



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

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Митричева Елизавета Сергеевна**

Класс: 11

Технический балл: **80**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9473588

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	4	14	10	14	<b>80</b>
Вопрос	8	10	10	10	

1.3.1. Задача

$M = 1 \text{ кг}$

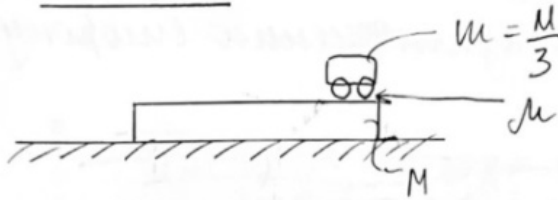
$m = \frac{M}{\mu}, \mu = 3$

$N = 2 \text{ Вт}$

$\mu = 0,3$

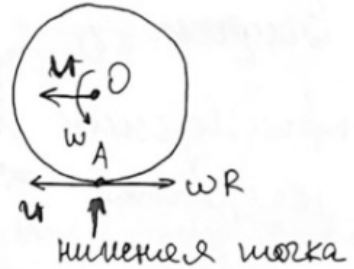
$x = ?$

Условие



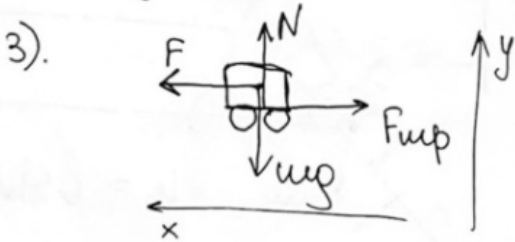
Если колесо движется без проскальзывания, то:

$v = \omega R.$



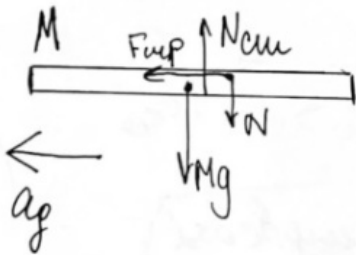
2) Когда мощность спадает постоянной, то скорость колеса будет постоянной, т.к.:

$N = Fv \cdot \cos \alpha, \cos \alpha = \cos 0^\circ = 1.$



2ЗН:  $x: F - F_{тр} = a_0 \cdot m,$   
 $y: N = mg$   
 $F_{тр} = \mu N = \mu mg$

$a_0 = 0$ , т.к.  $v = \text{const}$  при движении без проск.



2ЗН:  $x: F_{тр} = Ma_d$

При движении без проскальзывания

~~$a_d = a_0$~~   $v_{отн} = 0,$   
 где  $v_{отн}$  - скорость движения колеса относительно оси - но скорости движения доски.

3СН:  $x: Mv = m\mu$   
 $\mu = \frac{Mv \cdot \mu}{M} = v\mu$

$$\begin{cases} v = a_d \cdot \Delta t \\ \mu v = \frac{\mu}{F} \\ F = F_{тр} \\ F_{тр} = \mu mg \\ F_{тр} = Ma_d \end{cases}$$

①

$$M a g = \mu m g$$
~~$$M a g = \mu m g$$~~

Шетовик

$$M a g = \mu \cdot \frac{M}{n} g$$

$$a g = \frac{\mu g}{n}$$

$$\frac{N}{n F} = \frac{N n}{\mu m g} = \frac{\mu g}{n} \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{N n^2}{\mu^2 g^2 M} \quad - \text{ время движения до окончания проскальзывания}$$

~~XF~~

4) две машинки:  $0 + a_m \Delta t = v = \frac{N}{F}$

$$a_m = \frac{N}{F \Delta t}$$

$$a_m = \frac{N}{F} \cdot \frac{\mu^2 g^2 M}{n^2}$$

$$S_m = \frac{a_m \Delta t^2}{2} = \frac{\mu^2 g^2 M}{2 F n^2} \cdot \frac{N^2 n^4}{\mu^4 g^4 M^2} = \frac{N^2 n}{2 F \mu^2 g^2 M}$$

