



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Фаттахов Марат Марселевич**

Класс: 11

Технический балл: **82**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9844046

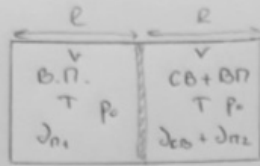
	1	2	3	4	Σ
Задача	5	15	15	15	82
Вопрос	10	5	8	9	

2.2.1.

Задача.

$$\begin{aligned}
 m &= 5 \text{ кг} \\
 V &= 10^{-3} \text{ м}^3 \\
 T &= 373 \text{ К} = \text{const} \\
 \Rightarrow p_0 &= p = 10^5 \text{ Па} \\
 S &= 0,01 \text{ м}^2 \\
 x &=?
 \end{aligned}$$

Условие.



$$\text{Пусть } l = \frac{V}{S}$$

Пусть слева водяной пар, а справа воздух.

По условию воз. пар насыщен.

$$\Rightarrow \text{т.к. } T = 100^\circ\text{C} \Rightarrow p_0 = p = 10^5 \text{ Па}$$

~~Сухой~~ Воздух = Сухой + водяной пар.

$$p_0 V = \rho_0 R T$$

$$(p_{\text{св}} + p_{\text{в}_2}) V = (\rho_{\text{св}} + \rho_{\text{в}_2}) R T$$

$$p_0 = p_{\text{св}} + p_{\text{в}_2} = p_0$$

$\Rightarrow p_{\text{в}_2} < p_0 \rightarrow$ ненасыщен.
(ОП в правой отлив)

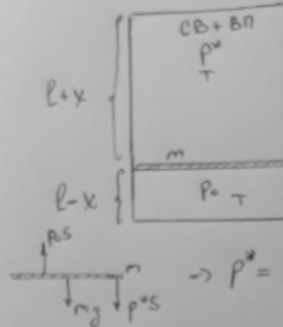
$$1 \Rightarrow p^* (l+x) S = p_0 l S \Rightarrow p^* = p_0 \frac{l}{l+x}$$

$$1 \Rightarrow p_0 \frac{l}{l+x} = p_0 - \frac{Mg}{S} ; \quad p_0 \frac{V}{V+xS} = p_0 - \frac{Mg}{S} \Rightarrow p_0 V = p_0 V + p_0 x S - \frac{Mg}{S} V - \frac{Mg}{S} x S$$

$$\Rightarrow \frac{Mg}{S} V = (p_0 S - Mg) x \Rightarrow x = \frac{MgV}{S(p_0 S - Mg)} = \frac{5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{10^{-2} (10^5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10)} = \frac{5}{1000 - 50}$$

$$= \frac{1}{190} \approx 5,2 \text{ мм.} \quad \text{Ответ: } 5,2 \text{ мм}$$

сверху останется насыщ. воз. пар, но за счет меньшей массы сдвинется. сверху водяной пар также ненасыщен.



$$\begin{aligned}
 (p_{\text{св}} + p_{\text{в}_2}) (l+x) S &= (\rho_{\text{св}} + \rho_{\text{в}_2}) R T \\
 p^* &= p_{\text{св}} + p_{\text{в}_2} \\
 \rightarrow p^* &= p_0 - \frac{Mg}{S}
 \end{aligned}$$

Вопрос.

(относительная) Влажность воздуха — отношение ρ давления водяных паров в воздухе к давлению насыщенного пара при данной температуре. $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}}$

3.5.1.

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$\alpha_{\text{тр}} = \alpha = 30^\circ$$

$$\sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

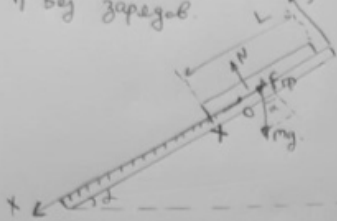
$$q = 3 \cdot 10^6 \text{ Кл.}$$

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

Задача. Числовик

 α - крутизна угла $\Rightarrow F_{\text{тр}} = \mu N$.

1) Без зарядов.


