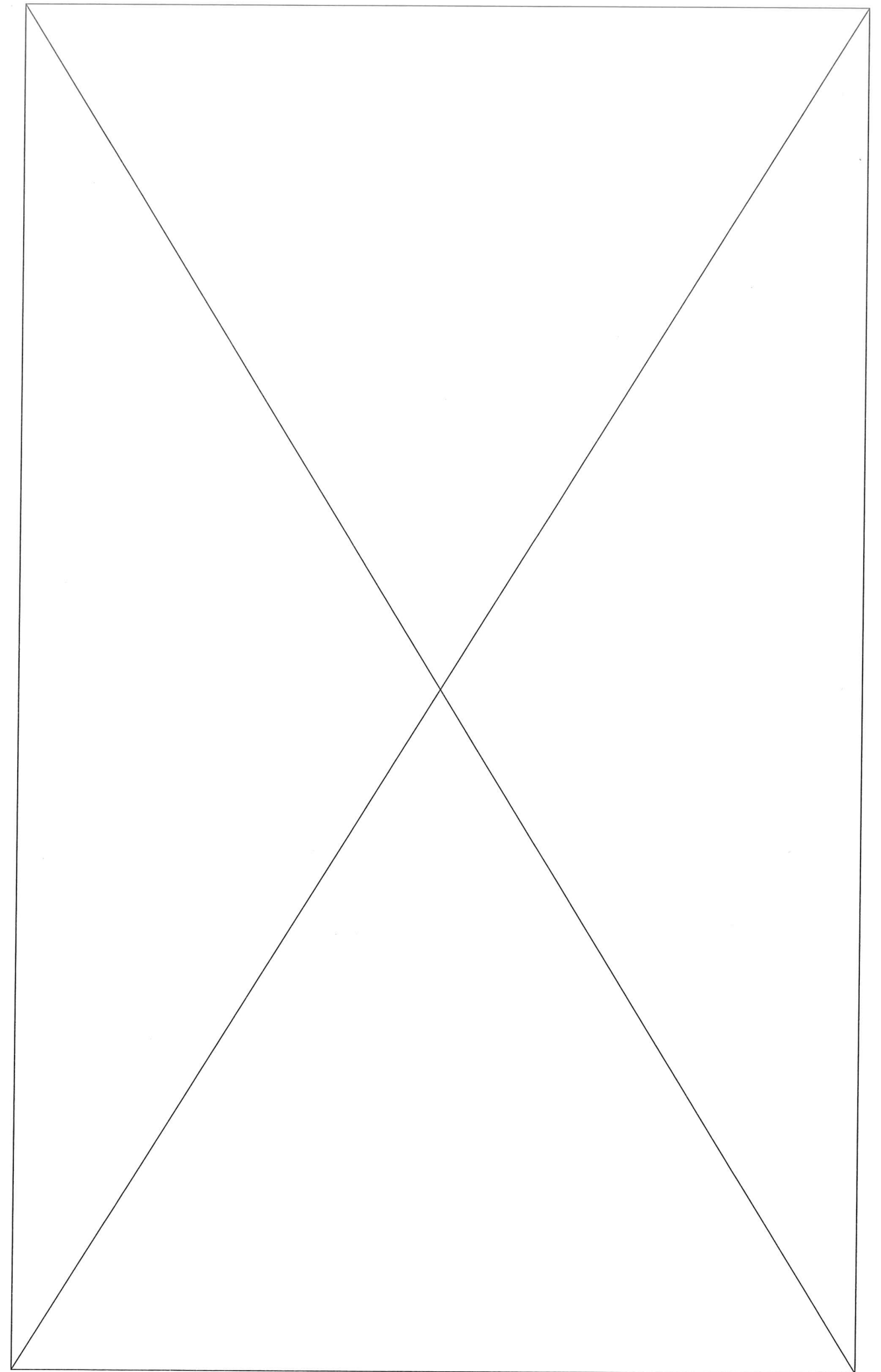
Никольченко Ивана Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата
«04» апреля 2026 года

