



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения Москва  
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников Ломоносов  
наименование олимпиады

по физике  
профиль олимпиады

Ермакова Кирилла Алексеевича  
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

Дата

«14» февраля 2025 года

Подпись участника

[Signature]

93-01-34-94  
(4.4)

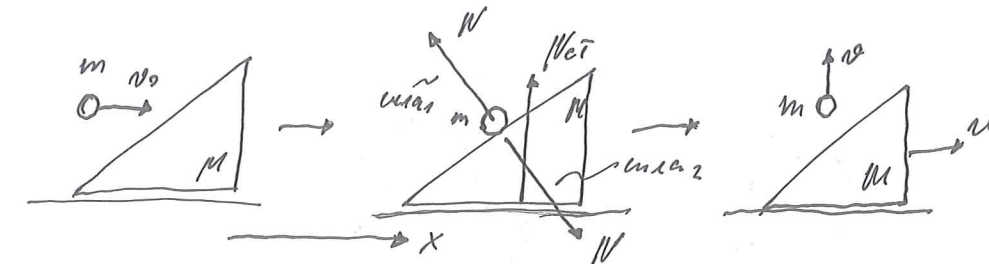
# ЧИСЛОЗИК

1.1. Задача:

Дано:

$$\begin{aligned} m &= 36 \text{ г} \\ M &= 100 \text{ г} \\ v_0 &= 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \end{aligned}$$

S = ?



1) Рассмотрим с-м "шарик + клин" в процессе соударения. N - ударная сила  $\Rightarrow N_{\text{ст}} \Rightarrow mg \Rightarrow R_{\text{вн}} = (m+M)g + N_{\text{ст}} \approx N_{\text{ст}}$   
 $R_{\text{вн}} = 0$ ;  $\Delta \vec{p}_{\text{ос}} = \vec{R}_{\text{вн}} \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta p_{\text{ос}} = 0 \Rightarrow p_{\text{ос}} = \text{const}$  в процессе удара.

В системе берем ЗСИ по оси x:  $mv_0 = Mu \Rightarrow u = v_0 \frac{m}{M}$

2) АМЕРПот =  $A_1 + A_2 + A_{\text{ст}}$ ;  $A_1 + A_2 = 0$ , т.к. удар упругий;  $A_{\text{ст}} = 0$ , т.к.  $N_{\text{ст}} \perp u$

АМЕРПот = 0  $\Rightarrow$  для с-м берем ЗСЭ:  $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mu^2$   
 $mv_0^2 = mv^2 + Mu^2 \Rightarrow v_0^2 = v^2 + \frac{m}{M}v^2 \Rightarrow v^2 = v_0^2 (1 - \frac{m}{M})$

3)  $\begin{cases} \text{за время } t \\ h \\ y \end{cases}$   $\begin{cases} \text{ЗСЭ для шарика: } \frac{1}{2}mv^2 = mgh \\ h = \frac{v^2}{2g} \\ y: 0 = v - gt \Rightarrow t = \frac{v}{g} = \frac{v_0}{g} \sqrt{1 - \frac{m}{M}} \end{cases}$   
 $S = ut$

$$S = v_0 \frac{m}{M} \cdot \frac{v_0}{g} \sqrt{1 - \frac{m}{M}} ; \boxed{S = \frac{v_0^2}{g} \cdot \frac{m}{M} \cdot \sqrt{1 - \frac{m}{M}}}$$

