МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Иконников Марк Игоревич**

Класс: 11

Технический балл: **79**

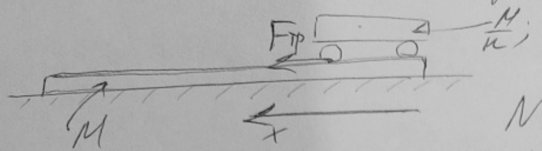
Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9783645

	1	2	3	4	∑
Задача	*6*	*15*	*10*	*15*	***79***
Вопрос	*9*	*8*	*9*	*7*	

Чистовик. лист 1/5

1.3.1. Задача



Через большое Δt после старта машина движется по доске без проскальзывания $\Rightarrow$ $\vec{v}_{машины} = -\vec{v}_{доски}$;

По формуле для мощности: $N = F \cdot v \cdot \cos\alpha$; Мощность двигателя идет на колеса $\Rightarrow$ на силу трения; $\alpha = \pi$ $\Rightarrow$

$\Rightarrow N = -F \cdot v$; $F = F_{тр} = \mu m g = \mu \frac{M}{n} g$ $\Rightarrow$ $\boxed{v = -\frac{N \cdot n}{\mu M g}}$ $\Rightarrow$ скорость автомобиля постоянна в И.С.О;

в начальный момент времени ~~тм~~ по З.С.И имеем:

$0 = m \cdot v_{авт} - M \cdot v_д$; $\Rightarrow$ $\frac{M}{n} \cdot v_{авт} = M \cdot v_д \,\Big|\, \frac{1}{M}$; $v_{авт} = 3 v_д$;

Тогда ~~дл~~ $\begin{cases} v_{д1} = -\frac{N}{\mu M g}; \\ v_{д2} = -\frac{N \cdot n}{\mu M g}; \end{cases}$ (в И.С.О) Скорость меняется из-за действия силы трения со стороны машины $\Rightarrow$

$$\boxed{\frac{M v_{д2}^2}{2} = \frac{M v_{д1}^2}{2} + |A_{тр}|}$$ (по З.С.Э) $|A_{тр}| = F_{тр} \cdot x = \mu \frac{M}{n} g x$; $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{M}{2} \cdot \frac{N^2 n^2}{\mu^2 M^2 g^2} = \frac{M}{2} \frac{N^2}{\mu^2 M^2 g^2} + \mu \frac{M}{n} g \cdot x; \Rightarrow \frac{\mu M}{n} g \cdot x = \frac{N^2 (n^2 - 1)}{\mu^2 M g^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \frac{N^2 \cdot (n^2 - 1) \cdot n}{\mu^3 \cdot M^2 \cdot g^3};$$ Подставим численные значения и найдем ответ;

$$x = \frac{4 \cdot 8 \cdot 3}{0{,}027 \cdot 1 \cdot 10^3} = \frac{32 \cdot 3}{27} = \frac{32}{9} \approx 3{,}6 \text{ м}$$

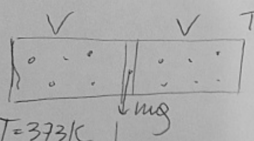
Ответ: $\approx 3{,}6$ м

Импульс системы материальных точек ~~тел~~ определяется ~~сум~~ векторной суммой импульсов каждого тела системы.

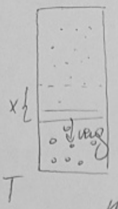
З.С.И: При отсутствии действия на систему тел внешних сил (или если их равнодействующая равна 0) ~~суммар~~ суммарный импульс системы тел сохраняется.

Чистовик. лист 2/5

2.2.1 Задача



$\Rightarrow$



$T = 373K$

$V = 1л$

$m = 5кг$

$S = 0{,}01\ м^2$

$g = 10\ м/с^2$

$p_0 = 10^5\ Па$

Решение: 1) $p_0V = \nu RT$ – для пара

$p_0 V = \nu RT$ – для воздуха.