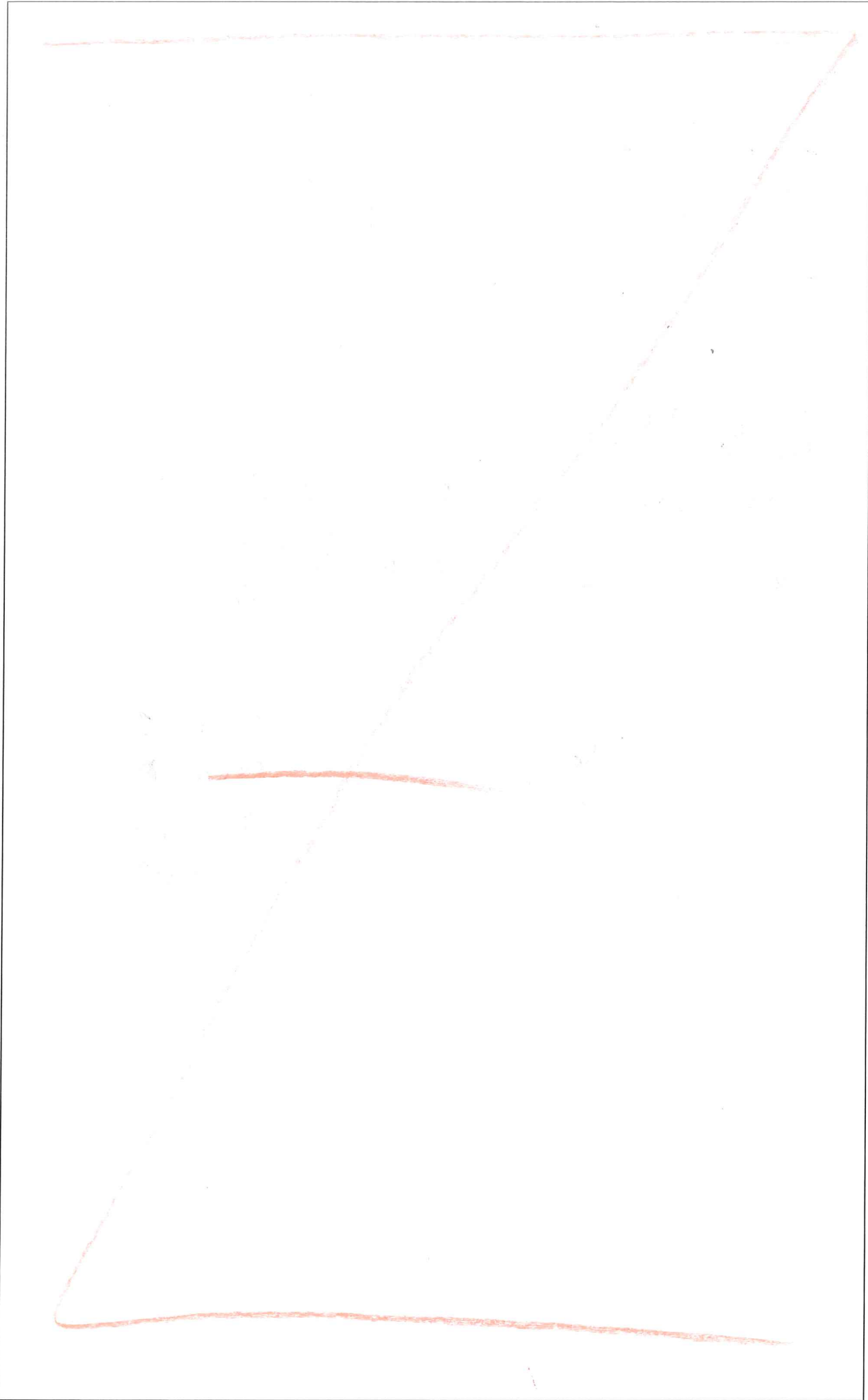
Подпись участника
[Signature]



Выполнять задания на титульном листе запрещается!



Выполнять задания на титульном листе запрещается!

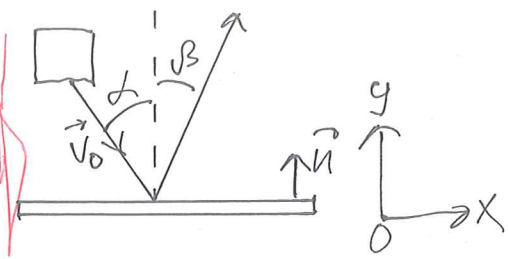


22-49-88-47
(151.4)

ВОПРОС:

N 1

Чистовик



$\alpha = 40^\circ$
 V_0
 $u = \frac{V_0}{2}$

- т.к. плита гладкая, то во время удара кубика о плиту на кубик действуют лишь нормальные силы (касательные отсутствуют) \Rightarrow сохраняется импульс кубика в проекции на OX (сохраняется скорость $- V_0 \sin \alpha$)
 \Rightarrow перейдем в систему отсчета связанную с массивной плитой. $\Rightarrow V_{0x, \text{кубика}} = V_0 \cos \alpha + u$

$\Rightarrow V_{\text{кубика}} = V_0 \cos \alpha + 2u = V_0 \cos \alpha + V_0 = V_0 (\cos \alpha + 1)$ (1)

$\tan \beta = \frac{V_y'}{V_x'} = \frac{V_0 \sin \alpha}{V_0 (\cos \alpha + 1)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha + 1} = \frac{0,6428}{0,766 + 1} \approx 0,364$

$\beta = \arctan(0,364) \approx 20^\circ$

ЗАДАЧА:

$\sin \alpha = 0,8$
 $\Rightarrow \cos \alpha = 0,6$
 $u = V_0/5$
 $\alpha + \beta = 90^\circ$
 $\beta' = 0$

- изменение импульса V по OY происходит за счет действия на него (со стороны плиты) силы реакции опоры.