- путь, который пройдет машинка относительно земли

$$S_g = \frac{a_g \Delta t^2}{2} = \frac{\mu g}{2 n} \cdot \frac{N^2 n^4}{\mu^4 g^4 M^2} = \frac{N^2 n^3}{2 \mu^3 g^3 M^2} \quad - \text{ путь, который доска пройдет относительно земли}$$

$$X = S_m - S_g = \frac{N^2 n}{2 F \mu^2 g^2 M} - \frac{N^2 n^3}{2 \mu^3 g^3 M^2} = \frac{N^2 n}{2 \mu^2 g^2} \left( \frac{1}{F M} - \frac{1}{\mu g M^2} \right)$$

$$X = \frac{4 \text{ ВТ}^2 \cdot 3 \cdot e^4}{2 \cdot 0,3^2 \cdot 10^2 \text{ м}^2} \left( \frac{(1+3) \cdot \mu^2}{0,3 \cdot 10 \cdot \mu \text{ кг}^2 \cdot \text{м}} \right) = \frac{N^2 n^2}{2 \mu^2 g^2} \left( \frac{n - \mu^2}{\mu g M^2} \right)$$

$$= \frac{4 \cdot 3 \cdot (+2)}{2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3} \frac{\mu^2 \cdot \text{кг}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot e^4 \cdot e^2}{\mu^2 \cdot e^4 \cdot e^2 \cdot \text{кг}^2 \cdot \text{м}^2} = + \frac{4}{9} \text{ м}$$

(2)

Шевовик

(продолжение 3.5.1. вопроса) :  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ , где

$\epsilon_0$  - электрическая постоянная  
 ( $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ )

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды  
 между обкладками

$S$  - площадь пластин конденсатора  
 $d$  - расстояние между пластинами

$$[C] = [Ф] \text{ (Фарад)}.$$

$$\frac{\mu_{\text{пробиток}}}{2 \cdot \sqrt{3}} = \sqrt{3}$$

$$v_1 = \sqrt{g l (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

$$v_2 =$$

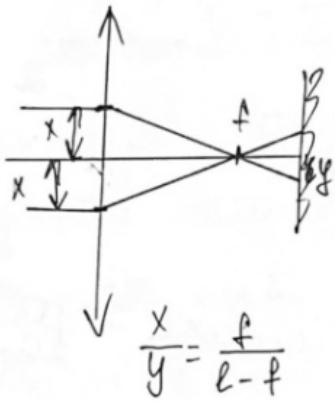
$$1 + \frac{j \cdot l \cdot \varphi \cdot \sigma}{2 \varepsilon_0 \mu_0 (2 g l \sin \alpha - g l \cos \alpha)}$$



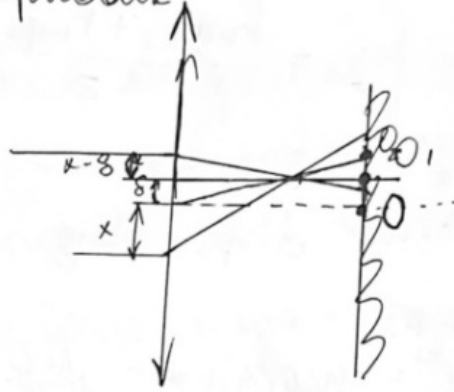
$$a_2 \times t_2 = \frac{v}{2}$$

$$a_1 \times t_1 = v_1$$

Чертежи

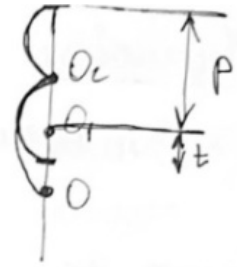


$$\frac{x}{y} = \frac{f}{l-f}$$



$$\frac{x+s}{f} = \frac{p}{l-f}$$

$$x-s$$



$$OO_2 = \Delta$$

$$OO_1 = S$$

Фокус. расст. -

- расст. от

заднего от-  
центра  
линзы до  
фокуса.