2) $p_1(V+xS) = \nu RT_0$

при этом т.к. давление насыщенного паров зависит только от температуры, то

$$p_1 = p_0 - \frac{mg}{S}; \quad \left(p_0 - \frac{mg}{S}\right)(V+xS) = p_0V;$$

$$\cancel{p_0V} + p_0xS - \frac{mg}{S}\cdot V - mgx = p_0V$$

$$x\cdot(p_0S - mg) = \frac{mg}{S}V;$$

$$x = \frac{mgV}{S(p_0S-mg)}; \quad x = \frac{5\cdot10\cdot10^{-3}}{0{,}01\cdot(10^5\cdot0{,}01 - 5\cdot10)} = \frac{5\cdot10^{-2}}{10^{-2}\cdot(10^3-50)} =$$

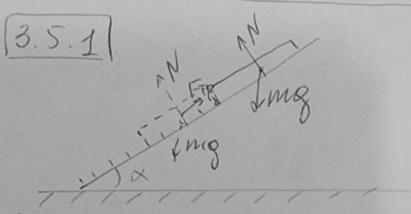
$$= \frac{5}{(1000-50)} = \frac{5}{950} = \frac{1}{190}\ м$$

Ответ: 1/190 м.

- Влажность воздуха – отношение массы воды в виде пара к массе воздуха в определенном объеме воздуха.
- Относительная влажность воздуха – отношение ~~данной влажности~~ давления пара при данных условиях к давлению насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах.

Чистовик. лист 3/5

3.5.1



1) из условия для $\alpha_{кр}$ получим:

$$mg\sin\alpha_{кр} = \mu mg\cos\alpha_{кр} \Big| \frac{1}{mg} \Rightarrow \boxed{\mu = tg\,\alpha_{кр}}$$

Пусть длина пластинки x. Запишем З.С.Э.:

$$\boxed{\frac{mv_1^2}{2} + A_{тр_1} = mg\,x\cdot\sin\alpha};\quad A_{тр_1} = \mu mg\cos\alpha\cdot x;$$

для случая с заряженными пластинами:

$$\boxed{\frac{mv_2^2}{2} + A_{тр_2} = mgx\cdot\sin\alpha};$$

$A_{тр_2} = \mu x(N - F_{эл}) = \mu x(mg\cos\alpha - F_{эл})$; где $F_{эл}$ — сила, с которой плоскость отталкивает пластинку. $E_{пл} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \Rightarrow F_{эл} = \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$;

$$A_{тр_2} = \mu x\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma\cdot q}{2\varepsilon_0}\right); \Rightarrow$$

$$\frac{mv_2^2\cdot 2}{2\cdot mv_1^2} = \frac{mgx\cdot\sin\alpha - \mu x\cdot\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)}{mgx\cdot\sin\alpha - \mu x mg\cdot\cos\alpha} \Rightarrow$$

$$\cancel{\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha + \mu\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}}{mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha}}}$$

~~Подставим числа и найдем ответ.~~

$$\cancel{\left(\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} - \frac{\sqrt3}{3}\cdot\frac{\sqrt3}{2} + \frac{\sqrt3}{3}\cdot\frac{9\cdot10^{-12}}{9\cdot10^{-12}}}{\frac{1}{2} - \frac{\sqrt3}{3}\cdot\frac{\sqrt3}{2}}} = \frac{\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \frac{\sqrt3}{3}}{}\right)}$$

Из кинематики: Р.Н.

$$\frac{v_1^2}{2(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha)} = x,\quad \text{а также: } mv_1^2 = mv_2^2 - \frac{\mu\sigma q}{\varepsilon_0}x;$$

$$mv_1^2 = mv_2^2 - \frac{\mu\sigma q}{\varepsilon_0}\cdot\frac{v_1^2}{2(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha)} \Rightarrow \cancel{(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha) = mv_2^2 - mv_1^2}$$

$$(g\cdot\sin\alpha - \mu g\cos\alpha) = \frac{\mu\sigma\cdot q v_1^2}{(mv_2^2 - mv_1^2)2\varepsilon_0};$$

