МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Сулимов Марк Дмитриевич**

Класс: 11

Технический балл: **87**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9755496

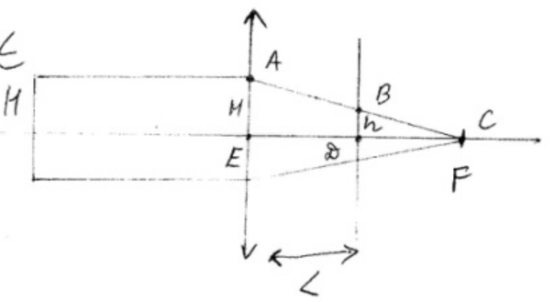
	1	2	3	4	∑
Задача	*15*	*15*	*15*	*7*	***87***
Вопрос	*9*	*9*	*9*	*8*	

Чистовик

Задача №4.3.1

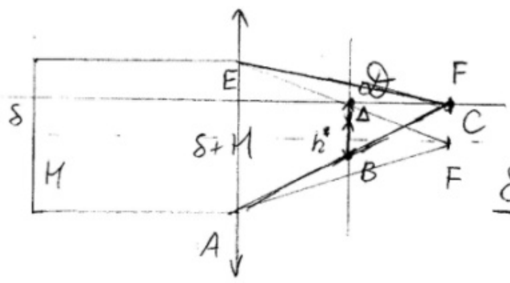
1) Рассмотрим два случая: экран между фокусом и линзой ($F<L$) и экран за фокусом ($F>L$)

2) $F>L$



из подобия ΔACE и ΔBCD:

$$\frac{H}{F}=\frac{h}{F-L} \qquad h=\frac{F-L}{F}H$$



Из подобия тех же треугольников:

$$\frac{\delta+H}{F}=\frac{h+\Delta}{F-L}$$

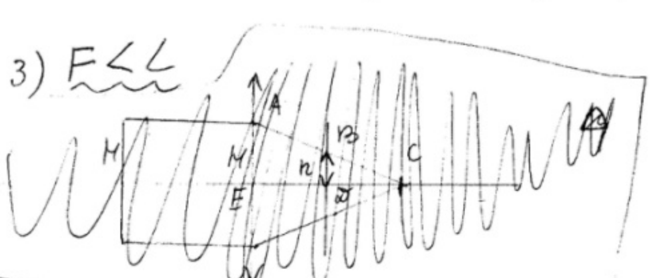
$$h+\Delta=(\delta+H)\left(\frac{F-L}{F}\right)$$

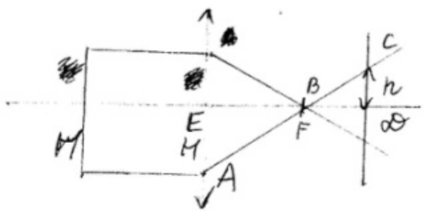
$$\Delta=h+\Delta-h=\frac{F-L}{F}(\delta+H-H) \Rightarrow \Delta=\frac{F-L}{F}\delta$$

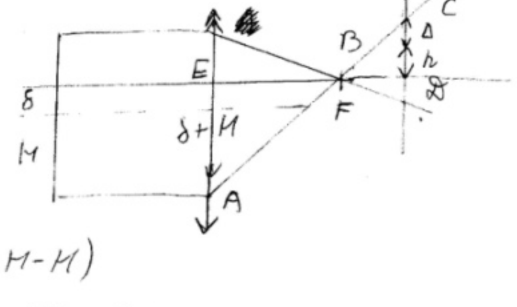
$$\Delta F=F\delta-L\delta$$

$F=\frac{1}{2}F-10$, тогда $0,5F=-10$, но по условию линза собирающая - противоречие (у собирающей $F>0$)

3) $F<L$







$\Delta AEB \sim \Delta CDB$, тогда

$$\frac{H}{F}=\frac{h}{L-F} \Rightarrow h=H\frac{F}{L-F}$$

аналогично для второго рисунка

$$\frac{\delta+H}{F}=\frac{\Delta+h}{L-F} \qquad \Delta=h+\Delta-h=\frac{F}{L-F}(\delta+H-H)$$

$$\Delta=\frac{F}{L-F}\delta \Rightarrow \Delta L-\Delta F=\delta F$$

$$20=0,5F+F \qquad F=\frac{20}{1,5}=\frac{40}{3}\text{ см}$$

$\boxed{6}$

4) В условии сказано, что двигали линзу, однако на моем рисунке сдвигался луч, если находиться в СО линзы, то это одно и тоже, но рисовать проще.

5) В задаче предполагалось, что толщина светового пучка равна H, и выражалось изменение положения изображения.