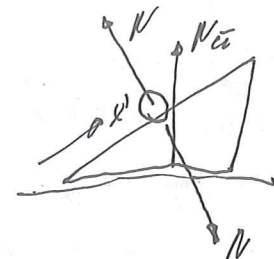
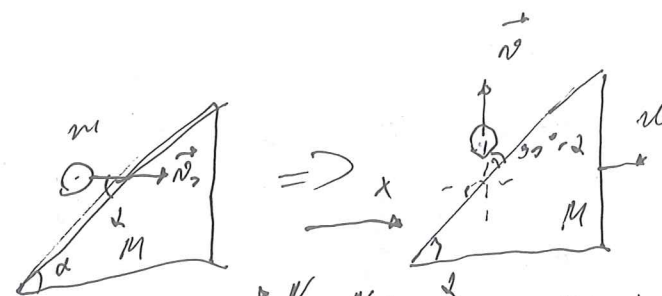
$$S = \frac{25 \text{ м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot 100 \text{ г}} \cdot \frac{36}{100} \cdot \sqrt{1 - \frac{36}{100}} = \frac{25}{10} \cdot \frac{9}{25} \sqrt{1 - \frac{9}{25}} \text{ м} = \frac{9}{10} \cdot \sqrt{\frac{16}{25}} \text{ м} = \frac{9}{10} \cdot \frac{4}{5} \text{ м} = \frac{18}{25} \text{ м} = 0,72 \text{ м} = 72 \text{ см}$$

Даны: 0. Ответ: клин сместится на 72 см полностью

Чист. №1

# ЧЕРНОВИК

№1.1



$$\text{ЗКЗ } x: m v_0 = M u + N = N_0 \frac{m}{M}$$

$$x': m v_0 \sin \alpha = m g \sin \alpha$$

$$v = v_0 \cos \alpha$$

$$\text{ЗКЗ: } \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} M u^2$$

$$m v_0^2 = m v^2 + M u^2$$

$$v_0^2 = v^2 + \frac{m}{M} u^2 \rightarrow v^2 = v_0^2 \left(1 - \frac{m}{M}\right)$$

$$\frac{36}{100} = \frac{18}{50} = \frac{9}{25}$$

$$\frac{18}{19} = \frac{18}{19}$$

$$8 \cdot 2 = 16$$

$$16 \cdot 2 = 32$$

## ЧИСТОБИК

2.2 1.2 Задача

$$i=5$$

$$n=20\%$$

$$k=10\%$$

$$\mu = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$C_{v,m} = 7.45 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$$

$$\eta = ?$$

По определению:  $\frac{dV}{V} = n$ ;  $\frac{dP}{P} = -k$ 

Процесс пвх-ся безмехан. на м.м.

$$\delta A = \eta \delta Q \Rightarrow \eta = \frac{\delta A}{\delta Q}; \frac{1}{\eta} = \frac{\delta Q}{\delta A}$$

2) Переходим к 3-й термодинамике:  $\delta Q = dU + \delta A$ 

$$\delta A = p dV; \text{ для } dU = \frac{i}{2} \nu R dT = \frac{5}{2} \nu R dT$$

$$\delta Q = \frac{5}{2} \nu R dT + p dV$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\frac{5}{2} \nu R dT + p dV}{p dV} = 1 + \frac{5 \nu R dT}{2 p dV}$$

2) Упр-ние Менделеева-Клапейрона:  $pV = \nu R T$ 

$$d(pV) = d(\nu R T) \rightarrow dpV + p dV = \nu R dT$$

$$\frac{1}{\eta} = 1 + \frac{5}{2} \cdot \frac{dpV + p dV}{p dV} = 1 + \frac{5}{2} + \frac{5}{2} \cdot \frac{V}{dV} \cdot \frac{dP}{P} = \frac{7}{2} + \frac{5}{2} \left( \frac{1}{n} - k \right) = \frac{7 + 5 \left( \frac{1}{n} - k \right)}{2}$$

$$\boxed{\eta = \frac{2}{7 + 5 \left( \frac{1}{n} - k \right)}}$$

$$\eta = \frac{2}{7 + 5 \left( \frac{1}{0.2} - 1 \right)} = \frac{2}{7 + 5 \cdot 4} = \frac{2}{14 + 5} = \frac{2}{19} \approx 0.105 = 10.5\%$$