 μ - коэффициент трения. Пусть L - длина наклонной. Выберем направление вниз по x:

$$\text{ЗН:}$$

$$Ox: -F_{\text{тр}} + mg \cdot \sin \alpha = m a_x$$

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{тр}}(x) = \mu N \cdot \frac{x}{L} = \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{x}{L}$$

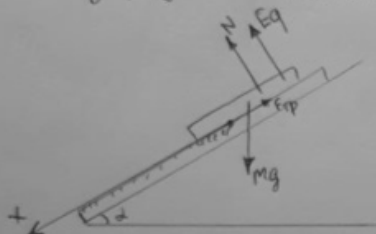
$$\text{Упр-е гарм. колеб.}$$

$$\Rightarrow -\mu \frac{mg \cos \alpha}{L} x + mg \cdot \sin \alpha = m a_x \Rightarrow a_x + \underbrace{\left(\frac{\mu g \cos \alpha}{L} \right)}_{\omega_1^2} x = g \cdot \sin \alpha$$

$$\frac{\mu g \cos \alpha}{L} \cdot x_1 = g \sin \alpha \Rightarrow x_1 = \frac{L}{\mu} \cdot \text{tg} \alpha$$

Т.к. мы берем точку отсчета в начале шероховатости $\Rightarrow x_1$ - амплитуда колебаний

$$\Rightarrow v_1 = x_1 \cdot \omega_1 = \frac{L}{\mu} \text{tg} \alpha \cdot \sqrt{\frac{\mu g \cos \alpha}{L}} = \sqrt{\frac{L g \cos \alpha}{\mu}} \cdot \text{tg} \alpha.$$

2) С зарядом. Пластина создает напряженность $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$.

ЗН:

$$-F_{\text{тр}2} + mg \sin \alpha = m a_x$$

$$F_{\text{тр}2} = \frac{x}{L} F_{\text{тр}2}(x) = \mu (mg \cos \alpha - Eq) \frac{x}{L}$$

$$-\mu (mg \cos \alpha - Eq) \frac{x}{L} + mg \sin \alpha = m a_x.$$

$$a_x + \underbrace{\left(\frac{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{L} \right)}_{\omega_2^2} x = g \sin \alpha.$$

$$\omega_2^2 \cdot x_2 = \frac{g \sin \alpha \cdot L}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}$$

$$\text{Пусть } v_3 = \text{макс. эк.тб} \Rightarrow v_3 = x_2 \cdot \omega = \frac{g \sin \alpha L}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})} \cdot \sqrt{\frac{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{L}} = g \sin \alpha \sqrt{\frac{L}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}}$$

$$\text{Тогда: } \frac{v_2^2}{v_3^2} + \frac{x_1^2}{x_2^2} = 1$$

$$\Rightarrow \frac{v_2^2}{v_3^2} = 1 - \left(\frac{x_1}{x_2} \right)^2 = 1 - \left(\frac{\frac{L}{\mu} \text{tg} \alpha \cdot \mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{\frac{g \sin \alpha L}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}} \right)^2 = 1 - \frac{(g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})^2}{g^2 \cos^2 \alpha} = \frac{Eq (2g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{g^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow v_2^2 = g^2 \sin^2 \alpha \cdot \frac{L}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})} \cdot \frac{Eq (2g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{g^2 \cos^2 \alpha} = \frac{Eq L (2g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})} \cdot \text{tg}^2 \alpha$$

$$\Rightarrow \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 = \frac{\frac{Eq L (2g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})} \cdot \text{tg}^2 \alpha}{\frac{L}{\mu} \text{tg} \alpha \cdot \frac{g \sin \alpha}{L}} = \frac{Eq (2g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{mg \cos \alpha (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})} = \frac{5 (20 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 5)}{10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} (10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 5)}$$

$$\frac{Eq}{m} = \frac{9 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 4,5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} = 5$$

$$= \frac{5 (10\sqrt{3} - 5)}{5\sqrt{3} (5\sqrt{3} - 5)} = \frac{10\sqrt{3} - 5}{15\sqrt{3} - 25}$$

$$\Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{10\sqrt{3} - 5}{15 - 5\sqrt{3}}}$$

$$\text{Ответ: } \sqrt{\frac{10\sqrt{3} - 5}{15 - 5\sqrt{3}}}$$

2

3.5.1)

Чистовик

Вопрос

Емкость - характеристика проводника, показывающая его свойства по накоплению заряда.