Ответ: фокусное расстояние линзы $F = \frac{40}{3}$ см

Чистовик

Чистовик

Вопросы:

Как определяется импульс системы материальных точек?

Импульс системы материальных точек есть ~~сумм~~ векторная сумма импульсов всех материальных точек системы. $\vec{P_c} = \sum_{i=1}^{n} \vec{P_i}$

ЗСИ: в отсутствии действия внешних сил на систему материальных точек ее импульс сохраняется.

(силы могут присутствовать, но быть скомпенсированными. ЗСИ работает в проекции на ~~...~~ выбранное направление)

Дайте определение влажности и относительной влажности воздуха.

Влажность воздуха - плотность водяных паров, относительная влажность - отношение плотности пара к плотности насыщенного пара.

Из Менделеева-Клапейрона: $p = \frac{\rho}{\mu}RT$

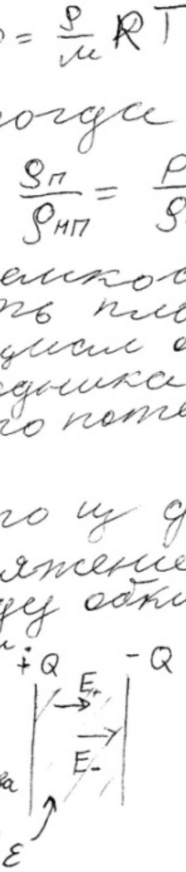
То есть при T-const, μ-const: $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2}$, тогда относительная влажность $\varphi = \frac{\rho_п}{\rho_{нп}} = \frac{P_п}{\rho_{нп}}$

Дайте определение электроемкости, запишите электроемкость плоского конденсатора.

Так как в проводнике всюду потенциал одинаков, то для уединенного проводника электроемкость $C = \frac{Q}{\varphi}$, где φ - его потенциал, Q - его заряд.

Для конденсатора, состоящего из двух пластин, $C = \frac{Q}{\Delta\varphi} = \frac{Q}{U}$, где U - напряжение между обкладками:

$$U = Ed = \left(\frac{Q}{2S\varepsilon_0\varepsilon} - \frac{-Q}{2S\varepsilon\varepsilon_0}\right)d = \frac{Qd}{S\varepsilon\varepsilon_0}$$

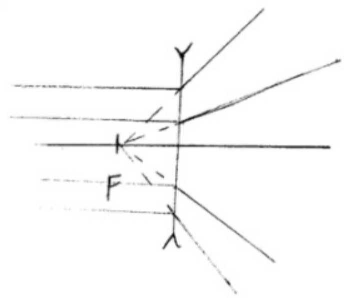


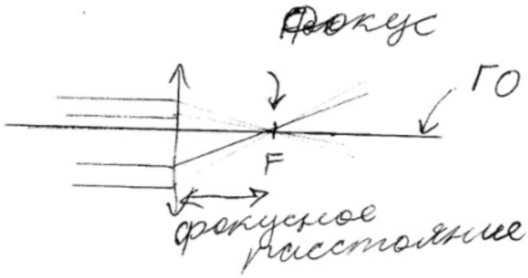
$$C = \frac{Q}{\frac{Qd}{S\varepsilon\varepsilon_0}} = \frac{S\varepsilon\varepsilon_0}{d}$$, где S - площадь обкладок, ε - диэлектрическая проницаемость вещества внутри, d - расстояние между обкладками

Дайте определение фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

Фокусное расстояние тонкой линзы - точка на главной оптической оси в которой пересекаются все лучи пущенные параллельно главной оптической оси (для собирающей линзы)

Для рассеивающей, лучи не пересекаются в фокусе, но пересекаются их продолжения.





Оптическая сила линзы - величина обратная фокусному расстоянию

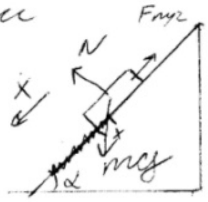
$D = \frac{1}{F}$ ← фокусное расстояние

9755496

Черновик

10

3) Составим уравнение движения, пусть брусок сместился в область шероховатой поверхности на расстояние x, тогда на брусок сила трения



$F_{тр} = N\mu \frac{x}{L}$

$ox: ma = mg\sin\alpha - F_{тр} = mg\sin\alpha - N\mu\frac{x}{L}$

$\ddot{x} + \frac{N}{m}\mu\frac{x}{L} = g\sin\alpha$ ← уравнение гармонических колебаний

$x = C_1\cos\left(\sqrt{\frac{N\mu}{mL}}t\right) + C_2\sin\left(\sqrt{\frac{N\mu}{mL}}t\right) + \frac{g\sin\alpha\, mL}{N\mu}$