Ответ: 10.5% теплоты, получ. газом превращается в работу

$$\frac{1}{\eta} = \frac{7}{2} + \frac{5}{2} \left( -\frac{k}{n} \right) = \frac{7}{2} - \frac{5k}{2n} = \frac{7n - 5k}{4n} \rightarrow \boxed{\eta = \frac{4n}{7n - 5k}}$$

$$\eta = \frac{4 \cdot 0.2}{7 \cdot 0.2 - 5} = \frac{0.8}{1.4 - 5} = \frac{0.8}{-3.6} \approx -0.222 = -22.2\%$$

Ответ: 22.2% теплоты, получ. газом превращается в работу

# ЧЕРНОВИК

$$\eta = \frac{dV}{V}; -k = \frac{dp}{p}; \frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} \Rightarrow \frac{dT}{T} = \eta - k = 1\%$$

$$\delta Q = dU + \delta A; C_V dT = \frac{5}{2} \nu R dT + p dV \quad \text{и} \quad \delta A = \eta \delta Q$$

$$\eta = \frac{p dV}{C_V dT}; p dV + dp V = \nu R dT \Rightarrow p dV = \nu R dT - dp V \quad \text{и} \quad \eta = \frac{\delta A}{\delta Q}$$

$$\eta = \frac{\nu R dT}{C_V dT} - \frac{dp V}{C_V dT} = \frac{\nu R}{C_V} - \frac{dp V}{C_V dT}; p dV = (C_V - \frac{5}{2} \nu R) dT$$

$$\eta = 1 - \frac{5}{2} \frac{\nu R}{C_V} \quad \left| \frac{dT}{T}; \frac{dp}{p}; \frac{dV}{V}; p dV + dp V = \nu R dT \right. \quad \eta = \frac{p dV}{C_V dT}$$

$$\eta = \frac{\nu R \delta Q - dU}{\delta Q} = 1 - \frac{dU}{\delta Q} = 1 - \frac{\frac{5}{2} \nu R dT}{C_V dT} = 1 - \frac{5}{2} \frac{\nu R}{C_V}$$

$$C_V m dT = \frac{5}{2} \nu R dT \Rightarrow m = \frac{5 \nu R}{2 C_V} \quad \begin{matrix} 9.1 = 18 \\ 9.3 = 27 \\ 9.4 = 36 \end{matrix}$$

$$\delta Q = \frac{5}{2} \nu R dT + p dV$$

$$\eta = \frac{p dV}{\frac{5}{2} \nu R dT + p dV}; \frac{1}{\eta} = \frac{\frac{5}{2} \nu R dT + p dV}{p dV} = \frac{1}{\eta} + \frac{5}{2} \frac{\nu R dT}{p dV} = \frac{1}{\eta} + \frac{5}{2} \cdot \frac{p dV dp V}{p dV} =$$

$$= 1 + \frac{5}{2} \cdot \frac{5}{2} \frac{dp V}{p dV} = \frac{7}{2} + \frac{5}{2} (1 - k) \left( \frac{1}{\eta} - k \right) \quad \frac{7}{2} - \frac{5}{2} = \frac{1}{\eta} = \frac{9}{2} \Rightarrow \eta = \frac{2}{9}$$

$$\begin{array}{r} 80 \overline{) 9} \\ 72 \overline{) 80} \\ \underline{8} \end{array} \quad \begin{array}{r} 40 \overline{) 9} \\ 36 \overline{) 40} \\ \underline{4} \end{array}$$

# ЧИСТО ВУК

1.5 Задание

$$I = 8 \text{ A}$$

$$B = 0.1 \text{ T}$$

$$U = 4 \text{ В}$$

$$b = 5 \text{ мм}$$

$$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

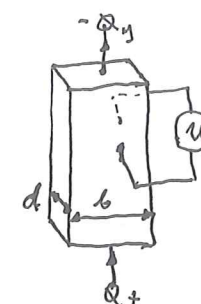
n = ?