из (1): $\Delta P_{Oy} = N \cdot \Delta t = V_0 \cos \alpha + 2u - (-V_0 \cos \alpha) = 2V_0 \cos \alpha + 2u$

- т.к. сила трения не "погасит" весь импульс кубика по OX, то время действия, в процессе которого происходило изменение импульса по OX, также равно Δt :

$\Rightarrow \Delta P_{Ox} = m N \cdot \Delta t = V_0 \sin \alpha - V_x'$ (2)

т.к. $\alpha + \beta = 90^\circ \Rightarrow \sin \beta = 0,6 \quad \cos \beta = 0,8 \Rightarrow \tan \beta = 0,75$

$\tan \beta = \frac{V_x'}{V_0 \cos \alpha + 2u} \Rightarrow V_x' = \tan \beta (V_0 \cos \alpha + 0,4V_0) = V_0 \tan \beta (\cos \alpha + 0,4)$

из (2): $m = \frac{V_0 \sin \alpha - V_x'}{N \Delta t} = \frac{V_0 \sin \alpha - V_0 \tan \beta (\cos \alpha + 0,4)}{2V_0 \cos \alpha + 0,4V_0} = \frac{\sin \alpha - \tan \beta (\cos \alpha + 0,4)}{2 \cos \alpha + 0,4}$
 $= \frac{0,8 - 0,75(0,6 + 0,4)}{1,2 + 0,4} = \frac{0,05}{1,6} = 0,03125$

Оценка за теор. 74 - 54
 Итоговая оценка - 31
 (восьмидесят девять)
 Оценка за теор. 74 - 54
 Итоговая оценка - 31
 (восьмидесят девять)

- угол отражения стает равен 0° , если $V_x' = 0$

$\Rightarrow \mu' \Delta t = V \sin \alpha$

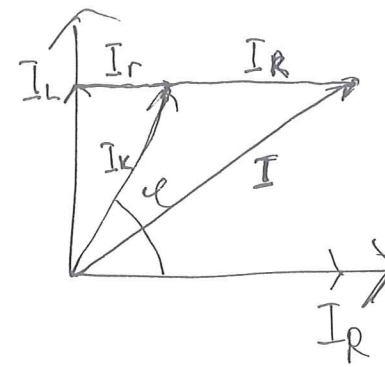
$$\mu' = \frac{V \sin \alpha}{\Delta t} = \frac{V \sin \alpha}{2V \cos \alpha + 0,4V} = \frac{\sin \alpha}{2 \cos \alpha + 0,4} \approx \frac{0,8}{2,6} \approx 0,31$$

- μ' может быть $\geq 0,5$, но в случает $\geq 0,5$ время действия сил трения будет меньше времени удара

Ответ: $\mu = 0,3125$
 $\mu' = 0,5$

Чистовик

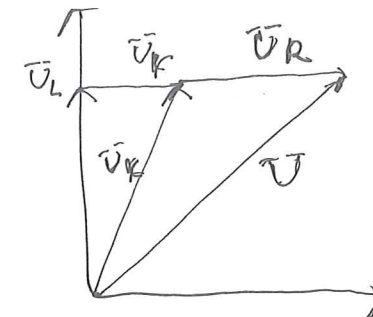
ЧЕРНОВИК:



$$I_K^2 = I_R^2 + I_L^2 = 1$$

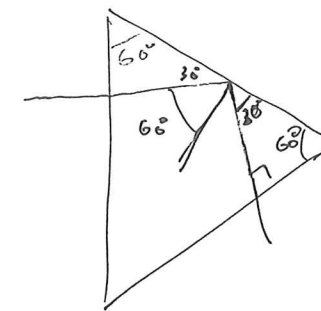
$$I_K = I_R = \frac{120}{27}$$

$$P = I_g \cdot U_K \cdot \cos \alpha = \frac{120}{27}$$

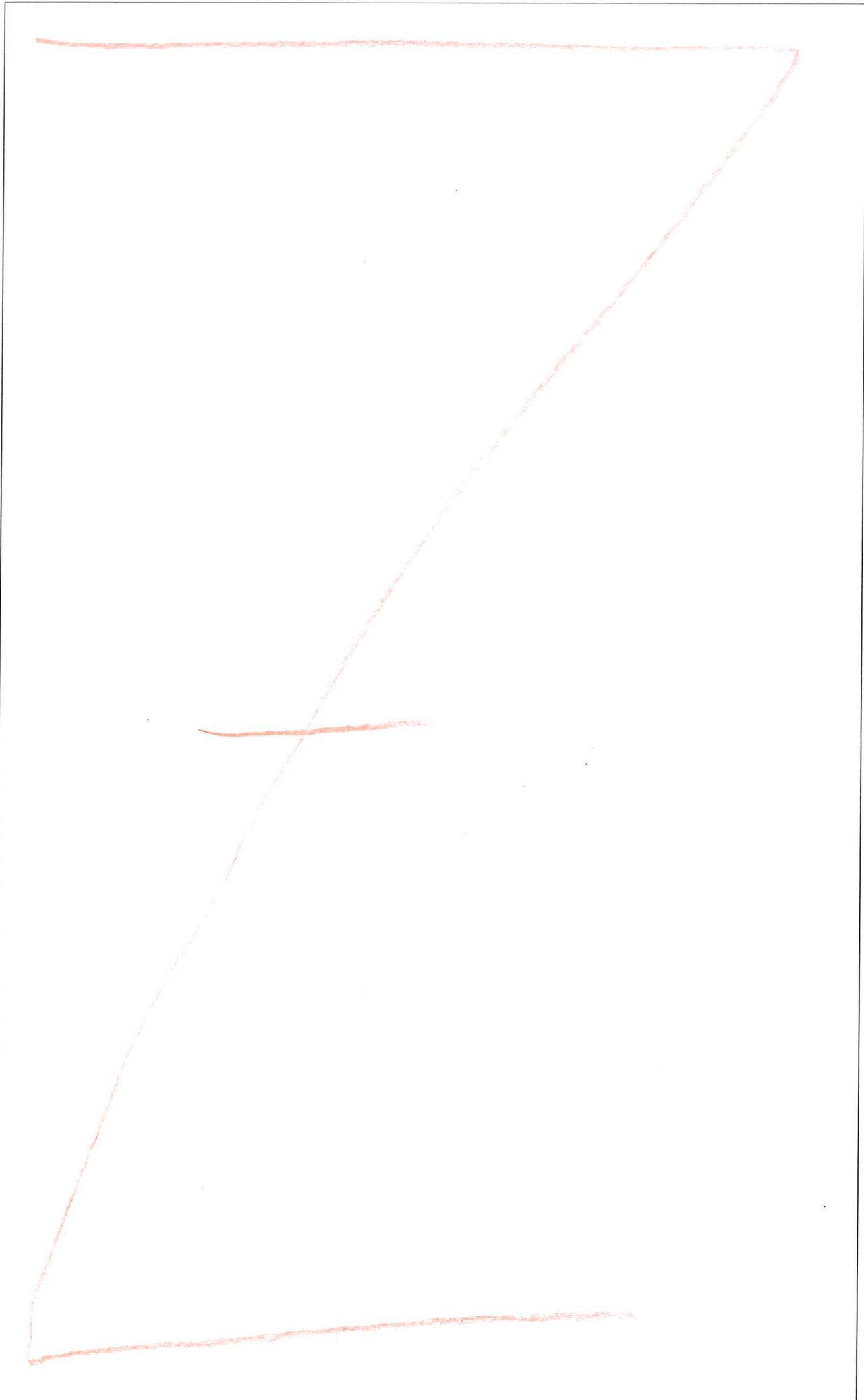


$$U^2 = U_K^2 + U_R^2 + 2U_K U_R \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{U^2 - U_K^2 - U_R^2}{2U_K U_R}$$



$\sin \alpha_{кр} = \frac{1}{n} = \frac{1}{\sqrt{2}}$
 $\alpha_{кр} = \frac{1}{n} = \frac{\sqrt{2}}{2}$
 $\alpha = 45^\circ$

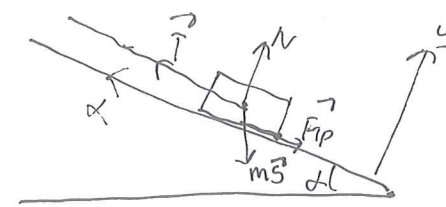


22-49-08-47
(151.4)

N2

Чисто звук

Вопрос:



$$Ox: 0 = T - mg \cdot \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$$

$$Oy: N = mg \cos \alpha$$

$$+T = mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = k \cdot m$$

$$F = T \sim m \quad F = k \cdot m = a \cdot I \text{ (т.к. по условию } I \sim F) \Rightarrow I = \frac{k \cdot m}{a}$$

$$\mathcal{E} \cdot I = RI^2 + F \cdot V +$$

$$P_{\text{пол}} = F \cdot V = \mathcal{E} \cdot I - RI^2 \quad P_{\text{пол}}(m) = \frac{\mathcal{E} \cdot k}{a} m - \frac{Rk^2}{a^2} m^2 +$$



т.к. $\mathcal{E} = \text{const}$, $R = \text{const} \Rightarrow$ графиком зависимости полезной мощности нагрузки от массы груза является парабола, вершина которой направлена вниз. +

Задача:

$$U = 200 \text{ В} = \mathcal{E}$$

$$R = 4 \text{ Ом}$$

$$m_{\text{max}} = 500 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1,2 m_1$$

$$V_1 = 1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$m_1 = ?$$

$$P_1 = ?$$

$$V_2 = ?$$

- согласно графику максимальная полезная мощность будет достигаться в вершине параболы.

$$\Rightarrow m_1 = \frac{\mathcal{E} \cdot k \cdot a^2}{2Rk} = \frac{\mathcal{E} \cdot a}{2Rk} \Rightarrow P_1 = \frac{\mathcal{E} \cdot k \cdot \mathcal{E} \cdot a}{2Rk} - \frac{Rk^2 \cdot \mathcal{E}^2}{4a^2 Rk^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{4R} = 2500 \text{ Вт}$$