$V(0) = 0$

$x(0) = 0$, тогда $C_2 = 0$, $C_1 = \frac{g\sin\alpha\, mL}{N\mu}$

$x = \frac{g\sin\alpha\, mL}{N\mu}\left(1 - \cos\left(\sqrt{\frac{N\mu}{mL}}t\right)\right)$

При $x = L$ (брусок полностью на шероховатой поверхности)

$L = \frac{g\sin\alpha\, m}{N\mu} L \left(1 - \cos\left(\sqrt{\frac{N\mu}{mL}}t\right)\right)$

$\cos\left(\sqrt{\frac{N\mu}{mL}}t\right) =$

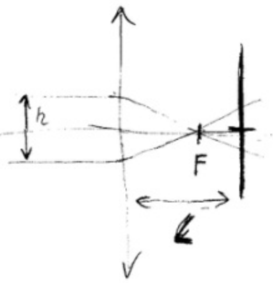
$\frac{98}{200}$

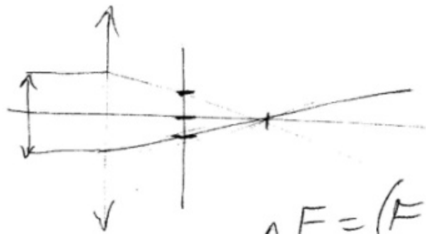
$\frac{\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}}$

$\frac{3\sqrt{2}+1}{8}$

$\frac{5}{5}$ $\frac{1}{1+\frac{1}{\sqrt{3}}}$

Черновик

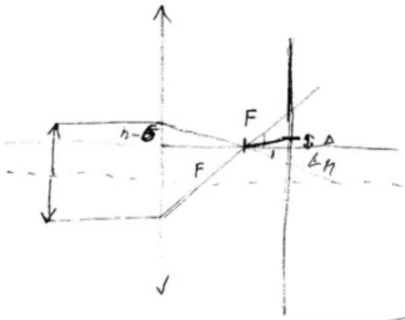


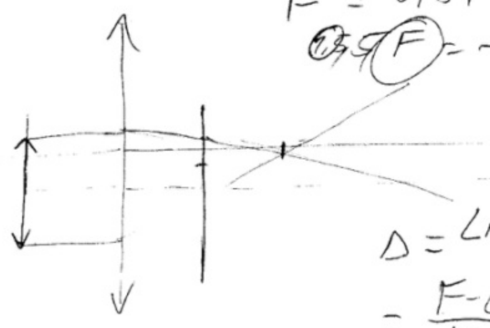


$\Delta F = (F - L)\delta$

$F = 0{,}5F - 20$

$0{,}5 F = -20$





$\Delta = L_{нн} - L_н =$

$= \frac{F-L}{F}\delta$

$\frac{h-\delta}{F} = \frac{L_н}{L-F}$ $\quad \frac{h}{F} = \frac{L_н}{F-L}$ $\quad L_н = \frac{F-L}{F} h$

$\frac{h+\delta}{F} = \frac{L_н}{F-L}$ $\quad L_{нн} = \frac{F-L}{F}(h+\delta)$

$\frac{h+\delta}{F} = \frac{L_в}{L-F}$

$+\ L_н = \frac{h-\delta}{F}(L-F)$ $\qquad \Delta = \frac{h+\delta}{F}(L+F) - h\frac{L+F}{F} =$

$L_в = \frac{h+\delta}{F}(L+F)$

$(h-\delta) + (h+\delta)\ \frac{L+F}{F}$ $\qquad = (h-\delta-h)\frac{L+F}{F} = \Delta$

$2h\frac{L+F}{F}$ $\qquad \delta\frac{L+F}{F} = \Delta$ $\qquad 4C = 9$

$C = \frac{9}{4}$

$\frac{2}{3}\cdot 20 = \frac{40}{3}$

$\delta(L+F) = \Delta F$

$0{,}5(20+F) = F$ $\quad \boxed{11}$

$10 + 0{,}5F = F$

$1{,}5F = 10$ $\quad F < 20$

$XPd - H$

Черновик

μ $\qquad$ N $\qquad$ $\angle P = V \cdot F$

100

$0{,}1 = \frac{1}{10}$

$0{,}01 = \frac{1}{100}$

$V_{om} = \omega r$

$5 \cdot 1000 \frac{1000 \cdot 100}{1000(100-5)}$

$\frac{M}{n} V = MU$

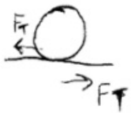
$V = Un$

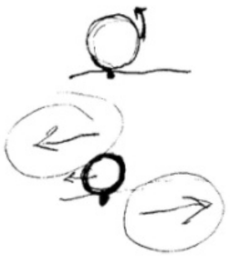
$\frac{M}{n}(V_{om} + U) = MU$

$\frac{M}{n} V_{om} = MU - \frac{M}{n} U$

$\frac{100}{100-5}$

$\frac{100}{95}$





$U = \frac{F_T}{M} \cdot J$

$M V_{отн} = MnU - MU$

$V_{отн} = (n-1) U$

$V_{отн} = 0$

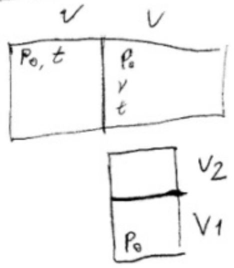
$u = \frac{\frac{M}{n} g \mu}{M} t = \frac{\mu g}{n} t$

