МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Кухарук Иван Андреевич**

Класс: 11

Технический балл: **81**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9121676

	1	2	3	4	$\sum$
Задача	*5*	*14*	*10*	*15*	***81***
Вопрос	*8*	*10*	*9*	*10*	

Задача 1.3.1.

Чистовик 1/10

Дано:

$M = 1$ кг

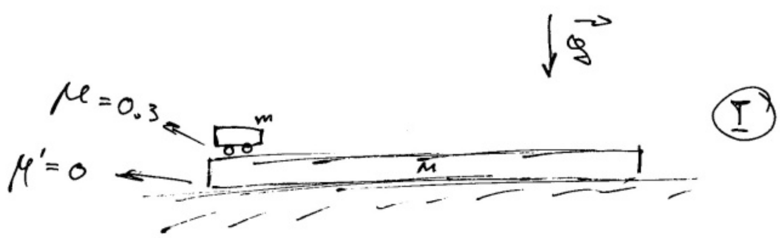
$N = 2$ Вт

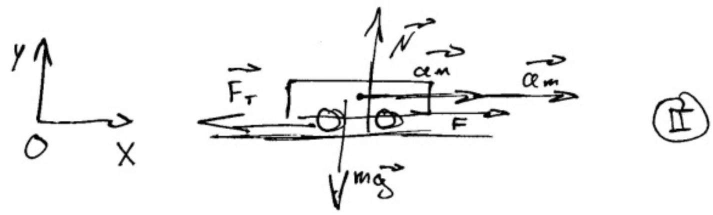
$m = \frac{M}{n}$, $n = 3$

$\mu = 0.3$

$g = 10$ м/с²

Найти: x.





Решение:

1) Рассмотрим момент времени, когда авто движется по доске без проскальзования (II) относительно доски.

II закон Н. для II:

$$① \begin{cases} OX: (a_M + a_m)m = F_т - F, \text{ где } F \text{ - тяга двигателя } N = \frac{A}{t} = \frac{FS\cos 0^\circ}{t} \\ OY: mg = N \end{cases}$$

$$F = \frac{Nt}{S} = \frac{N}{v} \quad ②$$

Также можно вычислить a_M, т.к. на доску действует лишь одна горизонтальная сила $F_т$

$$a_M M = F_т = N\mu = mg\mu$$

$$a_M = \frac{mg\mu}{M} \quad ③$$

Подставим ② и ③ в ①:

$$\left(\frac{mg\mu}{M} + a_m\right)m = mg\mu - \frac{N}{v} \quad ④$$

Т.к. колёса движутся без проскальзывания $a_m + a_M = a'$, где a' - ускорение автомобиля на зафиксированной доске ($\mu = 0.3$) $a'm = -\frac{N}{v} + mg\mu$

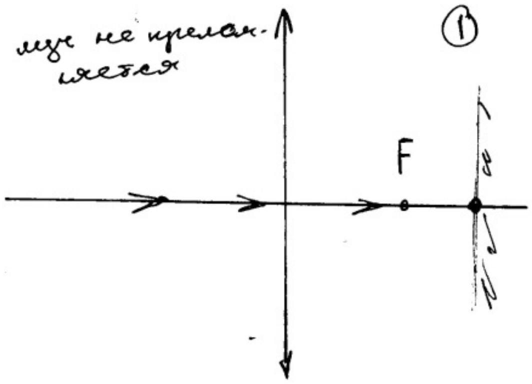
Заметим, что конечное ускорение будет равно a_M по модулю, т.к. тело будет двигаться относительно земли со $v_x = const \Rightarrow a_m = \frac{mg\mu}{M}$