подставим в формулу для отношения;

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{\frac{g\cdot\mu\sigma q\cdot v_1^2}{(v_2^2 - v_1^2)2\varepsilon_0} + \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}}{\frac{\mu\sigma\cdot q\cdot v_1^2}{(v_2^2 - v_1^2)2\varepsilon_0}} = \frac{\frac{g\cdot\mu\sigma\cdot q\cdot v_1^2\cdot\cancel{(v_2^2 - v_1^2)2\varepsilon_0}}{\cancel{(v_2^2 - v_1^2)2\varepsilon_0}} + \sigma q(v_2^2 - v_1^2)}{\mu\sigma\cdot q\cdot v_1^2};$$

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{g\cdot\mu\sigma\cdot q\cdot v_1^2 + \sigma\cdot q(v_2^2 - v_1^2)}{\mu\sigma\cdot q\cdot v_1^2};\quad \cancel{\mu\sigma\cdot q\cdot v_2^2 = g\mu\cdot q\sigma\cdot v_1^2 + \sigma q\cdot v_2^2 - \sigma q\cdot v_1^2}$$

$$\cancel{\mu v_1^2}$$

9783645

Чистовик ; лист 4/5

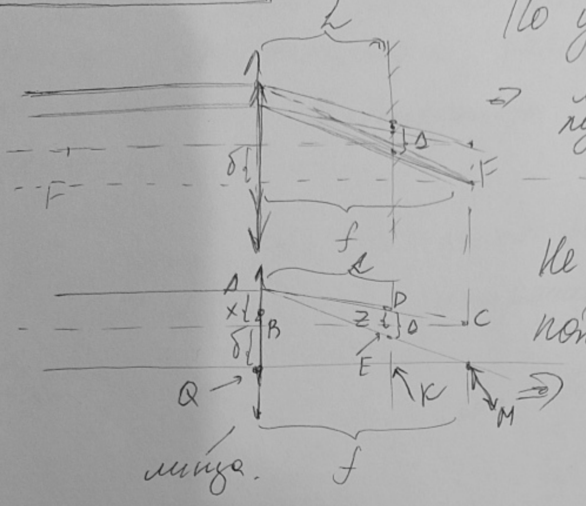
• Электроемкость плоского конденсатора – характеристика плоского конденсатора, равная отношению заряда на обкладках конденсатора к напряжению между пластинами.

$$\boxed{C = \frac{q}{U}}$$, где q - заряд конденсатора
U - напряжение между пластинами.

Или! $$\boxed{C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}}$$, где ε_0 - эл. постоянная
ε - диэлектрич. проницаемость среды
S - площадь пластин
d - расстояние между обкладками.

Чистовик лист 5/5

Задача 4.3.1



По условию пучок узкий ⇒ ⇒ можно принять за световой луч.

Не указано, в какую точку попадает световой пучок ⇒ применим

Из подобия треугольников ABC и DEC:

$\frac{z}{f-L} = \frac{x}{f} \Rightarrow z = \frac{(f-L)x}{f}$; Из подобия треугольников

AQM и EKM находим, что $\frac{x+\delta}{f} = \frac{\delta - \Delta + z}{f-L}$,

$\frac{x+\delta}{f} = \frac{\delta - \Delta + \frac{(f-L)x}{f}}{f-L} \Rightarrow \cancel{xf} - \cancel{xL} + \cancel{\delta f} - \delta L = \cancel{f\delta} - f\Delta + \cancel{fx} - \cancel{xL}$

$f = \frac{\delta L}{\Delta} = \frac{0{,}5 \cdot 20}{1} = 10$ см.

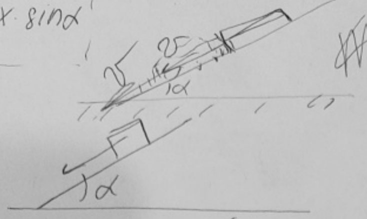
Ответ: 10 см.