Фокус- точка,  
принадл. ГОО,

в которой  
сходятся лучи или их  
продолжения

при падении

парал. луч. св. на  
линзу.



$$OO_2 - OO_1 = \Delta - S$$

$$\frac{\Delta - S}{f} = \frac{\Delta - S}{l - f}$$

$$lS - fS = f\Delta - fS$$

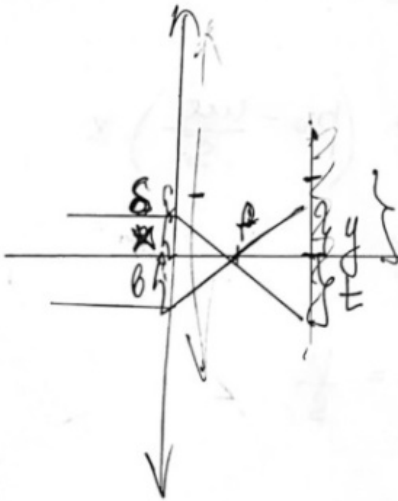
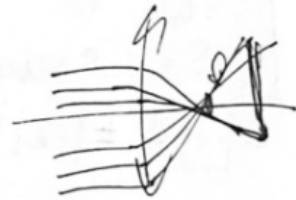
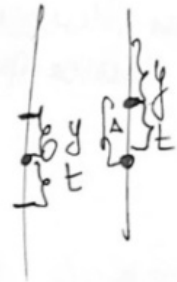
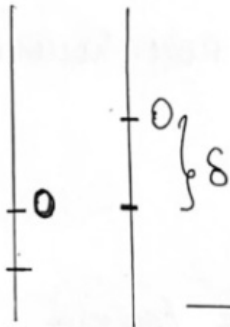
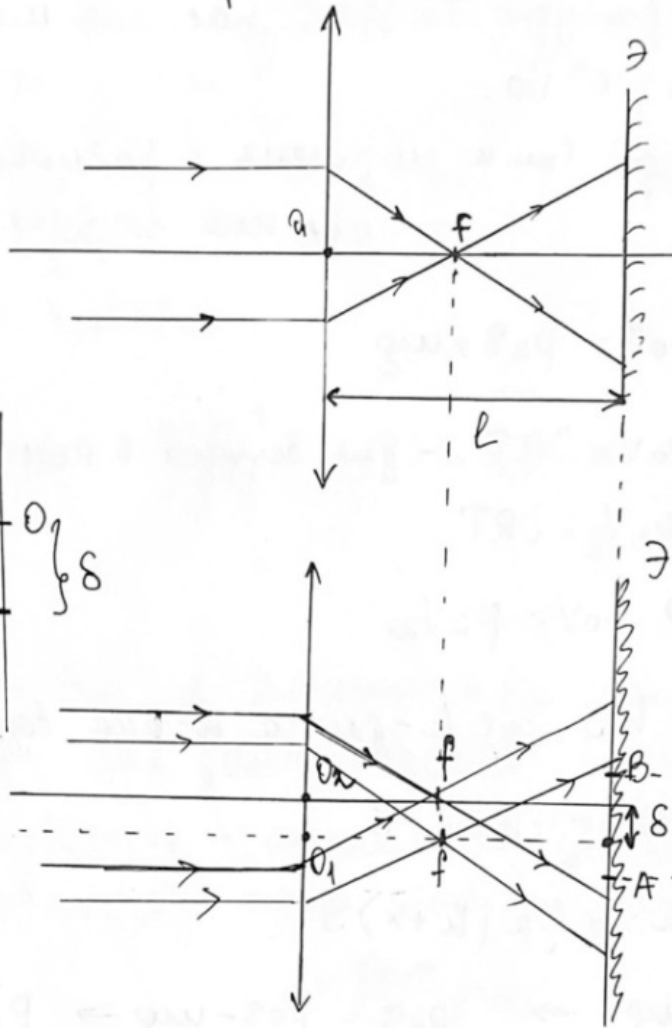
$$lS = f(\Delta - S + S)$$

$$f = \frac{lS}{\Delta} = \frac{20 \cdot 1}{2 \cdot 1} = 10$$

4.3.1. Задача

$l = 20 \text{ см}$   
 $s = 0,5 \text{ см}$   
 $\Delta = 1 \text{ см}$   
 $f = ?$