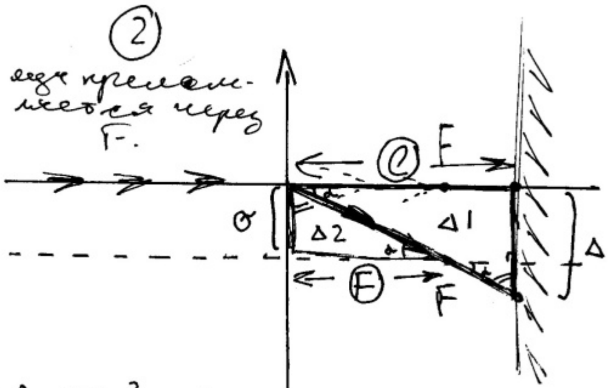
Вернёмся к ④:

$$\frac{2g\mu m}{M} = g\mu - \frac{N}{v} \Rightarrow \frac{-2g\mu m + g\mu M}{M} = \frac{N}{v}$$

$$v = \frac{NM}{Mg\mu - 2m\mu g} = \frac{NM}{Mg\mu - \frac{2M}{3}\mu g} = \frac{3N\cancel{M}}{\cancel{M}g\mu} = \frac{3N}{g\mu} = \frac{6}{0{,}3 \cdot 10} = 2 \left[\text{м/с}\right]$$

Чистовик $\frac{10}{10}$





Заметим, что $\Delta 1 \sim \Delta 2$ по 3-м ∠-м.

Тогда $\frac{l}{F} = \frac{\Delta}{a} \Rightarrow F = \frac{la}{\Delta} = 10$ см.

Обоснование см. рис. 2.

Луч падающий в середину на первом рисунке, также после преломления будет падать в середину на втором рисунке.

Ответ: $F = 10$ см.

Вопросы:

1) Фокусное расстояние - физическая хар-ка оптической системы, определяющая основные её св-ва. Определяется как дистанция между оптическим центром линзы и её главным фокусом, обозначается F и измеряется в (м).

2) Оптическая сила линзы - физическая вел-на характеризующая преломляющую способность линзы; обозначается D и измеряется в диоптриях. $[= м^{-1}]$ $D = \frac{1}{F}$

$$\pm\frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}$$

Таким образом нам известно Чистовик 2/10

$a_m = \frac{mg\mu}{M} = \frac{g\mu}{3} = 1\ м/с^2$ - конечное ускорение тела относительно земли; $2a_m$ - относительно доски [$= 2\ м/с^2$]

v - конечная относительно доски [$= 2\ м/с$]

$F_т = const \Rightarrow$ ускорение по мере уменьшения проскальзывания растёт равномерно.

$v = \bar{a} \cdot t = \frac{0 + 2a_m}{2} \cdot t = a_m t \Rightarrow t = 2с$

$x = \frac{(\bar{a}) t^2}{2} = \frac{a_m t^2}{2} = 2м.$

Ответ: $x = 2м.$

Вопросы:

1) Импульс системы материальных точек $\vec{P_3}$ определяется как $m_1\vec{v_1} + m_2\vec{v_2} + m_3\vec{v_3} + \ldots$, где m_n - масса точки n, $\vec{v_n}$ - её скорость

Иными словами импульс системы мат. точек определяется суммой их импульсов. $\vec{P_3} = \vec{p_1} + \vec{p_2} + \vec{p_3} + \ldots$

2) Закон сохранения импульса:

„В замкнутой системе векторная сумма импульсов тел не меняется при любых движениях и взаимодействиях тел между собой".

Задача 2.2.1.

Чистовик

3/10

Дано:

$V_1 = V_2 = 10^{-3}\ м^3 = 1\ л = V$

$m = 5$ кг

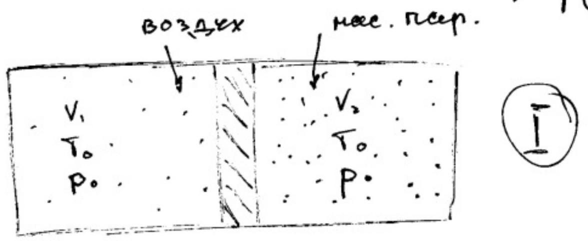
$T_0 = 373\ К = 100°C = const$

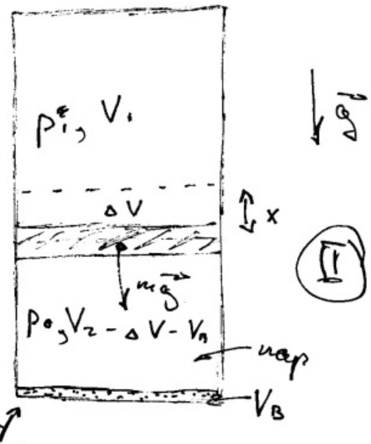
$S = 10^{-2}\ м^2$

$g = 10\ м/с^2$

$p_0 = 10^5$ Па

Найти: x





Решение:

① Давление насыщенного пара при $T_0 = 100°c$, $p_н = p_0 = p_a = 10^5$ Па.

② При установке цилиндра в вертикальное положение появится сила $m\vec{g}$ и Vв.п. уменьшится, $T_0 = const$ => часть пара конденсируется в воду. конденсат

③ II: $p_1(V + \Delta V + V_B) = p_0 V \Rightarrow V + \Delta V + V_B = \frac{p_0 V S}{p_0 S - mg}$

$p_1 + \frac{mg}{S} = p_0 \Rightarrow p_0 = \frac{p_1 S + mg}{S} \Rightarrow p_1 = \frac{p_0 S - mg}{S}$

$\Delta V = xS = \frac{p_0 V S}{p_0 S - mg} - V - V_B$

$p_0(V - \Delta V - V_B) = \nu_2 R T_0$

$p_0 V = \nu_1 R T_0$

$\Rightarrow \nu_B = \frac{\Delta V + V_B}{R T_0} = \frac{\frac{p_0 V S}{p_0 S - mg} - V}{R T_0}$

$\nu_B = \frac{\cancel{p_0 V S} - \cancel{p_0 V S} + mgV}{R T_0 (p_0 S - mg)} = \frac{mgV}{R T_0 (p_0 S - mg)} =$

$= \frac{5 \cdot 10^{-2}}{8{,}3 \cdot 373 \cdot (10^3 - 50)} << 1$ моль

Из этих рассуждений V_B мы можем пренебречь.

$\nu_B << 1$ моль $\Rightarrow m_B = M \nu_B << 1$ г $\Rightarrow$

$\Rightarrow V_B$ – очень мал.

Тогда.

Чистовик

4/10

$$p_1(V_0+\Delta V)=p_0V$$

$$p_1+\frac{mg}{S}=p_0 \Rightarrow p_1=\frac{p_0S-mg}{S}$$

$$\Delta V=\frac{p_0V}{p_1}-V=\frac{p_0V-Vp_1}{p_1}=\frac{\cancel{Sp_0V-p_0SV}+mgV}{p_0S-mg}=\frac{50\cdot10^{-3}}{10^3-50}=$$

$$=\frac{5\cancel{0}\cdot10^{-3}}{95\cancel{0}}=\frac{10^{-3}}{19}\ м^3$$

$$\Delta V=Sx \Rightarrow x=\frac{\Delta V}{S}=\frac{10^{-3}}{19\cdot10^{-2}}=\frac{1}{19}\cdot10^{-1}\approx0.05262\cdot10^{-1}\ м$$

$$x=5262\cdot10^{-6}\ м=5262\cdot10^{-3}\ мм\approx5\ мм$$

Ответ: $5262\cdot10^{-6}$ м $\approx$ 5 мм.

Вопросы:

1) Абсолютная влажность воздуха - количество водяного пара, выраженное в „СИ" [г], содержащееся в объёме воздуха „СИ" [м³]; она показывает какая масса воды содержится в единице V.

$$\varphi_a=\frac{m}{V}$$

2) Относительная влажность воздуха - отношение его текущей абсолютной влажности к максимальной при данной температуре. (Также можно определить как отношение давлений).

