МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Токаев Лев Русланович**

Класс: 11

Технический балл: **98**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9550357

<table>
<tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>∑</th></tr>
<tr><td>Задача</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td rowspan="2">98</td></tr>
<tr><td>Вопрос</td><td>9</td><td>10</td><td>10</td><td>9</td></tr>
</table>

~~Решение~~: Задача 1.3.1 (1)

Доска и авто взаимодействуют с силой $F_{тр} = \mu N$, из второго закона Ньютона

$N = mg = \frac{M}{n} g$

По второму закону Ньютона для авто

$\frac{M}{n} a_а = F_{тр} = \frac{\mu M g}{n} \Rightarrow [a_а = \mu g]$

По 2-му закону Ньютона для доски

$M a_д = F_{тр}$, $a_д$ – ускорение доски относительно льда

$M a_д = \mu \frac{M}{n} g \Rightarrow [a_д = \frac{\mu}{n} g]$

По закону сложения ускорений

$\vec{a}_{ад} = \vec{a}_а - \vec{a}_д \Rightarrow a_{ад} = a_а + a_д = \mu g + \frac{\mu g}{n} = \frac{\mu g(n+1)}{n}$

Автомобиль закончит проскальзывание в тот момент, когда скорость скорость центра колеса автомобиля (вместе авто) относительно доски станет равна скорости точки на ободе колеса относительно центра v.

$X = \frac{v^2}{2a_{ад}} = \frac{v^2 n}{2\mu g(n+1)}$

$N = F_{тр} v \Rightarrow v = \frac{N}{Mg} n$

$X = \frac{N^2 n^3}{2\mu(n+1) \cdot g^3 \cdot M^2} = \frac{2 \cdot 27}{2 \cdot 0,3 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 1} \approx 0,045$ м

Ответ: м

$x = 0,045$ м.

9550357

$v^2 = \cancel{2F\alpha}$

Черновик 1.3.1 (5)

Черновик (3)

~~Задача 3.3.1 (продолжение)~~ ~~Чистовик~~ Черновик (4)

$$v_2^2 = \frac{2A_{Fm}}{m} + 2gl\sin\alpha \Rightarrow v_2^2 = -\mu g\cos\alpha\, l + \frac{2F\mu l}{m}$$

$$v_2^2 = \cancel{2}\cdot\frac{q\sigma}{\cancel{2}\varepsilon_0 m}\cdot\mu\cdot l - \mu g\cos\alpha\cdot l \quad , \mu = tg\alpha$$

$$v_2^2 = \frac{q\sigma\mu l}{\varepsilon_0 m} - gl\sin\alpha$$

$$v_1^2 = gl\sin\alpha \quad \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\frac{q\sigma\cdot\mu l}{\varepsilon_0 m} - gl\sin\alpha}{gl\sin\alpha}} =$$

$$= \sqrt{\frac{q\sigma\sin\alpha\, l}{\varepsilon_0 m\cdot g\cdot l\sin\alpha\cdot\cos\alpha} - 1} = \sqrt{\frac{q\sigma}{\varepsilon_0 m g\cos\alpha} - 1} = \sqrt{\frac{3\cdot10^{-6}\cdot3\cdot10^{-6}}{9\cdot10^{-12}\cdot0{,}1\cdot10\cdot\frac{\sqrt3}{2}} - 1} =$$

$$= \sqrt{\frac{2}{\sqrt3} - 1} \approx \sqrt{0{,}2}$$

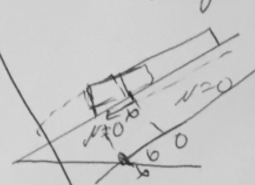
$$a - 1\ \frac{q\varepsilon}{2\varepsilon_0 mg}$$

$v^2 = 2F\ell$

Черновик 1.3.1 (5)

~~Задача~~ 3.1 ~~Чистовик~~ Черновик (3)

Рассмотрим первую часть задачи:



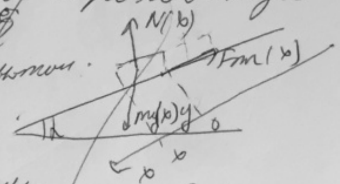
Для поиска коэф. трения на шероховатой поверхности воспользуемся условием, что при $\alpha_{кр} = 30^\circ$ едва едва проскальзывает