Черновик



$$bt = xp$$

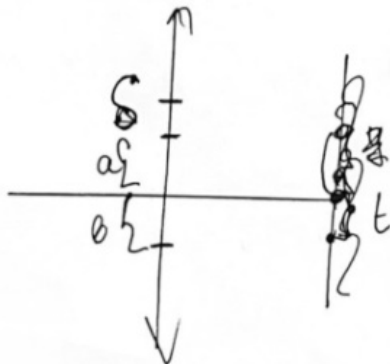
$$\frac{b}{y} = \frac{x}{t}$$

$$\frac{x+b}{y+t} = \frac{f}{l-f}$$

$$\frac{x+s}{t+\Delta} = \frac{f}{l-f}$$

$$\frac{x+b}{y+t} = \frac{x+s}{t+\Delta}$$

$$\begin{aligned} \Delta + b\Delta + bt + xt &= \\ &= xy + xt + ys + st \end{aligned}$$





Чертовик

$$\frac{1}{FM} = \frac{v}{\mu mg}$$

$$N = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta x \cdot \cos \alpha}{\Delta t} = F v \cos \alpha$$

$$v_{\text{sum}} = 0$$

$$v_R - v_0 = at$$

$$v_0 - at = v_R$$

$$0 - at = v$$

$$\Delta t = \frac{v}{a_g}$$

$$mg = F$$

$$kz \cdot \frac{u}{c^2}$$



$$v_{\text{sum}} = v_{\text{sum}} + v_g$$

$$S_{\text{sum}} = v_{\text{sum}}' - v_g'$$

$$S_{\text{sum}} - S_g$$

$$\frac{u^2 \cdot k^2 \cdot c^4 \cdot c^2}{u^2 \cdot k^2 \cdot u} = \frac{k^2 \cdot u^2 \cdot e^4 \cdot c^2}{e^4 \cdot k^2 \cdot u}$$

$$L_{\text{sum}} = 100 \text{ м.}$$

$$1 \text{ м} = 1 \text{ м}$$

$$10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\begin{array}{r} 950 \quad | \quad 5 \\ 5 \quad \overline{) \quad 950} \\ \underline{45} \phantom{0} \\ 45 \phantom{0} \\ \underline{-45} \phantom{0} \\ 0 \end{array}$$

$$500 \quad | \quad 950$$

$$1000 \quad | \quad 190$$

$$1000 \quad | \quad 200$$

$$\begin{array}{r} 40 \quad | \quad 180 \\ 4 \quad \overline{) \quad 180} \\ \underline{80} \phantom{0} \\ 100 \phantom{0} \\ \underline{80} \phantom{0} \\ 20 \phantom{0} \\ \underline{20} \\ 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 200 \phantom{0} \\ \underline{100} \phantom{0} \\ 100 \phantom{0} \\ \underline{200} \\ 0 \end{array}$$

$$1,00 \cdot 200 = 5 \cdot 2 = 10.$$

$$\frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3}}{10^{-2} \cdot 10^2 (10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10) \cdot 10} = \frac{5 \cdot 10^{-5}}{1000 \cdot 50} = \frac{5}{950} \approx \frac{1}{190} \approx 0,005$$

Знак "-" говорит о том, что смещение произошло в обратную предположению сторону.