$$1) \quad n = \frac{dN}{dV}; \quad j = \frac{dq}{dt}; \quad dq = dN \cdot e$$

$$\text{Рассмотрим элемент эл. проводимости за } dt. \quad dV = v dt \cdot S$$

$$j = \frac{dN}{dt} \cdot e = e \frac{dN}{dt} \cdot \frac{dV}{dV} = e \cdot \frac{dN}{dV} \cdot \frac{dV}{dt} = e \cdot n \cdot \frac{v dt \cdot S}{dt} \Rightarrow j = e n v S$$

2) Т.к.  $U \neq 0$ , то существует эл. поле вдоль пути д. По условию оно однородно  $\Rightarrow E = U/d \quad U = E d \Rightarrow E = \frac{U}{d}$



$$3) \quad E = B v \Rightarrow \frac{U}{d} = B v \Rightarrow v d = \frac{U}{B}$$

$$j = e n v \cdot d \cdot b = e n b \frac{U}{B} = e n \frac{U}{B} \Rightarrow \boxed{n = \frac{j B}{e U}}$$

$$n = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.1}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 10^{-22}} = 10^{-18} \cdot 10^{22} = 10^4 \text{ см}^{-3}$$

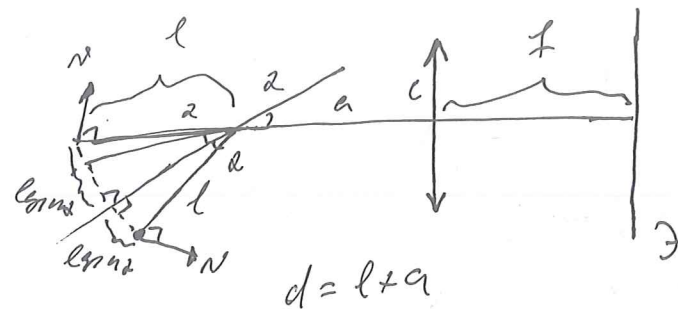
$$3) \quad E = B v \Rightarrow \frac{U}{d} = B v \Rightarrow v d = \frac{U}{B}; \quad j = e n b v d = e n b \frac{U}{B}$$

$$\boxed{n = \frac{j B}{e b U}}$$

$$n = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-1}}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{3.2 \cdot 10^{-25}} = 2.5 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{25} = 2.5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$$

$$= 10 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3} \quad \text{Ответ: Концентрация эл-нов проводимости } 10 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$$

# ЧЕРНОВИК



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_{\text{из}}}$$

$$f = \frac{F(l+a)}{l+a-F} = \frac{30(25+10)}{25+10-30} = \frac{30 \cdot 35}{5} = 30 \cdot 7 \text{ (cm)}$$

$$f' = \frac{f}{d} = \frac{f}{l+a} = \frac{30 \cdot 7}{35 \cdot 7} = 6$$

~~E=Ud~~

$$qE = ma \quad U = Ed \quad E = \frac{U}{d}$$

$$\frac{U}{d} = Bbv \rightarrow v = \frac{U}{Bb}$$

$$h = \frac{N}{V} \quad T_A = \frac{h \cdot c}{k_B \cdot T} \quad U = \varphi_1 - \varphi_2; E = \Delta \varphi / d = U / d$$

$$F_1 = qvB \quad j = \frac{I}{S} = \frac{E}{\rho l} \quad \gamma = U \rho \frac{l}{S} \Rightarrow l = \frac{\gamma S}{U \rho}$$

$$E = Bbv \quad E = \frac{F}{q} \quad qE = F; E = \frac{F}{q} \quad F = qvB \quad S = b \cdot d$$

$$E = Bbv \quad v = \frac{E}{Bb} \quad \gamma = \frac{d\varphi}{dt} \quad qE = F \quad \gamma = \frac{dN}{dt} \cdot \frac{dV}{dV} = \frac{dN}{dV} \cdot \frac{dV}{dt} e =$$

$$E = Ud \quad v = \frac{Ud}{Bb} \quad qE = F \rightarrow qE = qvB \rightarrow E = vB \quad j = env \quad n = \frac{\gamma}{vS \cdot \rho}$$