- Фокусное расстояние линзы – расстояние от оптического центра линзы до точки фокуса.
- Фокус – точка, в которой сходятся все лучи от бесконечно удаленного источника, проходящие через линзу параллельно главной оптической оси
- Оптическая сила линзы – величина, обратная фокусному расстоянию.

9783645

Черновик 5

$\frac{mv_1^2}{2} + A_{тр} = mgx \cdot \sin\alpha$



$\frac{v_1^2}{2(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha)} = x$

$mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$ $\quad g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$

$v_1^2 = 2x(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha);$

$mv_1^2 = mv_2^2 - \frac{\mu\sigma g}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{v_1^2}{(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha)}$

$\frac{mv_2^2 - mv_1^2}{1} = \frac{\mu\sigma g \cdot v_1^2}{\varepsilon_0 \cdot 2(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha)}$

$\boxed{(g\sin\alpha - \mu g\cos\alpha) = \frac{\mu\sigma g v_1^2}{(mv_2^2 - mv_1^2)\cdot 2\varepsilon_0}}$

$\frac{v_2^2}{v_1^2} = mg$

в момент проскальзывания $\boxed{v_{доски} = \frac{v_{авт}}{3}}$

Затем: $v_{авт} = v_{доски} = \frac{N}{\mu m g} = \frac{nN}{\mu m g}$

$v_{д1} = \frac{N}{\mu m g}$

$v_{д2} = \frac{nN}{\mu m g}$

$\boxed{в\ Л.С.О}$

т.к. $v_{авт} = const = \frac{nN}{\mu m g}$, то

в $t=0$: $v_{доски\ отн} = 0$

$t \to \infty$ $v_{доски\ отн} = \frac{(n-1)N}{\mu m g}$

$A_{тр} = \mu m g \Delta x \mu \frac{m}{M} g \cdot \Delta t$

$\frac{32}{9} \sim$ 32 | 9; 27 | 3,5; 50; 45

$\frac{kq^2 \cdot m^2}{c^2} \cdot \frac{m^2}{c^2} \cdot \frac{c^6}{kq^2 \cdot m^3}$

$p_0 V = \nu RT$ для обоих;

$p_0 \cdot (V - V$ $p_0 (V + xS) = \nu_2 RT$

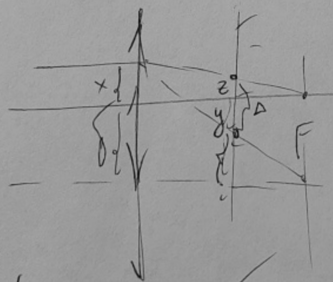
$\boxed{\left(p_0 - \frac{mg}{S}\right) \cdot (V + xS) = \nu RT = p_0 V}$

$\left(p_0 - \frac{mg}{S}\right)$ $\cancel{p_0 V} + p_0 xS - \frac{Vmg}{S} - mgx = \cancel{p_0 V}$

$\cancel{T_1 \cdot V_1 + T_1 V_1 = T_2 V_2 + T_2 V_2}$

$p_0 (V - xS) = \nu_2 RT$

$\Delta U = 0$ $p = nkT$ $n = \frac{N}{V}$



$\frac{x+\delta}{f} =$

$\frac{x}{f} = \frac{z}{F - L}$

$z +$

$z = \frac{(f-L)x}{f}$

$\frac{x+\delta}{f} = \frac{\delta - \Delta + z}{f - L} =$

$\Rightarrow \frac{x+\delta}{f} = \frac{\delta - \Delta + \frac{(f-L)x}{f}}{f - L}$

$\cancel{xf} - xL + \cancel{\delta f} - \delta L = \cancel{f\delta} - f\Delta + \cancel{fx} - \cancel{xL}$

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

$\frac{mg \sin\alpha - \mu mg \cos\alpha + \mu \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}}{mg \sin\alpha - \mu mg \cos\alpha}$

$-\cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha}$

$\frac{\sin\alpha - \cos\alpha + \frac{\sqrt{3}}{3}}{\sin\alpha - \cos\alpha}$

$\sin\alpha - \cos\alpha$

Черновик 3

в Л.С.О; $N = F_{тр} \cdot v$ → v - постоянная;