$P_{\text{пол}} = 0$, если $m = 0$ и $m = m_{\text{max}}$

$$\Rightarrow \mathcal{E} - \frac{Rk}{a} m_{\text{max}} = 0 \Rightarrow \frac{k}{a} = \frac{\mathcal{E}}{R \cdot m_{\text{max}}}$$

$$\Rightarrow m_1 = \frac{\mathcal{E} \cdot R \cdot m_{\text{max}}}{2R \cdot \mathcal{E}} = \frac{R \cdot m_{\text{max}}}{R \cdot 2} = 250 \text{ (кг)} + //$$

$$u_3(2): aI \cdot V = \mathcal{E}I - RI^2 \Rightarrow V = \frac{\mathcal{E}}{a} - \frac{RI}{a} = \frac{\mathcal{E}}{a} - \frac{R \cdot k \cdot m}{a \cdot a} =$$

$$= \frac{\mathcal{E}}{a} - \frac{R \cdot \mathcal{E} \cdot m}{a \cdot R \cdot m_{\text{max}}} = \frac{\mathcal{E}}{a} \left(1 - \frac{m}{m_{\text{max}}}\right) \Rightarrow \frac{\mathcal{E}}{a} = \frac{V \cdot m_{\text{max}}}{m_{\text{max}} - m} = \frac{V_1 \cdot m_{\text{max}}}{m_{\text{max}} - m_1}$$

$$V_2 = \frac{\mathcal{E}}{a} \left(\frac{m_{\text{max}} - m_2}{m_{\text{max}}}\right) = \frac{V_1 \cdot m_{\text{max}} (m_{\text{max}} - m_2)}{(m_{\text{max}} - m_1) m_{\text{max}}} = \frac{1,25 (500 - 1,2 \cdot 250)}{500 - 250} =$$

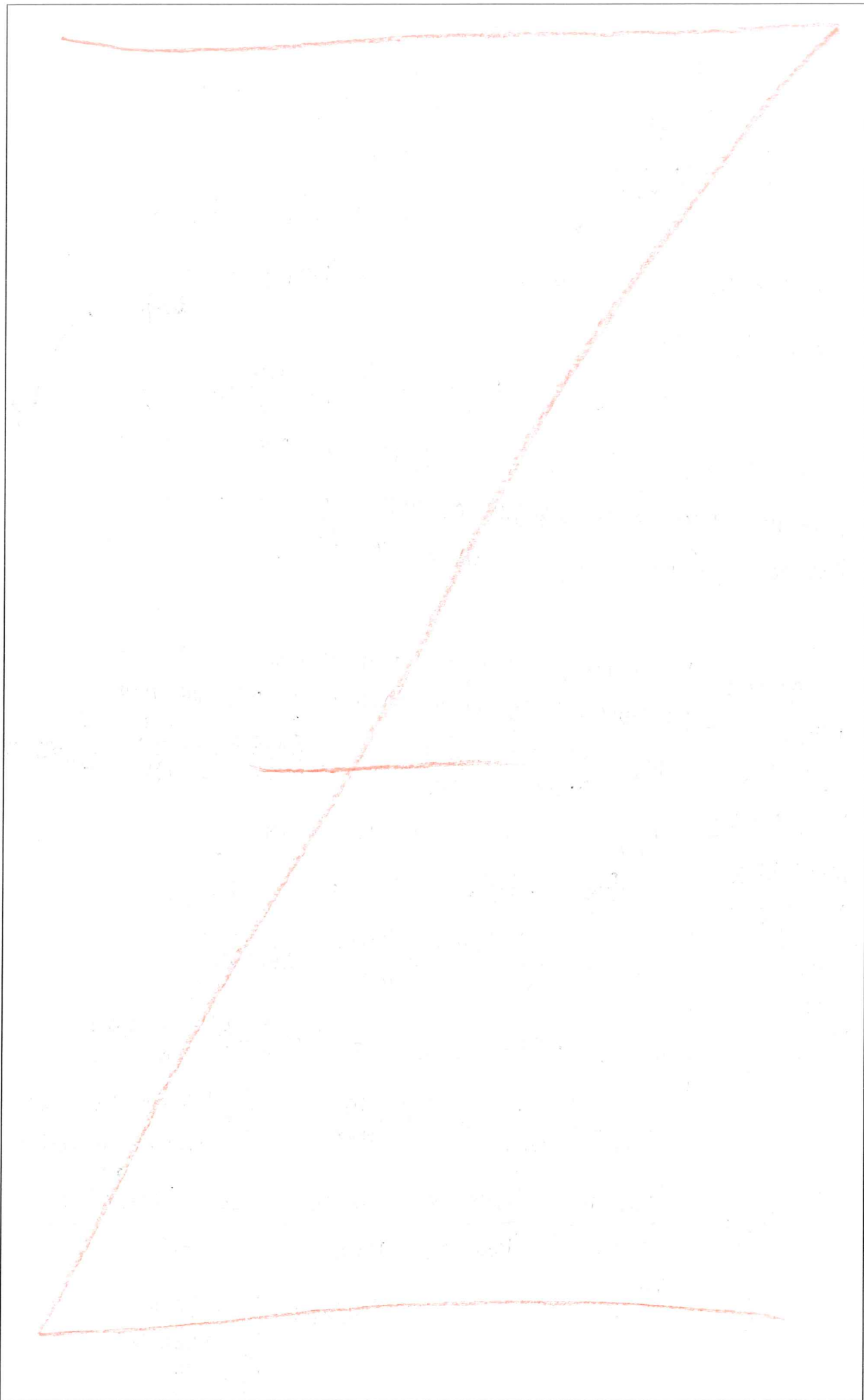
$$= \frac{250}{250} = 1 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right) //$$