Емкость плоского конденсатора

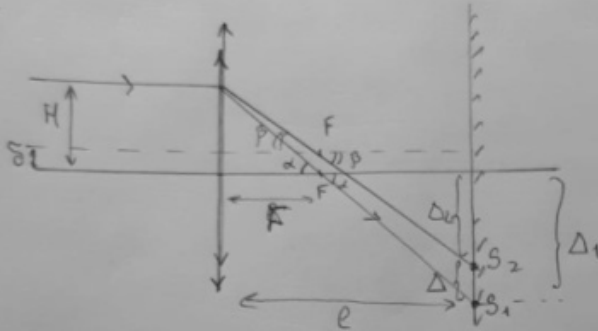
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

ϵ - диэлектрич. среда м/у обкладками
 ϵ_0 - 91-ая постоянная
 S - площадь обкладки
 d - расстояние м/у обкладками

4.3.1

Задача

$l = 20 \text{ см}$
 $\delta = 0,5 \text{ см}$
 $\Delta = 1 \text{ см}$
 $F = ?$



$$\tan \alpha = \frac{H}{F}$$

$$\Delta_1 = (l - F) \cdot \tan \alpha = (l - F) \frac{H}{F}$$

$$\tan \beta = \frac{H - \delta}{F}$$

$$\Delta_2 + \delta = (l - F) \tan \beta$$

$$\Delta_2 = (l - F) \frac{H - \delta}{F} - \delta$$

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = (l - F) \frac{H}{F} + \delta - (l - F) \frac{H - \delta}{F} - \delta = (l - F) \frac{H}{F} + \delta - (l - F) \frac{H}{F} + (l - F) \frac{\delta}{F} - \delta$$

$$\Rightarrow \Delta = \delta + \frac{l\delta}{F} - \frac{F\delta}{F} \Rightarrow \Delta F = \delta F + l\delta - F\delta$$

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

Ответ: 10 см.

Вопрос.

Фокусное расстояние - расстояние м/у фокусом линзы и её плоскости.

Фокус линзы: 1) для собирающей - точка, где собираются лучи, если пустить их параллельно главной опт. оси.

2) для рассеивающей - точка, где собираются продолжения лучей, если пустить лучи параллельно главной опт. оси

Оптическая сила.

Если линза собирающая

$$D = \frac{1}{F}$$

Если линза рассеивающая

1.3.1

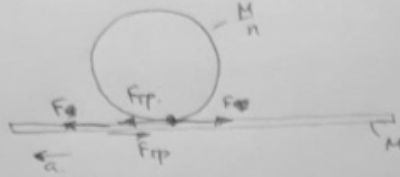
Задача

$M = 1 \text{ кг}$
 $N = 2 \text{ Вт}$
 $\mu = 0,5$
 $n = 3$
 X

Условие:

$N = 2Bv = \text{const}$, $N = F \cdot v$

$F_{\text{тр}} = \frac{\mu Mg}{n}$
 $F = \frac{N}{v}$



Проек. е колеса прекратится, когда нижняя точка колеса будет иметь такую же скорость, как у доски, но различно по противоположную по направлению
 Пусть u - скорость доски $\Rightarrow |\sum \vec{F}_{\text{тр}}| = M \frac{du}{dt}$

Для колеса

т.к. колесо летает.

$\sum M = I \cdot \epsilon$, $I = \sum m_i r_i^2$, т.к. ~~$M = 0$~~ масса колеса
 $\Rightarrow I = 0 \Rightarrow \sum M = 0$

ЗСД для системы

$A_N + \sum A_{\text{тр}} = \frac{1}{2} M u^2 + \frac{1}{2} \frac{M v^2}{n} \Rightarrow N \cdot \Delta t = \frac{1}{2} M u^2 + \frac{1}{2} \frac{M v^2}{n} - \frac{\mu Mg}{n} \cdot X$

Вопрос:

$\vec{P}_{\text{сист}} = \sum_i \vec{p}_i = \sum M_i \cdot \vec{v}_i$

где \vec{F}_i - результирующий вектор сил на масс. точку

Закон изменения импульса для масс. точки $\Delta \vec{p}_i = \vec{F}_i \cdot \Delta t$

\Rightarrow в системе, с учетом того, что внутренние силы системы "уравниваются" по 3 Заколу Ньютона

$\Delta \vec{P}_{\text{сист}} = \vec{F}_{\text{внеш}} \cdot \Delta t$, где $\vec{F}_{\text{внеш}}$ - результирующий вектор внешних сил.