Задача 3.5.1

Чистовик 5/10

Дано:

$m = 10^{-1}$ кг

α ($\alpha \leq 30^\circ$)

v_1

$\sigma = +3 \cdot 10^{-6}$ Кл/м^2

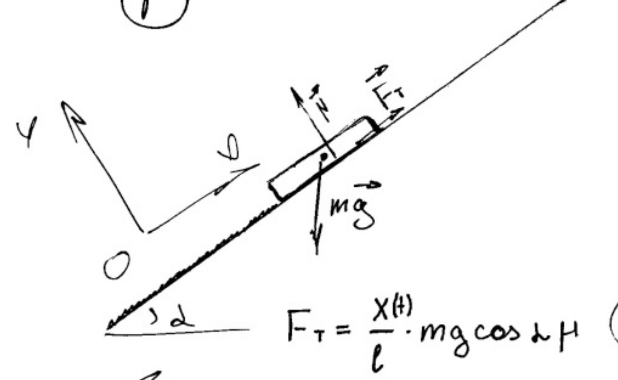
$q = +3 \cdot 10^{-6}$ Кл

$\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

$g = 10$ м/с^2

Найти: $\frac{v_1}{v_2}$

(1)



$$F_T = \frac{x(t)}{l} \cdot mg\cos\alpha\,\mu \quad (1)$$

Решение:

Сначала рассмотрим случай 1: без заряда.

$x(t)$ - перемещение от времени

$a(t)$ - ускорение от времени

l - длина пластинки

α - угол к горизонту

(1) Используя второй закон Ньютона определим F_T, она зависит от того какая часть уже на шероховатой поверхности $x(t)$. Рассмотрим и подставим $x(t)$ и $a(t)$, заметим что v_1 соответствует моменту когда вся пластинка въехала на ш. поверхность $\Rightarrow x(t_0) = l$. Воспользовавшись $x'(t) = v(t)$, выразим v_1.

$$a(t) = \frac{mg\sin\alpha - F_T}{m}$$

$$a(t) = g\sin\alpha - \frac{x(t)}{l} \cdot g\cos\alpha\,\mu$$

$$x(t) = \frac{a(t) \cdot t^2}{2}$$

$$\frac{2x(t)}{t^2} = g\sin\alpha - \frac{x(t)}{l} \cdot g\cos\alpha\,\mu$$

$$x(t)\left(\frac{2}{t^2} + g\cos\alpha\frac{\mu}{l}\right) = g\sin\alpha$$

$$x(t) = \frac{g l t^2 \sin\alpha}{2l + g\mu\cos\alpha\, t^2}$$

$$x(t) = l$$

$$2l^2 + g\mu l\cos\alpha\, t_0^2 = g l t_0^2 \sin\alpha$$

$$g\cancel{l} t_0^2(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = 2l^{\cancel{2}}$$

$$t_0^2 = \frac{2l}{g(\sin\alpha - \cos\alpha\,\mu)}$$

$$x'(t) = v(t) = \frac{2glt\sin\alpha(2l + g\mu\cos\alpha\, t^2) - gl t^2\sin\alpha(2g\mu\cos\alpha\, t)}{(2l + g\mu\cos\alpha\, t^2)^2}$$