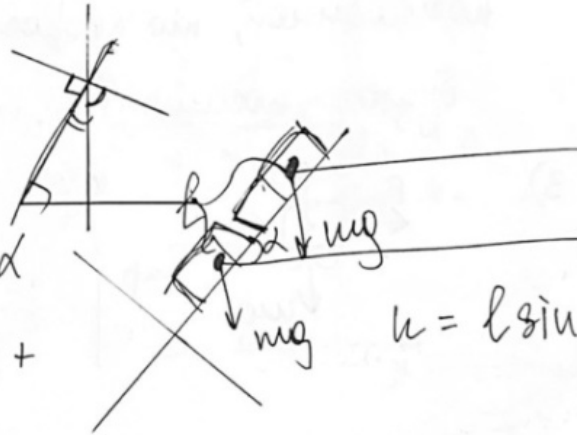
Чертовик

~~Ответ:  $x = \frac{N^2 u^2 (1-u)}{2\mu^3 g^3 M^2}$~~

Ответ:  $x = \frac{N^2 u^2 (u-1)}{2\mu^3 g^3 M^2} = \frac{4}{9} u$

Вопрос. Импулс - векторная величина, равная произведению массы материальной точки на её ускорение.  $\vec{p} = m\vec{a}$ .

$\frac{v}{\frac{1}{4v}}$



$v_1^2 = 2gl \sin \alpha - \mu gl \cos \alpha$

$v_2^2 = 2gl \sin \alpha - \mu gl \cos \alpha +$

$+\frac{\mu l g \sigma}{2 \epsilon_0 m}$

$E = \frac{q}{2 \epsilon_0 \sigma} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0}$

$\frac{v_2^2}{v_1^2} = 1 + \frac{\mu l g \sigma}{2 \epsilon_0 m (2gl \sin \alpha - \mu gl \cos \alpha)}$

$v_2^2 = v_1^2 + \sqrt{\frac{\mu l g \sigma}{2 \epsilon_0 m}}$

~~Этот текст говорит о том, что движение происходит в обратную предположенную сторону.~~

Ответ: 
$$x = \frac{N^2 u^2 (u-1)}{2\mu^3 g^3 M^2} = \frac{4}{9} u.$$

Числовик

Вопросы: Импульс - векторная величина, равная произведению массы материальной точки на её скорость.  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

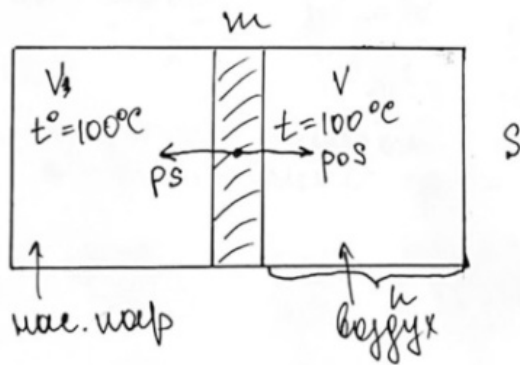
Импульс системы материальных точек определяется как  $\vec{p}_z = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i (m_1 v_1 + m_2 v_2 + \dots + m_i v_i)$ ,

Закон сохранения импульса: В замкнутой системе импульс сохраняется.  
 где  $m_{1...i}$  - масса каждой мат. точки,  
 $v_{1...i}$  - скорость каждой мат. точки.

Замкнутой системой наз-ся система мат. точек, на которую не действуют внешние силы.

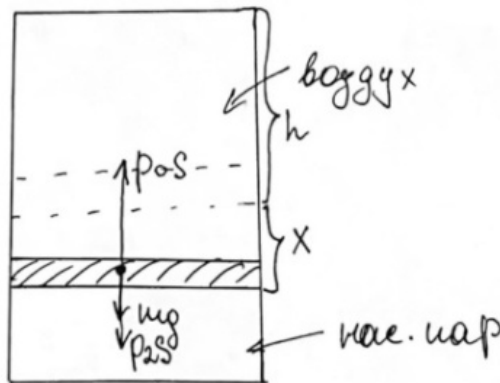
2.2.1.