$$T_A = \frac{h \cdot c}{k_B \cdot T} \quad E = Ud \rightarrow Ud = vB \rightarrow d = \frac{vB}{U} \quad j = env \quad n = \frac{\gamma}{vS \cdot \rho}$$

$$U = \gamma R \quad S = b \cdot d = b \cdot \frac{vB}{U} \quad env = \frac{E}{\rho} \quad E = U \rho \rightarrow U = \frac{E}{\rho}$$

$$E = \gamma R d = \gamma \rho \frac{b}{U} \alpha \quad h = \frac{\gamma U}{v e b v B} = \frac{\gamma U}{b B e \cdot v^2} \quad E = U \rho \rightarrow U = \frac{E}{\rho}$$

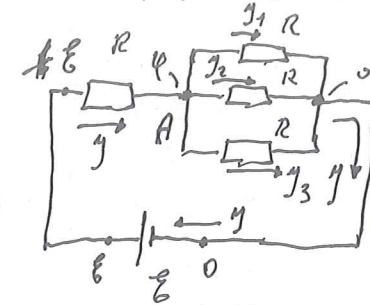
$$T_A = \frac{h \cdot c}{k_B \cdot T} \quad \gamma = \rho \frac{l}{b \cdot d} \cdot \frac{E}{\rho} \quad \frac{10}{6} \cdot \frac{1}{1.25} \quad h = \frac{\gamma B}{U d^2 \rho e}$$

$$E = Bbv \quad d = \frac{Bbv}{U} \quad \frac{U}{d} = Bv \rightarrow v = \frac{U}{B} \rightarrow \gamma = env \quad n = \frac{\gamma B}{U d^2 \rho e} \quad \gamma = env \quad n = \frac{\gamma B}{U d^2 \rho e}$$

## 1.3 Задача

$$P = 30 \text{ Вт} \quad \Delta \varphi = 2 \text{ В} \quad \xi = ?$$

## ЧИСЛОВИК



используя метод потенциалов

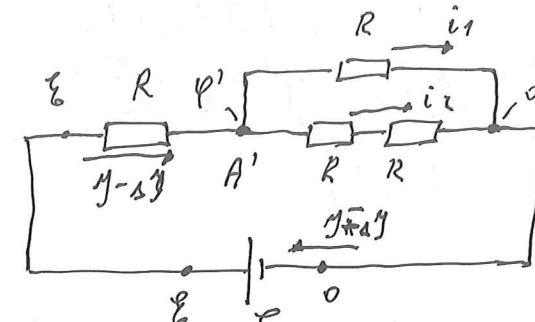
$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{I}{3} = i; \quad I = \frac{\xi - \varphi}{R}$$

$$\text{Закон Ома для замкнутого контура: } I = 3i \Rightarrow \frac{\xi - \varphi}{R} = 3i \Rightarrow \frac{\xi - \varphi}{R} = \frac{3\varphi}{R} \Rightarrow \varphi = \frac{\xi}{4}$$

$$I = \frac{\xi - \frac{\xi}{4}}{R} = \frac{3\xi}{4R}; \quad i = \frac{\xi}{4R}$$

$$P = i \cdot U_3; \quad U_3 = \varphi - 0 = \varphi = \frac{\xi}{4}; \quad P = \frac{\xi}{4R} \cdot \frac{\xi}{4} = \frac{\xi^2}{16R}$$

2)