$\Rightarrow \Delta \vec{P}_{\text{сист}} = \vec{0}$, если $\vec{F}_{\text{внеш}} = \vec{0}$

(Импульс системы сохраняется, если $\vec{F}_{\text{внеш}} = \vec{0}$)

$$v_2^2 = g^2 \cos^2 \alpha \cdot \frac{L}{(g \cos \alpha - \frac{E \cdot S}{m})^2}$$

Упрощаем

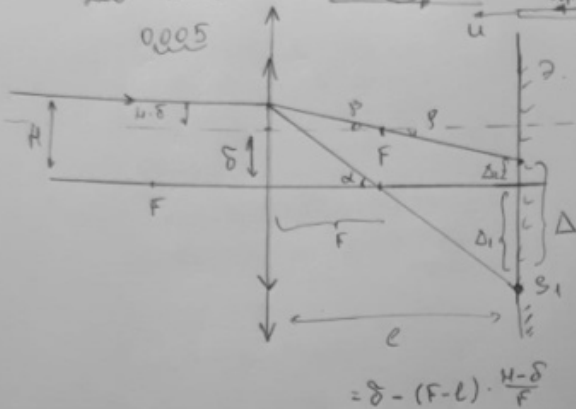
$$\frac{2 \cdot g \cdot \cos \alpha}{E \cdot S} = \frac{g}{2 \cdot 2.9 \cdot m} = \frac{1}{2 \cdot 0.1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{2} = 5$$

$$\frac{5}{10^3 - 50} = \frac{5}{1000 - 50} = \frac{5}{950} = \frac{1}{190} \text{ м} \approx 5$$

$F_{\text{тп}} = F$

$$\frac{1}{200} = \frac{0.5}{100R}$$

0.005



$$\text{tg } \alpha = \frac{H}{F}$$

$$\Delta_1 = \text{tg } \alpha \cdot (F - l)$$

$$= \frac{H(F-l)}{F}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{H - \delta}{F}$$

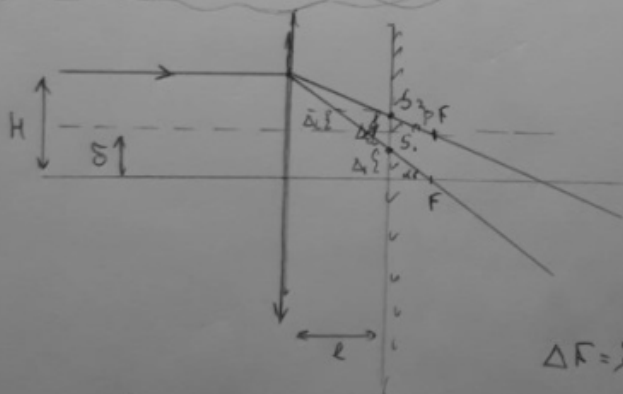
$$\Delta_2 = \delta - (F-l) \text{tg } \beta =$$

$$= \delta - (F-l) \cdot \frac{H - \delta}{F}$$

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{H(F-l)}{F} + \delta - \frac{(F-l)H}{F} + \frac{(F-l)\delta}{F} = \delta + \frac{(F-l)\delta}{F}$$

$$\Delta F = \delta F + F\delta - l\delta$$

$$F = \frac{l\delta}{\delta + \delta - \Delta}$$



$$\text{tg } \alpha = \frac{H}{F}$$

$$\Delta_1 = (F-l) \cdot \text{tg } \alpha = (F-l) \cdot \frac{H}{F}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{H - \delta}{F}; \Delta_2 = (F-l) \cdot \frac{H - \delta}{F}$$