$F_{тр} = \mu_{кр} N$; $N = mg\cos\alpha_{кр}$

$F_{тр} = mg\sin\alpha$

$mg\sin\alpha_{кр} = \mu_{кр} \cdot mg\cos\alpha_{кр} \Rightarrow \mu_{кр} = tg\,\alpha_{кр} = \frac{1}{2\cdot\sqrt{3}} \cdot 2 = \frac{1}{\sqrt{3}}$

Пусть пластинка въедет на шероховатую плоскость на x; силы действуют на неё в проекции на x по 2-му закону Ньютона:

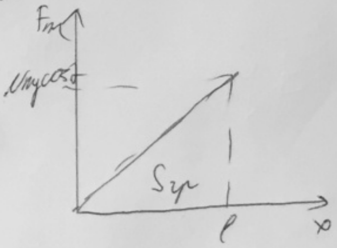


$m(x)g\sin\alpha - \mu m(x) g\cos\alpha = \frac{m}{\ell} a_x$

$m(x) = m\frac{x}{\ell}$, где ℓ – длина пластины

$F_{тр}(x) = \mu N(x) = \mu m\frac{x}{\ell} g\cos\alpha$;

Построим график в зависимости $F_{тр}(x)$



$A_{F_{тр}} = -S_{гр} = -\frac{1}{2}\mu mg\cos\alpha\,\ell$

Запишем ЗИМЭ:

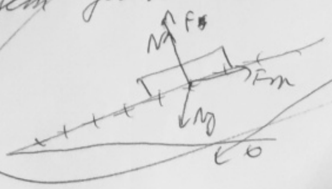
$A_{F_{тр}} + mg\ell\sin\alpha = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow -\mu g\cos\alpha\,\ell + 2g\ell\sin\alpha = v_1^2$

$v_1^2 = 2g\ell\sin\alpha - \mu g\cos\alpha\,\ell \Rightarrow v_1 = \sqrt{2g\ell\sin\alpha - \mu g\cos\alpha\,\ell} = \sqrt{2g\ell\sin\alpha_{кр} - g\ell\sin\alpha_{кр}} =$

$\mu = \mu_{кр}$, $\alpha = \alpha_{кр}$

$= \sqrt{g\ell\sin\alpha_{кр}} = \sqrt{\frac{g\ell}{2}}$

Во второй ситуации, плоскость будет создавать поле $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ и на пластину будет действовать сила $F = qE = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0}$ – направленная ⊥ вверх наклонной плоскости



$F_{тр}(x) = \mu N(x)$

$N(x) = m(x) g\cos\alpha - F \Rightarrow F_{тр}(x) = \mu m(x) g\cos\alpha - F\mu$

$A_{F_{тр}} = -\int_0^\ell F_{тр}(x)\,dx = -\int_0^\ell \mu m(x) g\cos\alpha - F\mu = -\int_0^\ell \mu m\frac{x}{\ell} g\cos\alpha - F\mu\,dx$,

$A_{F_{тр}} = -\left(\frac{\mu mg\cos\alpha}{2}\ell - F\mu\ell\right)$

По ЗИМЭ: $A_{F_{тр}} + mg\ell\sin\alpha = \frac{mv_2^2}{2}$

Чистовик: Вопросы и задачи 1.3.1 2

Импульс системы материальных точек равен сумме импульсов точек

$\vec{P}_{сис} = \vec{P_1} + \vec{P_2} + \vec{P_3} \ldots \quad (P_{сис} = \sum_i \vec{m_i} \vec{v_i})$

В ~~И~~ ИСО если сумма внешних сил равна нуль, которые действуют на систему, ~~им~~ то импульс системы сохраняется

$\vec{P_1} + \vec{P_2} = \vec{P_1'} + \vec{P_2'}$

Змитовик):

5

Вопросы к задаче 3.5.1

Электроемкость двух проводников ~~в~~ в является отношением заряда одного из них к разности потенциалов между этими проводниками

$$C = \frac{q}{\Delta U}$$

Электроемкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$, измеряется в Фарадах.