- $V = 1 \text{ мтр}$
- $m = 5 \text{ кг}$
- $S = 0,01 \text{ м}^2$
- $P = 10^5 \text{ Па}$
- $\rho = 10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$



$x = ?$

$T = \text{const}$



S

Шмидт

1) При температуре  $T = 373\text{K}$  наг. пар имеет давление  $p_0 = 10^5 \text{ Па}$ .

$$p_0 S = p S \text{ (ш.к. поршень в равновесии), где } p \text{ - давление воздуха. } \Rightarrow p_0 = p$$

2) В конце:  $p_0 S = p_2 S + mg$

3) Менделеева-Клапейрона:  $p_0 V = \nu RT$  - для воздуха в нач. состоянии

$$p_2 V_2 = \nu RT$$

$$\Rightarrow p_0 V = p_2 V_2$$

$V = hS$ , где  $h$  - длина объема воздуха

$$V_2 = (h+x)S$$

$$p_0 h S = p_2 (h+x) S$$

$$\begin{cases} V = hS \\ p_0 S = p_2 S + mg \end{cases} \rightarrow p_2 S = p_0 S - mg \rightarrow p_2 = p_0 - \frac{mg}{S}$$

$$p_0 h S = p_2 (h+x) S$$

$$p_0 h = \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) h + \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) x$$

$$p_0 h = p_0 h - \frac{mgh}{S} + \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) x$$

$$\frac{mgh}{S} = \frac{(p_0 S - mg)}{S} x, \quad h = \frac{V}{S}$$

$$x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)}$$

Чешовик

$$x = \frac{5 \cdot 10 \text{ Н} \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ м}}{10^{-2} \text{ м}^2 (10^6 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10) \text{ Н}} = \frac{5}{1000 - 50} \text{ м} = \frac{5}{950} \text{ м} =$$

$$= \frac{1}{190} \approx 0,005 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{mgV}{S(p_0 S - mg)} \approx 0,005 \text{ м}$$

Вопросы.

Влажность воздуха - количество водяных паров, содержащихся в воздухе при данных условиях. Относительная влажность воздуха - отношение <sup>парциального</sup> давления к давлению насыщенного пара при той же температуре.

$$\varphi = \frac{p_{\text{нп}}}{p} (\cdot 100\%).$$

Чешовек.

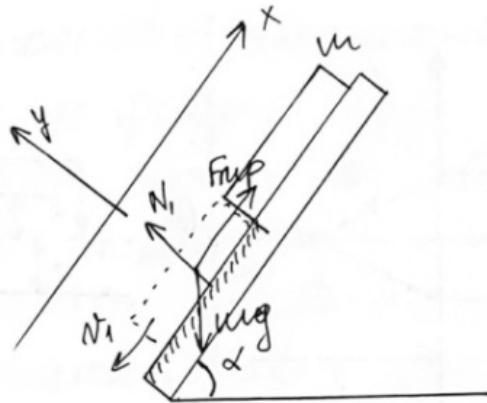
3.5-1. Задача

$$m = 100 \text{ г}$$

$$\alpha_{\text{тр}} = 30^\circ$$

$$\sigma = +3 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$$

$$\rho = +3 \text{ мкКл}$$



1) Рассмотрим ситуацию с наложением  
табличкой и плитой.

$$x: -v_1 = 0 - at$$

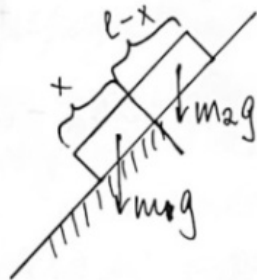
$$23 \text{ Н}: x: F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma_x, \text{ где } a_x - \text{проекция ускорения таблички}$$

$$y: N_1 - mg \cos \alpha = ma_y$$

$$a_x = -a, a_y = 0. \rightarrow N_1 = mg \cos \alpha$$

Заметно, что сила трения непостоянна.

$$F_{\text{тр}}(x) = \mu N(x)$$



$$m_1 = m \frac{x}{l}, \text{ где } l - \text{вся длина таблички, } x - \text{длина части, заехавшей на шероховатую плоскость.}$$

$$m_2 = m \frac{(l-x)}{l}$$

$$F_{\text{тр}}(x) = \mu m \frac{x}{l} g \cos \alpha$$

Когда табличка полностью уехала:  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$   
до заезда на шероховатую часть:  $F_{\text{тр}} = 0$ .