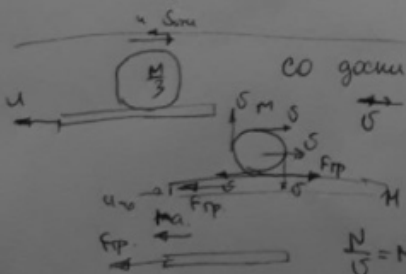
$$\Delta = \delta - \Delta_1 + \Delta_2 = \delta - (F-l) \cdot \frac{H}{F} + (F-l) \cdot \frac{H - \delta}{F}$$

$$= \delta - (F-l) \cdot \frac{H}{F} + (F-l) \cdot \frac{H}{F} - (F-l) \cdot \frac{\delta}{F}$$

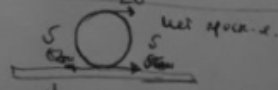
$$\Delta = \delta - (F-l) \frac{\delta}{F}$$

$$\Delta F = \delta F - F\delta + l\delta$$

$$\Delta F = l\delta \Rightarrow F = \frac{l\delta}{\Delta} = \frac{20 \cdot 0.5}{1} = 10 \text{ м.}$$



CO гами



$$F_{\text{тп}} = \frac{N}{\mu} = \mu \cdot \frac{mg}{\mu} \Rightarrow v = \frac{N \cdot \mu}{\mu \cdot mg}$$

→ CO сумми

$$L \cdot N =$$

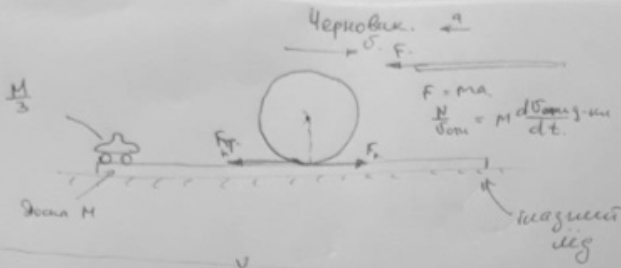
$$\frac{N}{v} = M \frac{dv}{dt} \Rightarrow t \cdot \frac{N}{v} = Mv \Rightarrow L \cdot N = Mv^2 \Rightarrow \frac{Mv^2}{2}$$

$$S_{\text{г}} = \frac{at^2}{2} = \frac{N}{2\mu} \cdot \frac{m^2 v^4}{N^2} = \frac{m^2 v^4}{2N}$$

$$S_{\text{г}} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t = \frac{Mv^3}{2N} = N^4$$

1.3.1

$H = 1 \text{ m}$
 $N = 2 \text{ Br}$
 $n = ?$
 $\mu = 0,3$
 $x = ?$



$N = F \cdot \cos \alpha \Rightarrow F = \frac{N}{\cos \alpha}$

$F = ma$
 $\frac{N}{\cos \alpha} = m \frac{d^2 s_{\text{шар}}}{dt^2}$

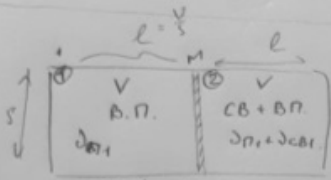
$F_f = \mu N$

$\mu \cdot \frac{N}{\cos \alpha} = m \cos \alpha$

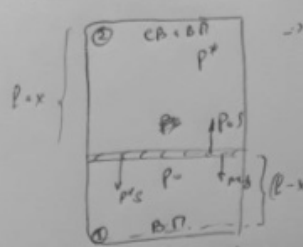
$\pm \frac{m g \sin \alpha}{N}$

2.2.1.

$m = 5 \text{ kg}$
 $V = 4 \text{ m}^3$
 $T = 373 \text{ K} = \text{const}$
 $\rho_{\text{H}_2} = 10^3 \text{ Pa}$
 $S = 0,01 \text{ m}^2$
 $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$



$P_0 V = \nu n_1 R T$
 $P_0 (P_{\text{CB}} + P_{\text{H}_2}) V = (\nu n_2 + \nu_{\text{CB}}) R T$
 $P_{\text{CB}} + P_{\text{H}_2} = P_0 \rightarrow (P \text{ на } l \text{ и } x \text{ на } l)$
 $\nu n_1 = \nu n_2 + \nu_{\text{CB}}$
 $(P_{\text{CB}} l S = P_{\text{CB}}^* (l+x) S)$
 $P_{\text{H}_2} l = P_{\text{H}_2}^* (l+x) S$