Ответ: $m_1 = 250 \text{ кг}$

$P_1 = 2500 \text{ Вт}$

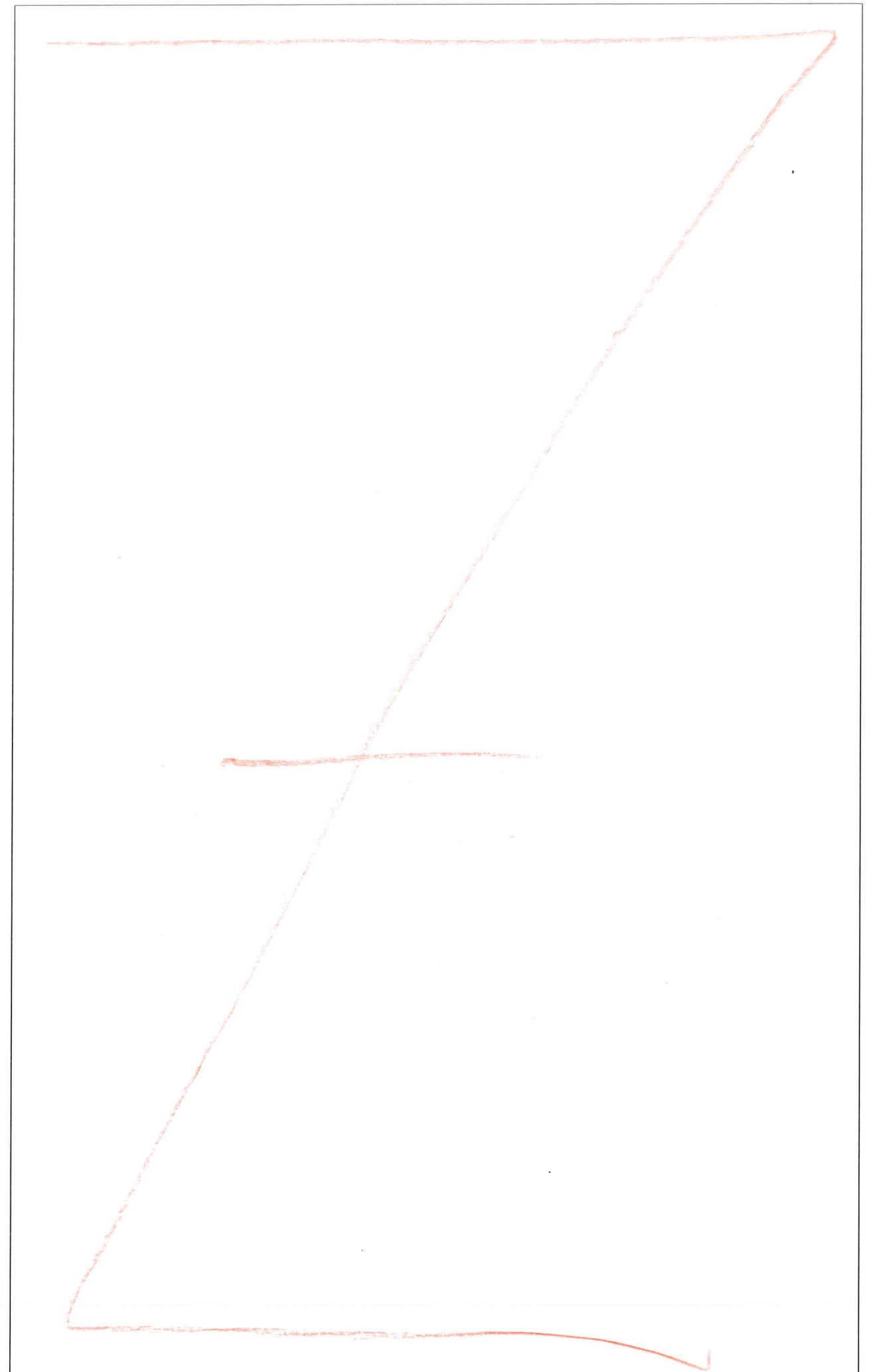
$V_2 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ



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

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ



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

$$\Rightarrow \eta = \frac{2r-x}{r} = 2 - \frac{2}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}-2}{\sqrt{2}} \approx 0,59 \text{ (или } 59\%)$$

$$n_{np} = \frac{1}{\sin 30^\circ} = 2 = \frac{a}{d_{np}} \Rightarrow d_{np} = \frac{a}{2} = 500 \text{ (км)}$$

из оставшегося пучка пройдут только те, ~~а~~ r которых ≤ 500 км

$$\eta' = \frac{500-400}{700-400} = \frac{100}{300} = \frac{1}{3}$$

- лучи, которые пройдут через первый изгиб, пройдут и через второй.

$$\Rightarrow P_{кон.} = P_n \cdot (\eta + \eta'(1-\eta)) = 15 \left(\frac{2\sqrt{2}-2}{\sqrt{2}} + \frac{1}{3} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} - 1 \right) \right) =$$

$$= 15 \frac{6\sqrt{2}-6 + 2\sqrt{2}-\sqrt{2}}{3\sqrt{2}} = 5 \frac{5\sqrt{2}-6}{\sqrt{2}} \approx 10,9 \text{ (Вт)}$$

ЧИСТОВЫК

нет условия попадания на приемник
 Ответ: $\eta = 0,59$ (59%)
 в общем виде
 $P_{кон} = 10,9$ Вт
 15



22-49-08-47
(151)

ВОПРОС

N3

ЧИСТОВЫК

I_m

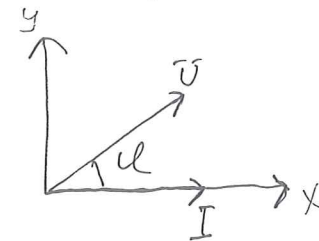
U_m

φ

Рер-?