Условие

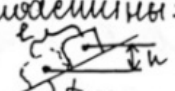
Т.к. сила трения от длины захваченной части увеличивается линейно, но мы можем найти среднюю силу трения как среднее арифметическое ~~как~~ силы трения, когда  $x$  было очень-очень мало, и силе трения, когда машинка полностью заехала на шероховатую часть.

$$F_{ср\perp} = \frac{F_{тр\kappa} + F_{тр0}}{2} = \frac{\mu mg \cos \alpha}{2}$$

по теореме об изменении кинетической энергии:

$$\frac{mV_1^2}{2} - \frac{m \cdot 0^2}{2} = A_{тр\perp} + A_{уг}$$

$A_{уг} = mgl \sin \alpha$ ,  
 $E_{п=0}$  на уровне  
 начального центра  
 у.ш. машинки:



$$A_{тр\perp} = -\frac{\mu mg \cos \alpha}{2} \cdot l \quad ; \quad mgl \sin \alpha - \frac{\mu mg \cos \alpha}{2} \cdot l = \frac{mV_1^2}{2}$$

$$V_1^2 = -\mu g \cos \alpha \cdot l + 2gl \sin \alpha = gl (2 \sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

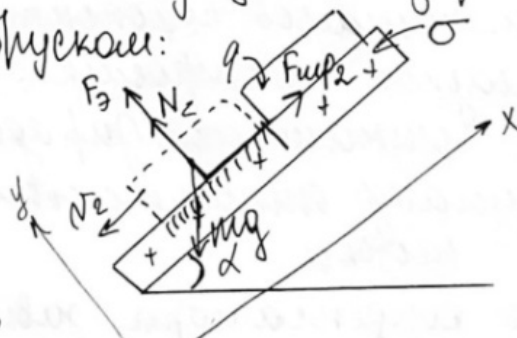
2) Рассмотрим теперь ситуацию с заряженной машинкой и бруском:

$$F_3 = q \cdot E$$

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

- направленность  
 электрического поля  
 плиты

$$F_3 = \frac{q\sigma}{2\epsilon_0}$$



$$23H: y: F_3 + N_2 - mg \cos \alpha = 0.$$

$$F_{тр2} - mg \sin \alpha = ma_{zx}$$

$$F_{тр2}(x) = \mu N(x)$$

$$N_2 = mg \cos \alpha - F_3$$



Условие

Аналогично  $F_{cp2} = \frac{F_{mpk2} + F_{mpo2}}{2} = \frac{\mu(mg \cos \alpha - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0})}{2}$

ЗУКЭ:  $\frac{m\sigma_2^2}{2} - 0 = A_{mp2} + A_{mg}$

$$\frac{m\sigma_2^2}{2} = mgl \sin \alpha - \frac{\mu l}{2} \cdot (mg \cos \alpha - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0})$$

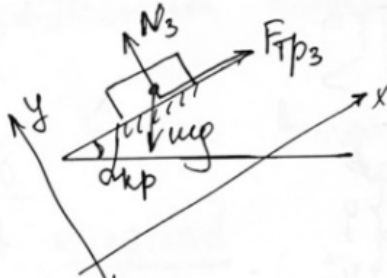
$$v_2^2 = 2gl \sin \alpha - \mu l (g \cos \alpha - \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 \cdot m})$$

3). Рассчитаем угол наклона при максимальной скорости:

ЗУКЭ:  $v$ :

$$+mg \sin \alpha_{mp} = F_{mp3}$$

$$N_3 = mg \cos \alpha_{mp}$$



$$F_{mp} = \mu N_3 = \mu mg \cos \alpha_{mp}$$

$$+mg \sin \alpha_{mp} = \mu mg \cos \alpha_{mp}$$

$$\tan \alpha_{mp} = \mu \rightarrow \mu = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$v_1^2 = 2gl \sin \alpha - \mu gl \cos \alpha$$

$$v_2^2 = 2gl \sin \alpha - \mu gl \cos \alpha + \mu l \cdot \frac{q\sigma}{2\epsilon_0 \cdot m}$$