$v = \frac{N}{\mu m g}$ $\left(v_{доск} = \frac{N}{3mg\mu} = \frac{N}{3\frac{M}{3}g\mu} = \frac{N}{\mu M g} \right)$

⇒ в л.с.о $\boxed{v_{уст} = 3v_0 - v_0 = 2v_0}$;

в л.с.о: $ma = \mu m g$; $a_m = \mu g$;

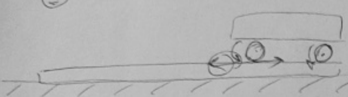
$Ma = \mu m g$ ⇒ $a = \frac{\mu g}{3}$ ⇒ по закону сложения ускорений: $a_{отн} = \mu g - \frac{\mu g}{3} = \frac{2}{3}\mu g$

$S = \frac{v_{отн}^2}{2a_{отн}} = 2\frac{v_{отн}^2}{a_{отн}} = \cancel{2}\cdot\frac{N^2}{\mu^2 M^2 g^2}\cdot\frac{3}{\cancel{2}\mu g} = \frac{3N^2}{\mu^3 M^2 g^3} = 3\frac{8\cdot 27}{0,027\cdot 1\cdot 10^3} =$

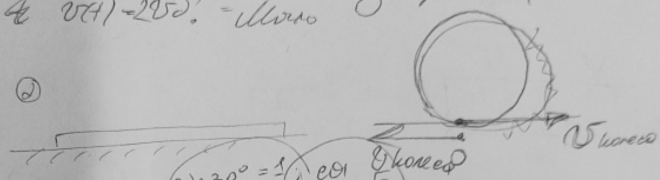
$= \frac{3}{27}\cdot\frac{8}{9} = \frac{8}{9}$ м

могло ли проскальзывание завершиться до момента t $v(t) = 2v_0$? - Могло

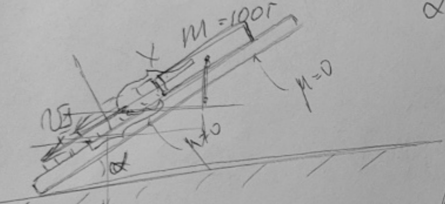
(1)



(2)



$\alpha_{пр} = 30°$ ⇒ $\sin 30° = \frac{1}{2}$; $\cos = \frac{\sqrt{3}}{2}$



без заряда:

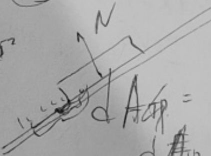
$\cancel{\frac{mv_1^2}{2} = mgh + A_{тр}}$

v_1^2

$\mu = tg\alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$

$N = const = mg\cos\alpha$;

$mg\sin\alpha = \mu mg\cos\alpha$ ⇒



$dA_{тр} = F_{тр} \cdot dx$

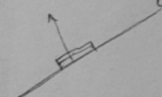
$a_{тр} = \beta \cdot N = mg\cos\alpha \cdot \beta$

$dA_{тр} = \mu \cdot mg\cos\alpha \cdot dx$; ⇒

⇒ $A = \mu mg x \cos\alpha$

$\frac{mv_1^2}{2} = mg\cdot x\cdot\sin\alpha - \mu mg\cdot x\cos\alpha$

(3)



$F = E\cdot q = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\cdot q = \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$ ⇒ $\frac{mv_2^2}{2} = mgx\sin\alpha - \mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)x$ ⇒

$v_2 =$

⇒ $v_1 = \sqrt{2gx\sin\alpha - 2\mu g x\cos\alpha}$

$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{2mgx\sin\alpha - 2\mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)x}{m(2gx\sin\alpha - 2\mu g x\cos\alpha)}}$

$v_2 = \sqrt{\frac{2mgx\sin\alpha - 2\mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)x}{m}}$

$= 2mg\sin\alpha - 2\mu$

$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{mg\sin\alpha - \mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)}{mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha}} =$

$= 0,1\cdot 10\cdot\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot 10\cdot 0,1 - \frac{3\cdot 3}{8\cdot 2\varepsilon_0}\cdot 10^{12}\right)$

Черновик 2

Черновик 1

1

$M = 1$ кг $\mu = 0{,}3$ $F_{тр}$

$\boxed{N = 2 Вт}$ $g = 10$ м/с

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

$F_{тр}$ — движущая

x — ?