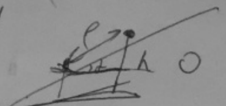
ε – диэлектрическая проницаемость среды в которую ~~#~~ он помещен

ε_0 – электрическая постоянная

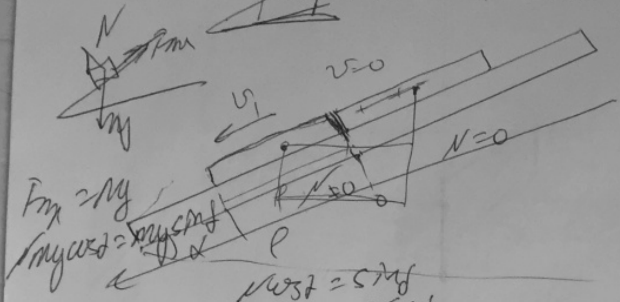
S – площадь пластины, обкладок конденсатора

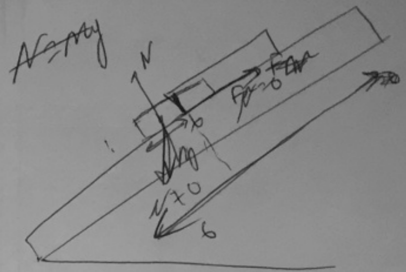
d – расстояние между ними

3.5.1 $\sin\alpha = \frac{h}{\ell}$ черновик (1)



$h = \ell \sin\alpha$ $F_{тр} = \mu N(x)$





$F_{тр} = \mu g$

$\mu mg\cos\alpha = mg\sin\alpha$

$\mu\cos\alpha = \sin\alpha$

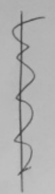
$\mu = tg\,\alpha$

$F_{тр}(x) = \mu N(x) = \mu m(x) g\cos\alpha$ $N = m(x)\, g \cos\alpha$

$m(x) = \frac{m x}{\ell}$

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

$F_{тр}(x) = \sim x$

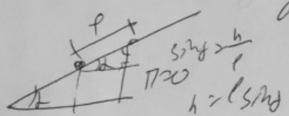


$x: -\mu mg\cos\alpha \cdot \frac{x}{\ell} + mg\sin\alpha = ma_x$

$a_x = g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha \frac{x}{\ell}$

$-\kappa x = ma_x$

$a_x + \mu g\cos\alpha \frac{x}{\ell} = g\sin\alpha$



$\omega^2 = \frac{\mu g\cos\alpha}{\ell}$

$\omega = \sqrt{\frac{\mu g\cos\alpha}{\ell}}$

$F_{тр} =$ $A_{F_{тр}} = -S'_{тр}$

$S'_{тр} = \frac{1}{2} \cdot \ell \cdot \mu mg\cos\alpha$

$A_{F_{тр}} = -\frac{\mu mg\cos\alpha\,\ell}{2}$

$\frac{m v_1^2}{2} = \frac{\mu mg\cos\alpha\, l}{2}$

$mg\ell\sin\alpha + A_{тр} = \frac{m v_1^2}{2}$

$2g l\sin\alpha + \frac{2A_{тр}}{m} = v_1^2$

$2g\ell\sin\alpha + (\cancel{2} - \mu g\cos\alpha\, l) = v_1^2$

$v_1^2 = \cancel{2g}\, g\ell(2\sin\alpha$

[Чистовик]

Вопросы (к задаче ч.3.)

~~Это Это Фокусное расстояние – это точка~~ Точка, в которой пересекаются в собирающей линзе лучи, падающие на неё параллельно главной оптической оси. Такая точка называется главным фокусным расстоянием

Если линза рассеивающая ( ), то в главном фокусе пересекаются продолжения лучей преломленных в линзе, если они падают паралельно Г.О.О.

Фокусное расстояние – это расстояние от оптического центра линзы до её главного фокуса.

У собирающей линзы( ) Фокусное расстояние $F>0$, у рассеивающей линзы $F<0$

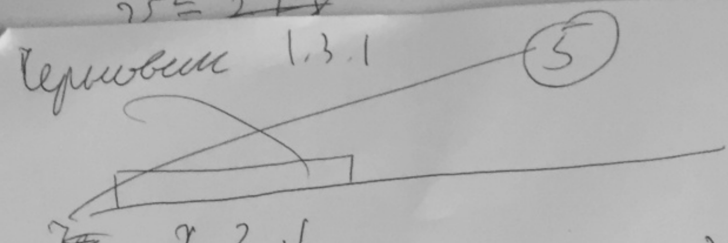
Величину, обратную фокусному расстоянию называют оптической силой линзы $D=\frac{1}{F}$