$$v(t) = \frac{4gl^2 t\sin\alpha}{(2l + g\mu\cos\alpha\, t^2)^2}$$

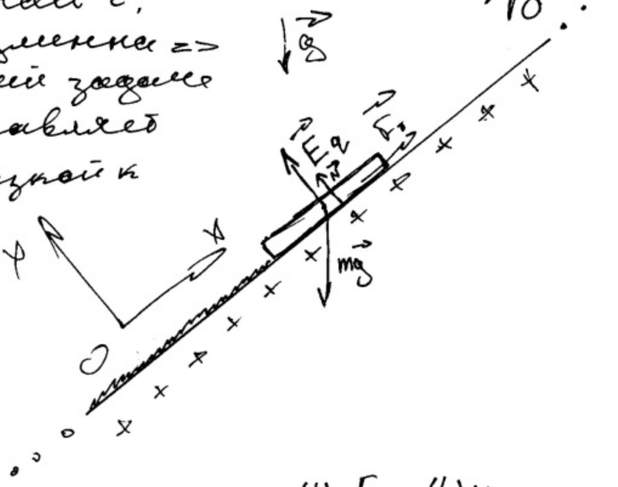
$$v_1 = v(t_0) = \frac{4gl^2 \frac{\sqrt{2l}\sin\alpha}{\sqrt{g}\sqrt{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}}}{\left(2l + g\mu\cos\alpha\frac{2l}{g(\sin\alpha - \cos\alpha\mu)}\right)^2}$$

$$= \cancel{\frac{2l\sqrt{2lg}\sin\alpha\frac{1}{\sqrt{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}}}{\left(1 + g\mu\cos\alpha\frac{1}{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}\right)^2}} = \frac{\cancel{2l\sqrt{2}lg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}}{\sqrt{2lg}\,\sin^{-1}\alpha(\sin\alpha - \cos\alpha\mu)^{\frac{3}{2}}}$$

Чистовик 6/10

Теперь рассмотрим случай 2:

Нижняя пластина очень длинная => => будем считать её в нашей задаче бесконечной. Тогда не составляет труда найти E в точке близкой к её поверхности $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{3\cdot10^{-6}}{2\cdot1\cdot9\cdot10^{-12}} = \frac{10^6}{6}$ В.



Аналогично I части проведём расчёты:

$$F_т = (mg\cos\alpha - Eq)\frac{x(t)}{l}\mu = \frac{mg\cos\alpha\,\mu\,x(t) - Eq\,x(t)\mu}{l}$$

$$\cancel{a(t) = \frac{mg\sin\alpha - F_т}{m} = \frac{lmg\sin\alpha - x(t)\mu(mg\cos\alpha}{ml}}$$

$$a(t) = \frac{mg\sin\alpha - F_т}{m} = \frac{mgl\sin\alpha - mg\cos\alpha\,\mu\,x(t) + Eq\,x(t)\mu}{ml}$$

$$x(t) = \frac{a(t)t^2}{2} \Rightarrow a(t) = \frac{2x(t)}{t^2}$$

$$\frac{2x(t)}{t^2} = \frac{mgl\sin\alpha - mg\cos\alpha\,\mu\,x(t) + Eq\,x(t)\mu}{ml}$$

$$\frac{x(t)\cdot 2ml + x(t)\cdot mg\cos\alpha\,\mu t^2 - x(t)\cdot Eq\mu t^2}{ml t^2} = \frac{mgl\sin\alpha}{\cancel{ml}}$$

$$x(t) = \frac{mglt^2\sin\alpha}{(2ml + mg\cos\alpha\,\mu t^2 - Eq\mu t^2)}$$

$x(t_0) = l$ $\quad l = \frac{mglt_0^2\sin\alpha}{(2ml + mg\cos\alpha\,\mu t_0^2 - Eq\mu t_0^2)}$

$mgt_0^2\sin\alpha = 2ml + mg\cos\alpha\,\mu t_0^2 - Eq\mu t_0^2$

$t_0^2(mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\,\mu) = 2ml$

$$t_0^2 = \frac{2ml}{mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\,\mu}$$

$$x'(t_0) = v_2 = \frac{2mglt\sin\alpha(2ml + mg\cos\alpha\,\mu t_0^2 - Eq\mu t_0^2) - mglt_0^2\sin\alpha(2mg\cos\alpha\,\mu t_0 - 2Eq\mu t_0)}{(2ml + mg\cos\alpha\,\mu t_0^2 - Eq\mu t_0^2)^2} =$$

$$= \frac{2mglt_0\sin\alpha\cdot 2ml}{(2ml + mg\cos\alpha\,\mu t_0^2 - Eq\mu t_0^2)^2} =$$