до момента, когда колеса перестанут проскальзывать

$N = F_{тр} \cdot v$ $\boxed{F_{тр} = \mu mg}$

$N = \mu mg \cdot v_{отн}$ для с.о земли; $a_{авт} = \mu g$

v — скорость после проскальзывания;

силы действующие на машину: $F_{тр}$; на доску $-F_{тр}$;

в уст. режиме $ma = \mu mg \Rightarrow a_м = \mu g$

в уст режиме: $Ma_д = \mu mg \Rightarrow a_д = \mu \frac{m}{M} g = \frac{\mu g}{3} = \frac{\mu g}{n}$

2

Было: $p_0 \cdot V = \nu_{пара} RT$

$p_0 V = \nu_{возд} RT$; $\boxed{p_0 = 10^5 Па}$

Стало: $(V + xS) \cdot p_1 = \nu RT$

$(V - xS)\left(p_1 + \frac{mg}{S}\right) = \nu RT$

$(V + xS) p_1 = (V - xS)\left(p_1 + \frac{mg}{S}\right)$

$\boxed{p_0 V = (V + xS) p_1}$, $\boxed{p_0 V = p_1 V + xSp_1}$

$\varphi = \frac{m_{пар}}{m_{возд}} = \frac{\rho_{пара}}{\rho_{возд}}$

Вопрос: сконденсировался ли пар или нет?

$(V - xS)\left(\frac{p_0 V}{V + xS} + \frac{mg}{S}\right) = p_0 V$;

$(V - xS)\left(\frac{p_0 VS + mg(V + xS)}{(V + xS)S}\right) = p_0 V$;

$(V - xS)(p_0 VS + mg(V + xS)) = p_0 V(V + xS)S$;

$(V - xS)(p_0 VS + mgV + mgxS) = p_0 V(V + xS)S$;

$p_0 V^2 S + mgV^2 + mgxS \cdot V - p_0 VxS^2 - mgVxS - mgx^2S^2 = p_0 V^2 S + p_0 VxS^2$

$(mgS^2)x^2 + (mgVS) \cdot x + (2 p_0 VS^2) \cdot x - mgxSV - mgV^2 = 0$;

$(5 \cdot 10 \cdot 0{,}01)x^2 + (5 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-5})x + (2 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4})x - (5 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3})x - 5 \cdot 10 \cdot 10^{-6}$

$\frac{x^2}{2} + (5 \cdot 10^{-7}) + 2 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-4})x - 5 \cdot 10^{-5} = 0$;

950 | 5, 5, 45, 190

5 | 950

5000 | 950, 5000 : 350, 4750, 2500, 0,00526

3 1

Δt: I без движения; II проскальзывание; III движение

$F_{тр} \Delta t$

Mg

$N = Fv$; $\boxed{A = Fl}$

$N \Delta t = Fl$

$0 = mv - Mv_д$;

$Mv_д = \frac{M}{3} v \Rightarrow$

$\boxed{v = 3 v_{доски}}$

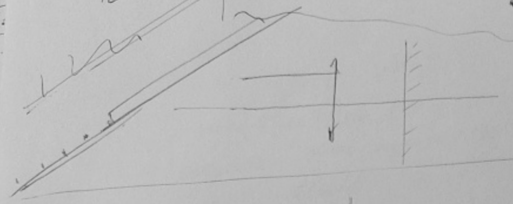
2500 − 1900 = 600; 6000 − 5700 = 300

(Черновик 4)