исп. метод потенциалов

$$I - \Delta I = \frac{\xi - \varphi'}{R}; \quad i_1 = \frac{\varphi' - 0}{R}; \quad i_2 = \frac{\varphi' - 0}{2R}$$

$$\text{З-н Ома для замкнутого контура: } I - \Delta I = i_1 + i_2$$

$$\frac{\xi - \varphi'}{R} = \frac{\varphi'}{R} + \frac{\varphi'}{2R} \quad | \cdot 2R; \quad 2\xi - 2\varphi' = 2\varphi' + \varphi' \rightarrow \varphi' = \frac{2}{5} \xi$$

$$I - \Delta I = \frac{\xi - \frac{2}{5}\xi}{R} = \frac{3\xi}{5R}; \quad \Delta I = I - \frac{3\xi}{5R} = \frac{3\xi}{4R} - \frac{3\xi}{5R} = \frac{15-12}{20} \cdot \frac{\xi}{R}$$

$$\Delta I = \frac{3}{20} \frac{\xi}{R}; \quad \frac{12 \cdot 30 \text{ Вт}}{5 \cdot 4 \text{ А}} = \frac{\xi^2}{16R} \rightarrow \Delta I = \frac{3}{20} \cdot \frac{\xi \cdot 30 \text{ Вт}}{\xi^2} = \frac{12R}{5\xi}$$

$$\xi = \frac{12R}{5\Delta I}$$

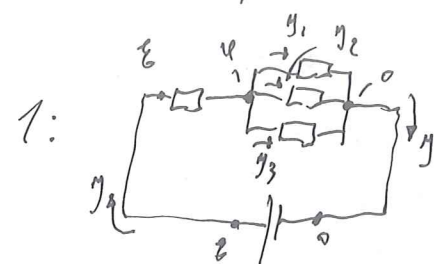
$$\xi = \frac{12 \cdot 30 \text{ Вт}}{5 \cdot 4 \text{ А}} = 36 \text{ В}$$

Ответ: ЭДС источника 36 В.

Чист. №3

93-01-34-94  
(4.4)

# ЧЕРМОВАК



$$i_1 = i_2 = i_3 = \frac{\mathcal{E}}{R} = i$$

$$U = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}}{R}$$

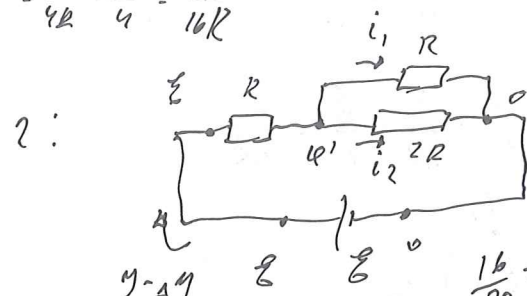
$$U = 3i \rightarrow \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}}{R} = \frac{3\mathcal{E}}{R}$$

$$\mathcal{E} - \mathcal{E} = 3\mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E} = 4\mathcal{E} - \mathcal{E} = \frac{3}{4}\mathcal{E}$$

$$i = \frac{\mathcal{E} - \frac{3}{4}\mathcal{E}}{R} = \frac{\frac{1}{4}\mathcal{E}}{R} ; i = \frac{\mathcal{E}}{4R}$$

$$P = iU ; U_3 = \mathcal{E} - \mathcal{E} = \mathcal{E} - \frac{1}{4}\mathcal{E} = \frac{3}{4}\mathcal{E}$$

$$P = \frac{\mathcal{E}}{4R} \cdot \frac{3}{4}\mathcal{E} = \frac{3\mathcal{E}^2}{16R}$$



$$\mathcal{E} - \mathcal{E}' = (i_1 + i_2)r$$

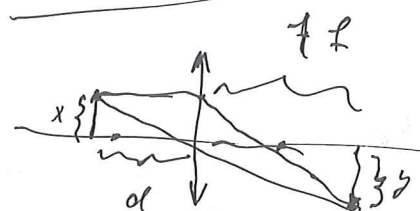
$$i_1 = \frac{\mathcal{U}'}{R} ; i_2 = \frac{\mathcal{U}'}{2R}$$

$$\mathcal{E} - \mathcal{U}' = i_1 + i_2$$

$$\frac{16}{79} = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{U}'}{R} = \frac{\mathcal{U}'}{R} + \frac{\mathcal{U}'}{2R} \Rightarrow 2\mathcal{E} - 2\mathcal{U}' = 2\mathcal{U}' + \mathcal{U}'$$