- согласно опр. средняя мощность равна произведению действительных значений тока и напряжения

$$I_g = \frac{I}{\sqrt{2}} \quad U_g = \frac{U}{\sqrt{2}}$$



- будем считать, что начальная фаза тока = 0 $\Rightarrow \varphi_U = \varphi$
 - согласно векторному произведению $\vec{U} \cdot \vec{I} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

$$\Rightarrow P_{cp} = U_g \cdot I_g \cdot \cos \varphi = \frac{I_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos \varphi //$$

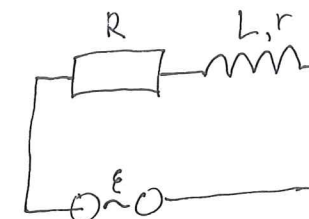
ЗАДАЧА:

$U = 220$ В

$R = 22$ Ом

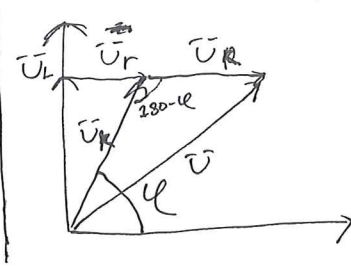
$U_R = 120$ В

$U_L = 160$ В



- напряжение на катушке ~~определено~~ n_{np} на резисторе на $\frac{U}{2}$.

Рерк-?



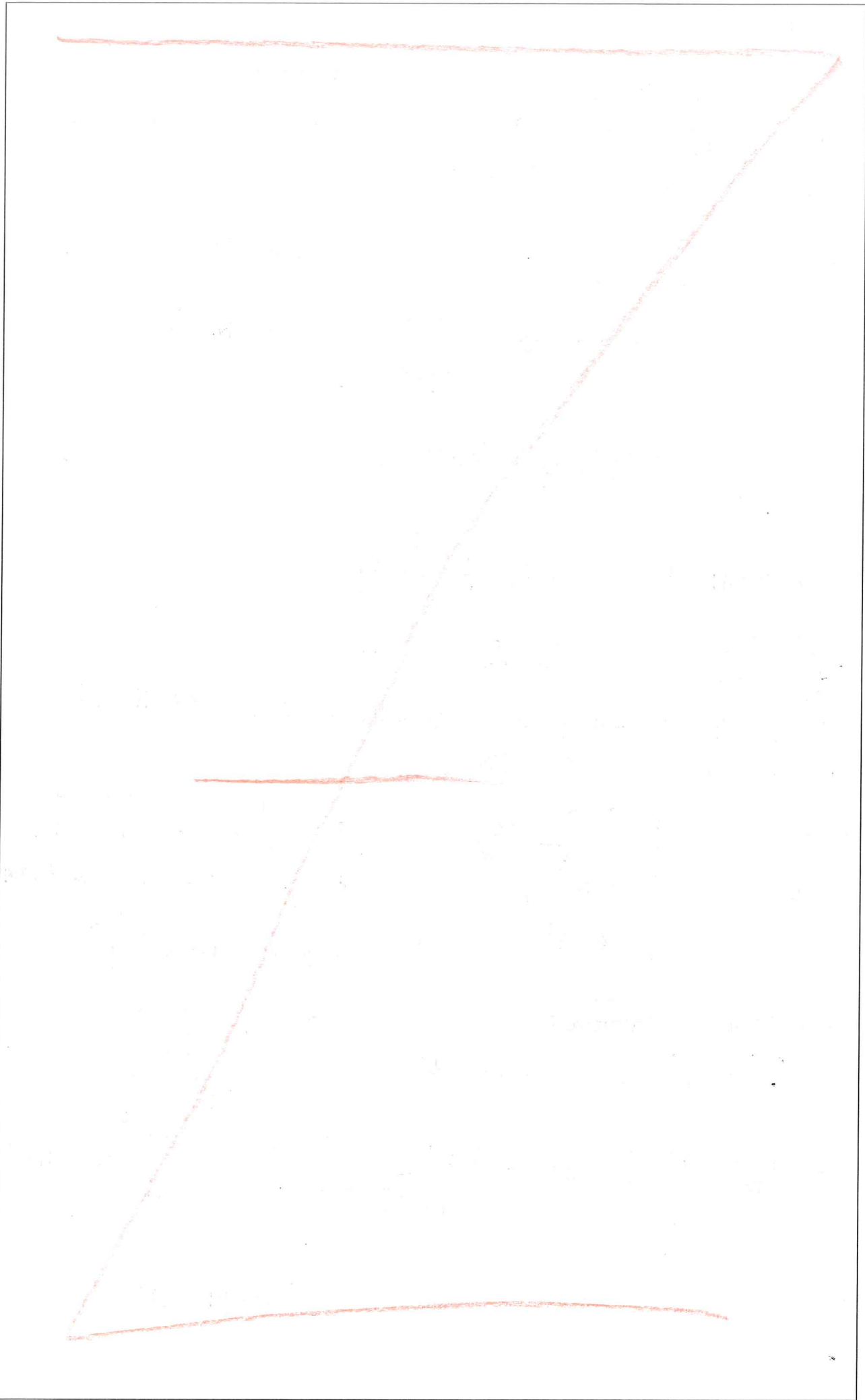
- сила тока на катушке и резисторе одинакова тк они подключены последовательно $\Rightarrow I_{действ} \text{ на катушке} = \frac{U_R}{R}$