$D>0$, линза собирающая

$D<0$, линза рассеивающая

$25^2 = 2\,5\,8$

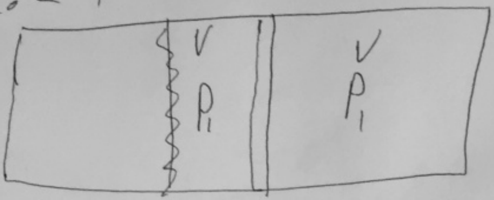
Черновик 1.3.1 (5)



$\frac{1}{200} \cdot 10^{-4} = \frac{5}{1000} \cdot 10^{-4}$

$0{,}002 \cdot 10^{-4}$

X.2.1

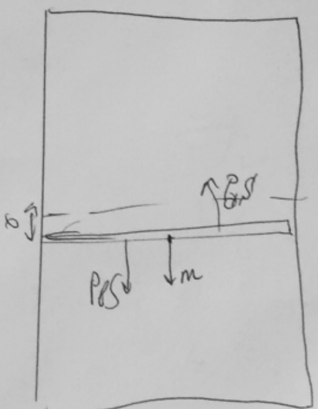


1) $P_1 = P_0$

2) $P_0 V = \nu_в RT$

$\frac{5}{10}$

3)



пары сконденсируются

$P_0 (V - Sx) = \frac{m_п}{M} RT$

$P_в S + mg = P_0 S$

$P_в = P_0 - \frac{mg}{S}$

$P_в (V + Sx) = \nu_в RT = P_0 V$

$\left(P_0 - \frac{mg}{S}\right)(V + Sx) = P_0 V$

$\cancel{P_0 V} + P_0 S x - \frac{mg}{S} V - mg x = \cancel{P_0 V}$

$mgx = P_0 S x - \frac{mgV}{S}$

$x(P_0 S - mg) = \frac{mgV}{S}$

$\boxed{x = \frac{mgV}{S(P_0 S - mg)}} =$

$\frac{5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0{,}01(10^5 \cdot 0{,}01 - 5 \cdot 10)} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{0{,}01(10^3 - 50)} =$

$= \frac{5 \cdot 10^{-4}}{1000 - 50} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{1000 - 50} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{9950} \approx 0{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}5$ мкм

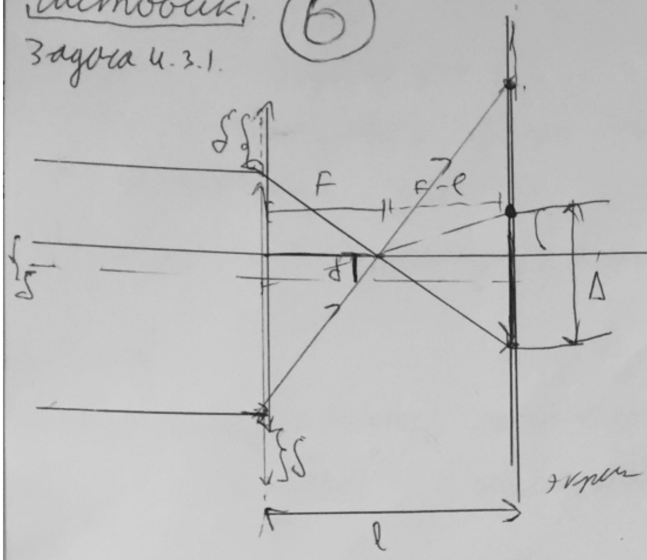
$\frac{5 \cdot 10^{-4}}{1000}$

$\frac{5}{10^7} = 5 \cdot \frac{10^{-7}}{10^1}$ $30 \cdot 10^{-8}$

9950 | 5, 1990; −5, 49, −45, 45, −45, 0

Чистовик. 6

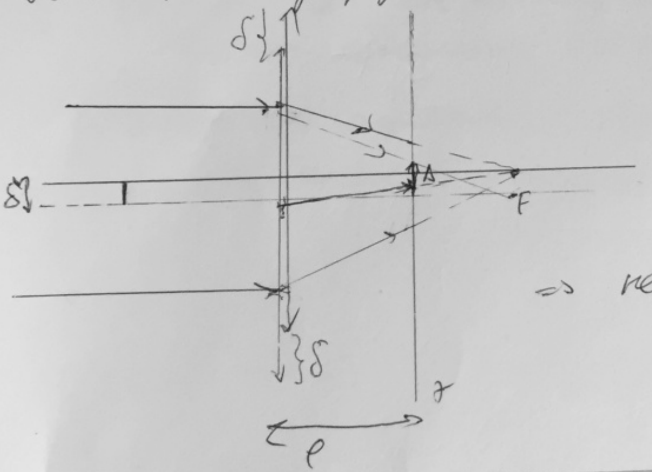
Задача 4.3.1.