Чистовик

7/10

$$= \frac{4m^2 l^2 g \sin\alpha \cdot \sqrt{\frac{2ml}{mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu}}}{\left(2ml + (mg\cos\alpha\mu - Eq\mu)\frac{2ml}{mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu}\right)^2} =$$

$$= \frac{4m^2 l^2 g \sin\alpha \sqrt{\frac{2ml}{mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu}}}{\left(\frac{2m^2 lg\sin\alpha \cancel{+ 2mlEq\mu - 2m^2 lg\cos\alpha\mu + 2m^2 lg\cos\alpha\mu - 2mlEq\mu}}{(mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu)^2}\right)^2}$$

$$= \frac{\cancel{4m^2 l^2 g \sin\alpha}}{4m^2 l^2 g^2 \sin^2\alpha} \cdot \sqrt{2ml}\,(mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu)^{\frac{3}{2}} =$$

$$= m^{-2} g^{-1} \sin^{-1}\alpha \sqrt{2}\, m^{\frac{1}{2}} l^{\frac{1}{2}} (mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu)^{\frac{3}{2}}$$

$$= \cancel{m^{-\frac{1}{2}} \sqrt{2}\, l^{\frac{1}{2}} \ldots Eq}$$

$$\frac{\sqrt{2ml}\,(mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu)^2}{m^2 g \sin\alpha \sqrt{(mg\sin\alpha + Eq\mu - mg\cos\alpha\mu)}} =$$

$$= \frac{\sqrt{2\cdot 10^{4} l}\,\left(\sin\alpha + \frac{\mu}{2} - \cos\alpha\mu\right)^2}{\cancel{10^3}\cdot \sin\alpha \sqrt{\sin\alpha + \frac{\mu}{2} - \cos\alpha\mu}}$$

$$v_1 = \frac{\sqrt{20 l}\,(\sin\alpha - \cos\alpha\mu)^2}{\sin\alpha \sqrt{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}}$$

$$k = \frac{v_1}{v_2} = \frac{(\sin\alpha - \cos\alpha\mu)^2}{\sqrt{(\sin\alpha - \cos\alpha\mu)}} \cdot \frac{\sqrt{\sin\alpha + \frac{\mu}{2} - \cos\alpha\mu}}{(\sin\alpha + \frac{\mu}{2} - \cos\alpha\mu)^2} =$$

$$= \left(\frac{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}{\sin\alpha + \frac{\mu}{2} - \cos\alpha\mu}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\cancel{\alpha_{np} = 30^\circ: \sqrt{\left(\frac{\frac{1 - \sqrt{3}\mu}{2}}{\frac{1 - \sqrt{3}\mu + \mu}{2}}\right)^3}}$$

$$k = \sqrt{\left(\frac{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}{\sin\alpha - \cos\alpha\mu + \frac{\mu}{2}}\right)^3}$$

Проверим ответ логически:

Чистовик 8/10

За счёт $\vec{E}_q$ уменьшается $F_т$, при этом, ~~в~~ OX она не имеет вклада => ускорение во втором случае больше => $v_2 > v_1$, $k < 1$

$$k = \sqrt{\left(\frac{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}{\sin\alpha - \cos\alpha\mu + \frac{\mu}{2}}\right)^3} < 1 \text{ - верно!}$$

Ответ: $k = \sqrt{\left(\frac{\sin\alpha - \cos\alpha\mu}{\sin\alpha - \cos\alpha\mu + \frac{\mu}{2}}\right)^3}$

Вопросы:

1) Электрическая ёмкость - хар-ка проводника, характеризующая его возможность набирать заряд