Чешовик

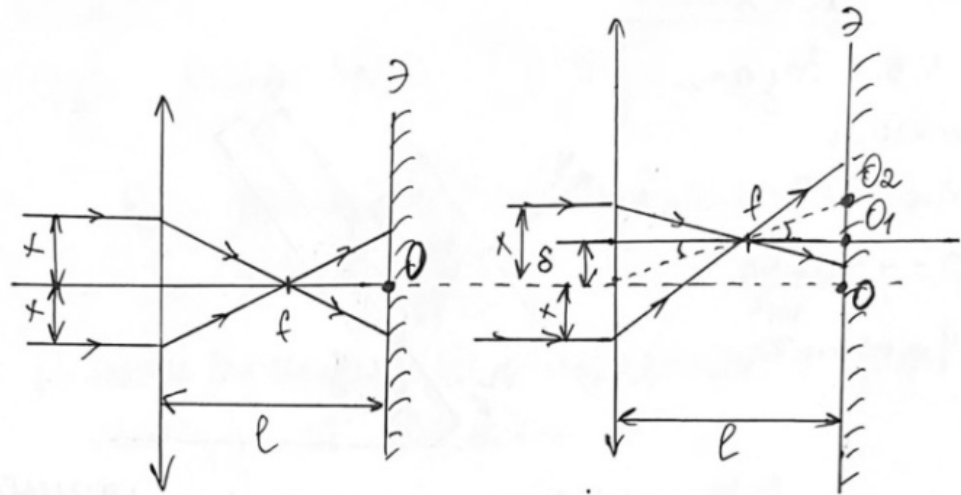
4.3.1. задача

$$\delta = 0,5 \text{ см}$$

$$\Delta = 1 \text{ см}$$

$$l = 20 \text{ см}$$

$$f = ?$$



Пучок узкий.

Поэтому <sup>лучи</sup> начальное пересечение главной оптической оси с экраном и центр светового пятна находится в точке O.

O<sub>1</sub> - точка смещения линзы, которая возмущена на пересечении главн. опти. оси и экрана.

O<sub>2</sub> - центр пятна после смещения.

$$OO_1 = \delta; \quad OO_2 = \Delta.$$

Из рисунка заметно подобие:  $\frac{\delta}{f} = \frac{O_2O_1}{l-f}$

$$O_2O_1 = OO_2 - OO_1$$

$$\frac{\delta}{f} = \frac{\Delta - \delta}{l-f}$$

$$\delta l - \delta f = f\Delta - f\delta$$

$$l\delta = f(\Delta - \delta + \delta)$$

$$f = \frac{l\delta}{\Delta}$$

$$f = \frac{20 \text{ см} \cdot 1 \text{ см}}{2 \cdot 1 \text{ см}} = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

Ответ:  $f = \frac{l\delta}{\Delta} = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$

4.3.1. Вопросы Чешовик

Фокусное расстояние - расстояние от оптического центра линзы до фокуса. Фокус - точка, принадлежащая главной оптической оси, в которой сходятся лучи или их продолжения при падении на линзу параллельного луча света.

Главная оптическая ось - линия, проходящая через оптический центр линзы, перпендикулярная её ~~поверхности~~.

линзе. Оптическая сила линзы - величина, обратная фокусному расстоянию.

$$D = \frac{1}{F} \cdot [F] = [m]$$

$$[D] = [диоптр] \text{ (диоптрии)}$$

$$= m^{-1}$$

## 3.5.1. Вопросы.

Емкость конденсатора - величина, равная отношению заряда на пластинках конденсатора к разности потенциалов положительной и отрицательной обкладки. Емкость удлиненного проводника - отношение заряда этого проводника к потенциалу относительно бесконечно удаленной точки.

Емкость конденсатора зависит от его геометрических параметров и диэлектрической проницаемости среды между обкладками.

$$C = \frac{q}{U}, \text{ где } C - \text{емкость, } q - \text{заряд на пластинке, } U - \text{напр. конденсатора}$$

$$U = \varphi_+ - \varphi_-, \text{ где } \varphi_+ - \text{потенциал положит. заряда обкладки, } \varphi_- - \text{отрицат. заряда.} \quad (10)$$