из подобия

$$\frac{\delta}{\Delta}=\frac{F}{\ell} \Rightarrow \left[F=\frac{\delta \ell}{\Delta}=\frac{0{,}5\cdot 20}{1}=10\text{ см}\right]$$

Рассмотрим другую ситуацию положения экрана:



$$\frac{\Delta}{\ell}=\frac{\delta}{F} \Rightarrow F=\frac{\delta \ell}{\Delta}=\frac{0{,}5\cdot 20}{1}=10\text{ см}$$

результат тотже

=> не зависит где экран будет до или после фокуса.

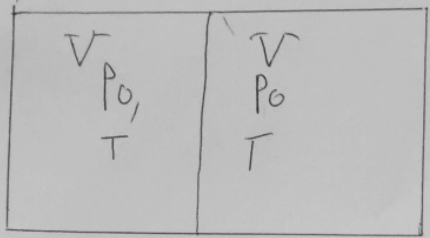
Ответ: $F=10$ см

Вопрос: Фокусное расстояние - это такая точка, через которую ~~проходят лучи в собирающей линзе~~, после преломления в собирающей линзе лучей, падающих на неё параллельно главной оптической оси, проходят эти преломленные лучи, называется главным фокусным расстоянием.

~~Чистовик (1)~~ (3)

Чистовик.

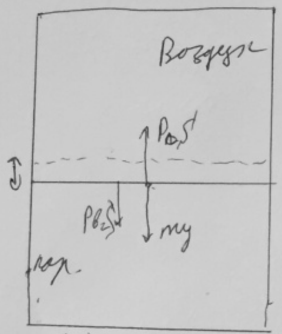
Задача 2.2.1:



1) Поршень в равновесии, давление воздуха и насыщенного пара слева и справа равно:

$p_{n_1} = p_0$; $p_{в_1} = p_{n_1} = p_0$

2). Перевернули:



Условие равн. поршня

$p_0S' = p_{в_2}S' + mg$

$p_{в_2} = \frac{p_0 - mg}{S'}$

По закону Бойля – Мариотта T = const для воздуха получим: $p \cdot V = const$ p – давление, V – объем.

$p_{в_1} \cdot V = p_{в_2}(V + S'x) \Rightarrow$ ~~$p_0 V = (\frac{p_0 - mg}{S'}$~~

$p_0 V = (p_0 - \frac{mg}{S'})(V + S'x)$

$\cancel{p_0 V} = \cancel{p_0 V} + p_0 S'x - \frac{mgV}{S'} - mgx \Rightarrow \frac{mgV}{S'} = (p_0S' - mg)x \Rightarrow$

$\Rightarrow x = \frac{mgV}{S'(p_0S' - mg)} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0{,}01(10^5 \cdot 0{,}01 - 5 \cdot 10)} \approx \boxed{\frac{10^{-4}}{199}} \approx$

~~$\approx \frac{1}{200} \cdot 10^{-4} \approx \frac{5}{10^7}$~~ $\approx 5 \cdot 10^{-3}$ м = 5 мм

Ответ: $x \approx 5 \cdot 10^{-3}$ м ≈ 5 мм

Вопрос:

Абсолютная влажность воздуха ρ – это плотность водяного пара в воздухе

Относительная влажность воздуха ~~водяного~~ $\boxed{\varphi}$ называют отношение абсолютной влажности воздуха ρ к плотности ρ_0 насыщенного водяного пара при той же температуре, выражается в % $\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%$