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

д.п. среды

← площадь пл-н

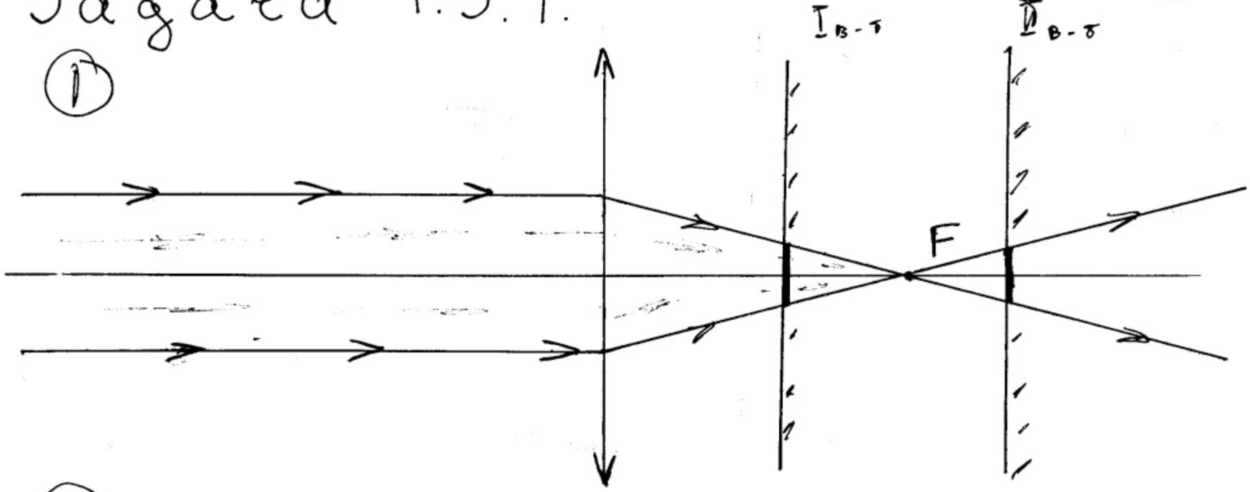
← рас-е между пл-ми

[Ф].

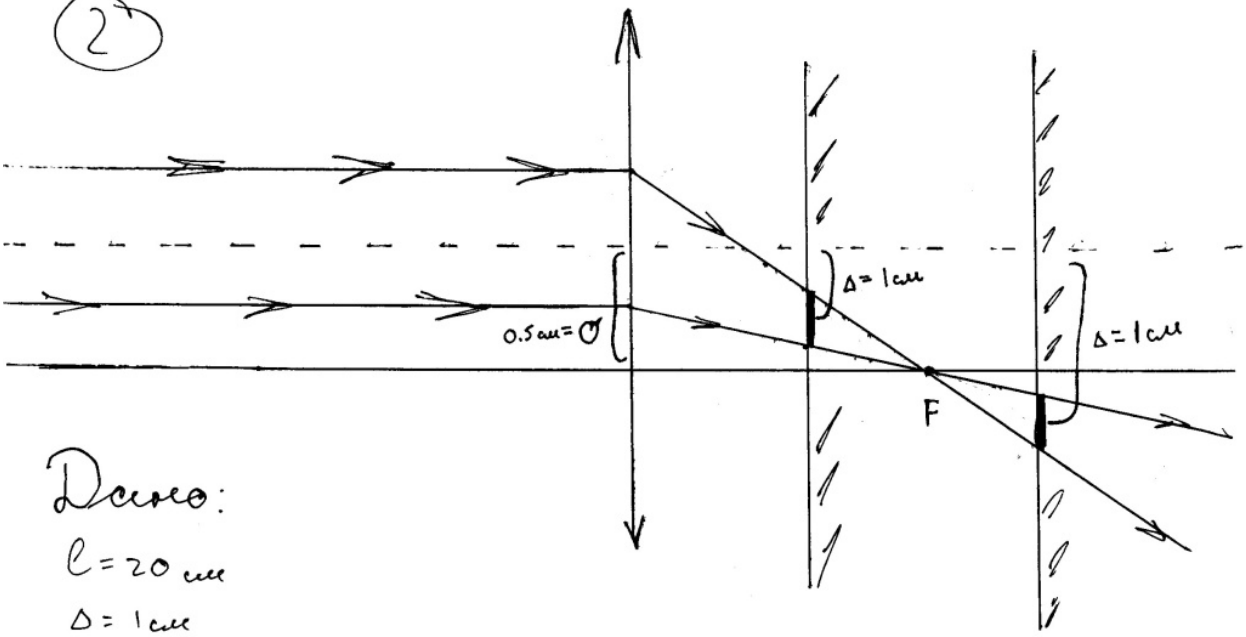
Чистовик 8/10

Задача 4.3.1.