$$2\mathcal{E} = 3\mathcal{U}' \Rightarrow \mathcal{U}' = \frac{2}{3}\mathcal{E}$$

$$U_3 = \frac{3\mathcal{E}}{5}$$



$$p = \frac{y}{x} = \frac{f}{d} + \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{F}$$

$$d = 3F$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{3F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{2}{3F} \Rightarrow f = \frac{3}{2}F$$

$$\Gamma = \frac{dy}{dx} \Rightarrow dy = \Gamma dx \Rightarrow \Gamma = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{F} + \frac{1}{F}$$

$$\Gamma = \frac{2}{F}$$

$$d = 2F$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{2F} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{2F} \Rightarrow f = 2F$$

$$d = \frac{1}{2}F$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{\frac{1}{2}F} \Rightarrow \frac{1}{f} = -\frac{1}{\frac{1}{2}F} \Rightarrow f = -\frac{1}{2}F$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

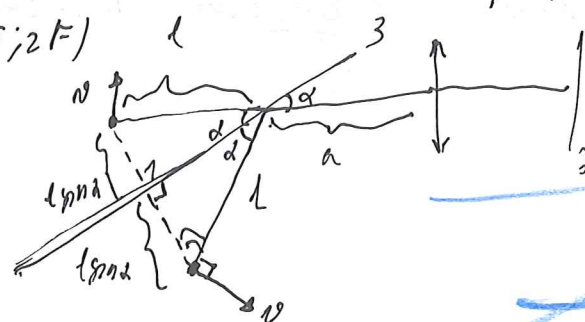
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{F} \Rightarrow \frac{1}{f} = 0 \Rightarrow f = \infty$$

$$d < F \rightarrow \text{мним.}$$

$$d \in (F; 2F) \rightarrow d > 2F \Rightarrow \Gamma > 1$$

$$d = 2F \Rightarrow f = 2F$$

$$d > 2F \rightarrow f \in (F; 2F)$$



# ЧИСТОВИК

## 1.4 Задача

$$F = 30 \text{ см}$$

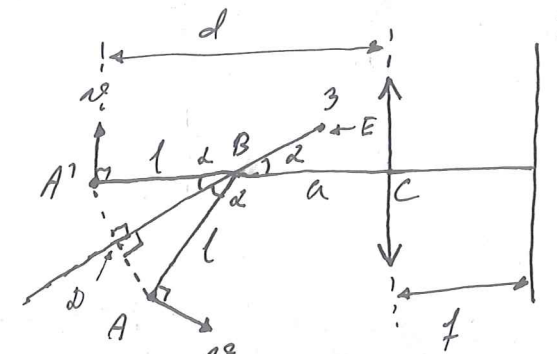
$$\alpha = 30^\circ$$

$$a = 10 \text{ см}$$

$$l = 25 \text{ см}$$

$$v = 2 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

$$v_u = ?$$



1) Т.к. по условию изображение резкое, то расстояние до экрана равно расстоянию до изображения мухи в мкзе.

A' - изображение мухи в зеркале. Его изображение и будет создавать мкзе на экране.

2) Т.к.  $\angle CBE = \angle ABD$ , то A' находится на ГОО мкзы. Из рисунка видно, что  $d = l + a$

Формула тонкой мкзы:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$

$$\frac{1}{f} = \frac{d - F}{Fd} \rightarrow f = \frac{Fd}{d - F}$$

3) Если скорость  $\perp$  ГОО, то  $v_u = \Gamma \cdot v$ , где  $v_u$  - скорость изобр.

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F} \Rightarrow \boxed{v_u = \frac{F}{d - F} v} \quad \boxed{v_u = \frac{F}{l + a - F} v}$$

$$v_u = \frac{30}{25 + 10 - 30} \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} = \frac{30}{5} \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 6 \cdot 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 12 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Ответ: скорость изображения мухи  $12 \frac{\text{см}}{\text{с}}$