$P_0 (l-x) S = \nu n_1 R T$
 $P^* = (P_{\text{CB}} + P_{\text{H}_2}) (l+x) S = (\nu n_2 + \nu_{\text{CB}}) R T$
 $P^* (l+x) = P_0 l S \rightarrow P^* = P_0 \frac{l}{l+x}$

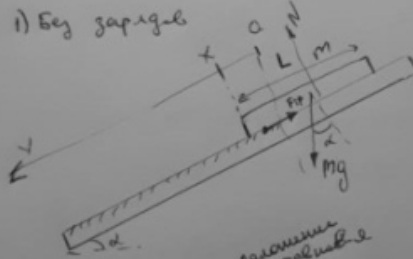
$P_0 \frac{l}{l+x} = P_0 - \frac{Mg}{S} \rightarrow P_0 \frac{V}{S(l+x)} = P_0 - \frac{Mg}{S} \rightarrow P_0 \frac{V}{V+Sx} = P_0 - \frac{Mg}{S}$

3.5.1.

$m = 0,1 \text{ kg}$
 $\alpha_{\text{np}} = 30^\circ$
 $\sigma = 3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
 $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$

$\Delta_{\text{np}} = \text{нормальне зрушення} \Rightarrow F_{\text{np}} = \sigma L$

1) Без заряду



$F_{\text{np}} = \mu \cdot \frac{x}{L} mg \cos \alpha$

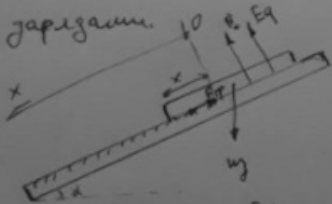
$-F_{\text{np}} + mg \cdot \sin \alpha = m a$

$-\mu \cdot \frac{x}{L} mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = m a$

$a x + \frac{\mu g \cos \alpha}{L} x = g \sin \alpha$

$\frac{\mu g \cos \alpha}{L} x_1 = g \cos \alpha \rightarrow x_1 = \frac{L}{\mu} \Rightarrow x_1 = \text{порушення}$
 $\omega_1 = \sqrt{\frac{H g \cos \alpha}{L}}$
 $S_1 = x_1 \cdot \omega_1 = \frac{L}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{H g \cos \alpha}{L}} = \sqrt{\frac{L g \cos \alpha}{\mu}}$

2) С зарядом



$N + Eq \frac{x}{L} = mg \frac{x}{L} \cos \alpha \Rightarrow N = (mg \cos \alpha - Eq) \frac{x}{L}$

$F_{\text{np}} = \mu (mg \cos \alpha - Eq) \frac{x}{L} + mg \cos \alpha = m a$

$a x + \frac{\mu (g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}{L} x = g \cos \alpha$

$x_2 \frac{g \cos \alpha - \frac{Eq}{m}}{L} = g \cos \alpha \Rightarrow x_2 = \frac{g \cos \alpha \cdot L}{g \cos \alpha - \frac{Eq}{m}}$
 $\omega_3 = \omega_2 \cdot \omega_2 = \sqrt{\frac{g \cos \alpha - \frac{Eq}{m}}{L}} \cdot \frac{g \cos \alpha \cdot L}{(g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})}$
 $= g \cos \alpha \cdot \sqrt{\frac{g \cos \alpha - \frac{Eq}{m}}{L}}$

Розв'язок $S_2 = \text{максимум швидкості при нульовому зрущенні}$

$\left(\frac{S_2}{S_3}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2 = 1$

$\Rightarrow \frac{S_2^2}{S_3^2} = 1 - \frac{x_1^2}{x_2^2} = 1 - \frac{L^2}{\mu^2} \cdot \frac{(g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})^2}{g^2 \cos^2 \alpha} = 1 - \frac{(g \cos \alpha - \frac{Eq}{m})^2}{g^2 \cos^2 \alpha} = \frac{2g \cos \alpha \frac{Eq}{m} - (\frac{Eq}{m})^2}{g^2 \cos^2 \alpha}$