1



2



Дано:

$l = 20$ см

$\Delta = 1$ см

$\sigma = 0.5$ см

Найти: F

Решение:

1) Рассмотрим смещение линзы и изображения.

2) Очевидно, что линза может располагаться до F и после (см. рис. 1), но т.к. $\Delta > \sigma$, она располагается за F (иначе $\Delta < \sigma$, что противоречит ус-ю) Обоснование см. на рис-ах.

3) Теперь рассмотрим луч, попадающий в центр изображения.

Задача 1.3.1.

Дано:

$M = 1$ кг

$N = 2$ Вт

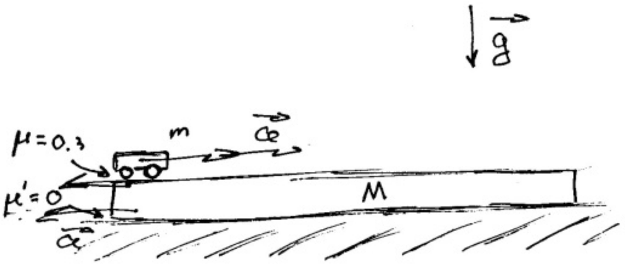
$m = \frac{M}{n}$ - масса автомобиля

$n = 3$

$\mu = 0.3$

$g = 10\ ^{м}/_{с^2}$

Найти: X (отн. доски)



Решение:

1) Очевидно, что когда колёса перестанут проскальзывать, $\Delta X_g + \Delta X_a = const$ за нек. t

$\frac{1}{3}$

$F_{тр}$ a_m a_m

$\frac{Nt}{S}$ $\frac{N}{v}$

M $a_M = \cancel{F_{тр}}\ mg\mu$

$a_m = \frac{F - mg\mu}{m}$

$a_M = \frac{mg\mu}{M}$

$a_m = \frac{\frac{N}{v} - mg\mu}{m}$

0

$v =$

$\frac{mg\mu}{M} + a_m = g\mu - \frac{N}{v}$

$\frac{mg\mu}{N} = g\mu - \frac{N}{v}$

```
100|19
 95|0,0526 21
  50
  38
  120
  116
    40
   38
    20
    19
     100
```

$$\frac{\dfrac{4g\cancel{\ell^2}\sqrt{2\ell}\cdot\sin\alpha}{\sqrt{g}\sqrt{\sin\alpha-\cos\alpha\mu}}}{\cancel{4\ell^2}\left(2\dfrac{\sin\alpha\cancel{+\cos\alpha}}{\sin\alpha-\cos\alpha\mu}\right)^2}=\frac{\sqrt{2\ell g}\cdot\cancel{\sin\alpha}}{\cancel{\sqrt{\sin\alpha-\cos\alpha\mu}}}\cdot\frac{(\sin\alpha-\cos\alpha\mu)^{\frac{3}{2}}}{\sin^{2}\alpha}$$

$$=\sqrt{2\ell g}\,\sin^{-1}\alpha\,(\sin\alpha-\cos\alpha\mu)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{\cancel{10^6}}{6}\cdot 3\cdot\cancel{10^{-6}}$$

$$\frac{2-\sqrt{3}}{2-\sqrt{3}+1}$$

$$\frac{\sqrt{2g\ell}}{\sin\alpha\sqrt{\sin\alpha-\cos\alpha\mu}}(\sin\alpha-\cos\alpha\mu)^2$$

Черновик ?