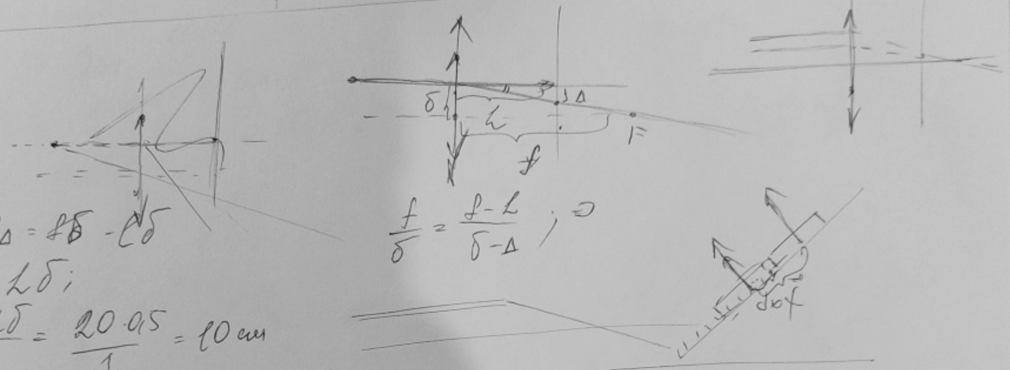
$$\frac{mv_1^2}{2} + \mu mgx\cos\alpha = \frac{mv_2^2}{2} + \cancel{\mu mgx\cos\alpha} - \mu\cdot\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\cdot X \quad X - ?$$

по З.С.Э: $\cancel{mgx\cos\alpha}$ $mgx\cdot\sin\alpha_{np} = \mu mg\cos\alpha\cdot X$

$F_{тр}/X$ $\boxed{mv_1^2 = mv_2^2 - \frac{\mu\sigma q}{\varepsilon_0} X}$



[4]



$$f\delta - f\Delta = f\delta - L\delta$$

$$f\Delta = L\delta;$$

$$f = \frac{L\delta}{\Delta} = \frac{20\cdot 0.5}{1} = 10 \text{ см}$$

$$\frac{f}{\delta} = \frac{f-L}{\delta-\Delta}; \Rightarrow$$

$$\frac{\mu\sigma q}{2\varepsilon_0} X = m(v_2 - v_1)(v_2 + v_1)$$

$dA_{тр} = -F_{тр}\cdot dx$

$\boxed{dA_{тр} = \mu N\cdot dx} \Rightarrow$

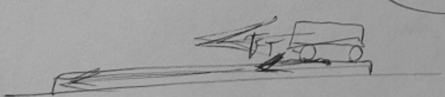
$A_{тр} = \mu\cdot N\cdot X$ $dx = v\,dt$; $v = \frac{F_{тр}\cdot dt}{m}$; $\Rightarrow$

$$\Rightarrow dA_{тр} = \mu N\cdot\frac{F_{тр}(dt)^2}{m} = \frac{F_{тр}^2\cdot dt^2}{m} = dA_{тр}$$

[1]

$N = 2$ Вт $\quad$ $N = F_{тр}\cdot v$ $\quad$ v движения колес $= 6$

в конечный момент



$M = 1m$

$0 = mv + Mv_д$; M

$Mv_д = mv$ (после прекращ. проскальзывания)

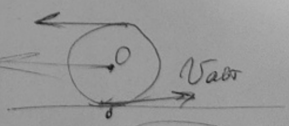
$m\ 3$

В начальный момент

$M\cdot v_д = \frac{M}{3}v_{авт}$;

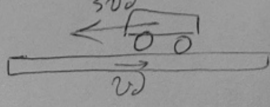
$\boxed{v_{абс\ м} = 3v_д - v_д = 2v_д}$

$\boxed{v_{авт} = 3v_д}$



$m\cdot a = \mu mg$

в момент проскальзывания $v_{доски} = v_{авт}$



$v_{авт}\ \frac{3N}{\mu Mg}$

$v_{доски} = \frac{N}{\mu Mg}$

S в с.о. доски: $(2v_д)^2/$