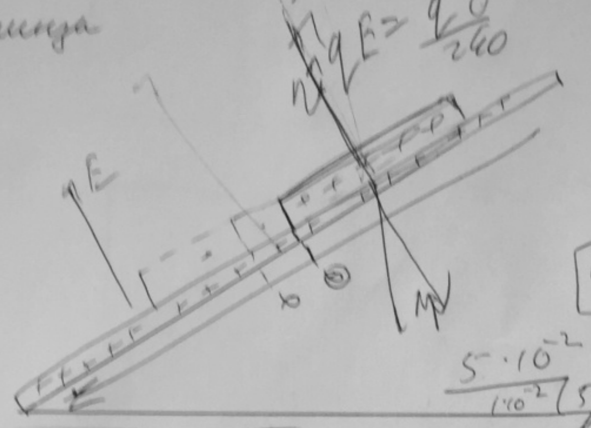
Черновик 1.3.1

~~Чистовик~~ Черновик

6

Вопросы (к задаче 4.3.1)

Фокусное расстояние - это такая точка, через которую проходят в собирающей линзе лучи, идущие на неё параллельно главной оптической оси линзы



$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

$\sigma S = q$

$\boxed{qE}$

Въехали на $\frac{l}{2}$

$\frac{5 \cdot 10^{-2}}{10^{-2}(5-10^{3})}$

$A_{Fm} = \frac{\mu m}{l} g\cos\alpha \cdot \frac{l^2}{2} - F\mu(l-0)$

$A_{Fm} = -\left(\frac{\mu m g\cos\alpha\, l}{2} - F\mu l\right)$

$\cancel{M_{тр}}\ m\frac{x}{l} g\cos\alpha$

A_{Fm}

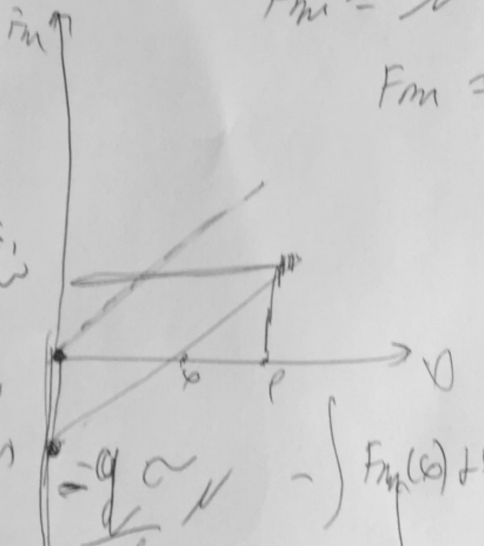
~~$F_{тр} = \mu\, m\frac{x}{l} g\cos\alpha$~~

$N = mg\cos\alpha\ F_x$ $\qquad N = m\frac{x}{l} g\cos\alpha - F_x$

$F_{тр} = \mu\, m\frac{x}{l} g\cos\alpha - F_x \cdot \mu$

$F_{тр} = \mu\frac{mx}{l} g\cos\alpha - \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \mu$

$y = kx - b$



$\frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}(10^{3}-50)} = \frac{5}{950}$

$-\int F_{тр}(x)\,dx$

$F_{тр} = 0$

$\mu\frac{mx}{l} g\cos\alpha = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0}\mu$

$x = \frac{q\sigma l}{2\varepsilon_0 m g\cos\alpha}$

9550357

$$v_2^2 - ng\cos\alpha\, l + 2\frac{F n l}{m}$$

$$v^2 = \cancel{2F\alpha}$$

$$v^2 = \frac{2Fnl}{m} - ng\cos\alpha\, l$$

$$v_2^2 = 2\cdot\frac{q\sigma}{2\varepsilon_0 m} nl - ng\cos\alpha\, l = \frac{q\sigma n l}{\varepsilon_0 m} - ng\cos\alpha$$

$$v_2^2 = \frac{q\sigma n l}{\varepsilon_0 m} - gl\sin\alpha$$

$$v_2^2 = \left(\frac{q\sigma}{\varepsilon_0 m} - g\cos\alpha\right) l n$$

$2F$

$$\frac{v_2}{v_1} = \quad \frac{v_1}{v_2} = \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{l n\left(\frac{q\sigma}{\varepsilon_0 m} - g\cos\alpha\right)}}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{\frac{q\sigma n l}{\varepsilon_0 m} - gl\sin\alpha}}{\sqrt{gl\sin\alpha}} = \sqrt{\frac{\frac{q\sigma n l}{\varepsilon_0 m} - gl\sin\alpha}{gl\sin\alpha}} =$$

$$= \sqrt{\frac{q\sigma n l}{\varepsilon_0 m\, gl\sin\alpha} - 1} = \sqrt{\frac{q\sigma \sin\alpha}{\cos\alpha\, \varepsilon_0 m g \sin\alpha} - 1}$$

$$\sqrt{\frac{q\sigma}{\cos\alpha\, \varepsilon_0 m g} - 1}$$

$\frac{20}{17}$ 1,18; 30 (1,2); $\frac{17}{130}$; $\frac{2\cdot 100}{17}$; $\frac{20}{17} - 1$; 0,2