- по теореме Пифагора:

$$U^2 = U_k^2 + U_R^2 + 2U_k \cdot U_R \cdot \cos \varphi \Rightarrow \cos \varphi = \frac{U^2 - U_k^2 - U_R^2}{2U_k \cdot U_R}$$

$$\Rightarrow P_{cp.k} = U_k \cdot I_k \cdot \cos \varphi = \frac{U_k \cdot U_R}{R} \cdot \frac{U^2 - U_k^2 - U_R^2}{2U_k \cdot U_R} = \frac{8400}{2 \cdot 22} = 200 \text{ (Вт)}$$

Ответ: 200 Вт



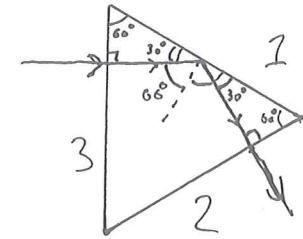
N4

Чистовик

ВОПРОС:

$n = 1,4$

$\sin \alpha_{кр} = \frac{1}{n} \approx 0,71 \Rightarrow \alpha_{кр} \approx 45^\circ$



- т.к. лучик падает на грань N3 нормально, то в призме он не преломляется.
 - далее при падении на грань N1 лучик испытывает полное внутреннее отражение (т.к. $\alpha = 60^\circ > \alpha_{кр} \approx 45^\circ$) и отражается под углом 30° к грани N1
 - из чего следует, что на грань N2 лучик падает нормально и выходит из нее без смены направления.
- \Rightarrow лучик впервые выйдет наружу через грань N2 +100

Задача:

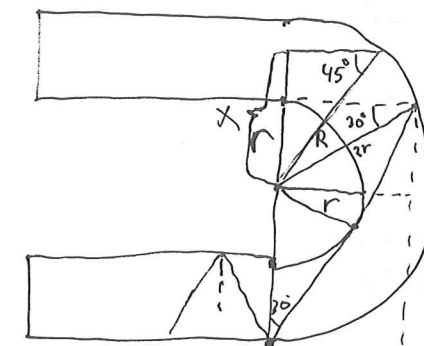
$R = 2r$

$P_n = 15 \text{ ВТ}$

$\lambda \in [400; 700] \text{ нм}$

$n(\lambda) = \frac{a}{\lambda}$

$a = 1000 \text{ нм}$



$n_{\max} = \frac{a}{\lambda_{\min}} = 2,5 \quad n_{\min} = \frac{a}{\lambda_{\max}} \approx 1,4$

$\sin \alpha_{кр \min} = \frac{1}{n_{\max}} = 0,4 \quad \sin \alpha_{кр \max} = \frac{1}{n_{\min}} \approx 0,71$

$\alpha_{кр \min} = 23,6^\circ$ со всеми длинами волн $\alpha_{кр \max} \approx 45^\circ$ на первом изгибе

- весь пучок света испытывает ПВО на первом изгибе когда угол падения на внешнюю поверхность $\geq 45^\circ$ ($\alpha_{кр \max}$) +10

- (из геометрических соображений) $2x^2 = R^2 \quad x^2 = \frac{R^2}{2} \quad x = \frac{R}{\sqrt{2}} = \frac{2r}{\sqrt{2}}$

За 4-ую задачу у меня стоит 7 баллов. Как я понимаю они складываются из первых трёх критериев. Мне хотелось бы, чтобы мне зачли 4-ый критерий, поскольку у меня в работе написано, что все лучи, которые прошли через первый изгиб пройдут и через второй (на рисунке я построил световой пучок, попадающий на первую грань под самым острым углом в 30 градусов, и показал, что на следующую грань он попадает под тем же самым углом и вследствие испытывает ПВО; все остальные лучи попадают на первую грань под более тупым углом, поэтому во второй раз они тоже испытывают ПВО). То, что лучи пройдут через два поворота, и является условием попадания на приемник (факт довольно очевидный - в моей работе написано, что это условие не указано). Кроме того, мне бы хотелось один балл за 5-ый критерий - мною была правильно найдена граница длины волны, после которой все лучи испытывают ПВО (это условие не помогло мне сделать правильные выводы, поскольку все производилось в последние пять минут написания работы).

Решение АК:
повысить сумму 72 к. баллов
на 1 балл: и больше сумма
88 баллов (информация к.к.)
Зам. канд. наук [подпись]