10 | 31; 0,32; $\frac{100}{93}$; 70

$\frac{2}{\sqrt{3}} - 1$ $\quad \frac{3}{2\cdot 10} = \sqrt{\frac{1}{10}} = \frac{1}{\sqrt{10}}$

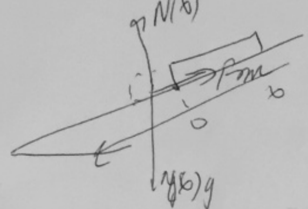
$\frac{2}{1{,}7} - 1$

$\frac{1}{3{,}1}$ $\quad \frac{2-\sqrt{3}}{3}$ $\quad \frac{0{,}3}{3} =$ $\quad \frac{2\cdot 100}{17} - 1$

$\frac{10}{31}$ $\quad \frac{2-1{,}7}{3} =$ $\quad \frac{20-17}{17} = \frac{3}{17}$

Чистовик, Задача 3.5.1 (4)

Рассмотрим ситуацию до зарядов:
т.к. доска удерживается при $\boxed{\alpha = \alpha_{кр}}$, то верно, что $\mu = \operatorname{tg}\alpha_{кр} = \frac{1}{\sqrt{3}}$



По ЗИМЭ до конечного состояния, как въехала пластина на ℓ:

$$\Delta E_{к_1} = A_{mg} + A_{Fтр_1}$$

$$\Delta E_{к_1} = \frac{m v_1^2}{2}; \quad A_{mg} = mg\ell\sin\alpha; \quad A_{Fтр} = -S'_{гр_1}$$

$S'_{гр_1}$ — площадь под графиком зависимости $F_{тр}$ от x

$$F_{тр} = \mu N(x) = \mu m \frac{x}{\ell} g\cos\alpha; \quad S'_{гр} = \int_0^{\ell} F_{тр}(x)\,dx = \int_0^{\ell} \mu mg \frac{x}{\ell} g\cos\alpha\,dx$$

$$S_{гр} = \frac{\mu mg\cos\alpha\,\ell}{2} \Rightarrow A_{тр} = -\frac{\mu mg\cos\alpha\,\ell}{2}$$

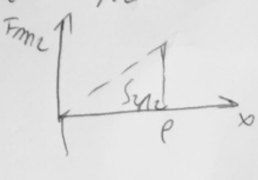
$$\frac{m v_1^2}{2} = mg\ell\sin\alpha - \frac{\mu mg\cos\alpha\,\ell}{2} \quad (1)$$

Рассмотрим вторую ситуацию: создается поле $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, и действует сила $F = qE$ ($\perp$ плоскости от плоскости)

$$N(x) = \cancel{mg}\,m(x)\cos\alpha - qE$$

$$F_{тр_2} = \frac{\mu(mg\cdot\cos\alpha - Eq)\,x}{\ell}; \quad A_{тр} = -S'_{гр_2}$$

$$\cancel{S'_{гр_2} = \int_0^{\ell} F_{тр_2}(x)\,dx = \frac{\mu mg\cos\alpha\,x - Eqx}{\ell}}$$



$$A_{тр_2} = -\frac{\mu(mg\cos\alpha - Eq)\,\ell}{2}$$

По ЗИМЭ: $\frac{m v_2^2}{2} = mg\ell\sin\alpha - \frac{\mu(mg\cos\alpha - Eq)\,\ell}{2} \quad (2)$

$$\frac{(2)}{(1)} \Rightarrow \frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{2\sin\alpha - \mu\left(\cos\alpha - \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0 mg}\right)}{2\sin\alpha - \mu\cos\alpha} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} \approx 1{,}26$$

Ответ: $\frac{v_2}{v_1} \approx 1{,}26$