$F_T r = M_p$ $\qquad$ $\frac{5}{95}$ $\quad 19 \quad 50$

$V_{отн} = (n-1) \frac{\mu g}{n} t$

$\frac{95}{V\mu}$ n − cos = 1

cos =



$P_0 V = \nu R T$

$\frac{m}{S} + \cancel{\nu R T}\ \frac{P_0 V_1}{V_2} = P_0$

$V_2 = V_1 + XS$

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

$\cancel{\mu mg} \cos\alpha \cancel{>} \cancel{mg} \sin\alpha$

$\mu = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = tg\,\alpha$ $\qquad$ $\mu = tg\,30^\circ$

$\mu > tg\,\alpha$

$F_{тр} = \mu g \cos\alpha \frac{x}{L}$

$ma = \mu mg \cos\alpha \frac{x}{L}$

$\frac{dV}{dt} = -\mu g \cos\alpha \frac{x}{L} + mg \sin\alpha$

добавим q

$E \cdot q = F_{эл}$

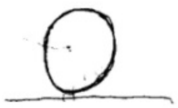
$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} q$

$\ddot{x} + \frac{\mu g \cos\alpha}{L} x = \cancel{m} g \sin\alpha$

$\boxed{12}$

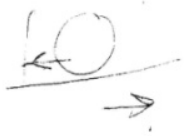
9755496

$\frac{N}{F_{тр}} = V_{отн}\, k$ Черновик



$V_{отн} = (n-1)\,U$

$V_{отн} = (n-1)\,\frac{mg}{n}\,t = \frac{N}{\frac{m}{n} g m}$



$\frac{M}{n}(V_{отн} - U) =$

9 27 87

$81 \cdot 10^{-3}$

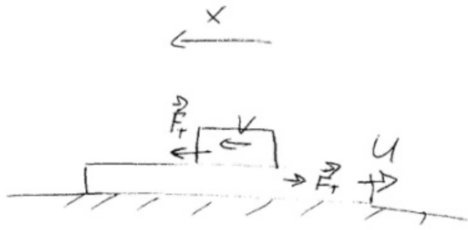
6

$\boxed{13}$

9755496

Чистовик

Задача N 7.3.7



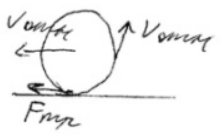
1) В проекции на Ox на систему не действует внешних сил, тогда ЗСИ:

$\frac{M}{n}V - MU = 0 \Rightarrow V = Un$

Перейдем в СО связанную с доской

$V_{отн} = V + U = U(n+1)$

2) Выделим малый участок времени dt, тогда, если проскальзования нет линейная скорость на ободе колеса равна $V_{отн}$ (относительно центра колеса)



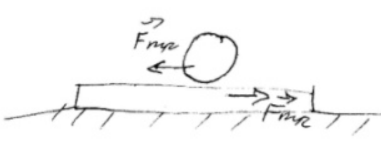
Тогда сила трения совершит работу

$-F_{тр}\cdot V'_{отн}\cdot dt$, часть мощности пойдет на поддержание скорости вращения колеса при этом $N = VF$ ← сила действующая на автомобиль; ↑ скорость автомобиля

$N = V'_{отн}F_{тр}$, то есть вся мощность будет расходоваться на противостояние силе трения, тогда

$\frac{N}{F_{тр}} = V'_{отн}$, конечная относительная скорость равна $V'_{отн} = \frac{N}{\mu\frac{M}{n}g}$

3) ускорение доски



$a_д = \frac{F_{тр}}{M} = \frac{\frac{M}{n}\mu g}{M} = \frac{\mu g}{n}$

Тогда скорость U через время t равна $\frac{\mu g}{n}t$, тогда

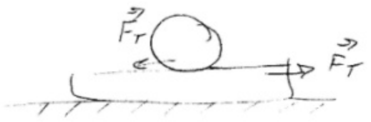
$V_{отн} = U(n+1) = \frac{\mu g}{n}t(n+1) = \frac{N}{\frac{M}{n}\mu g} = \frac{nN}{M\mu g}$

4) Найдем время Чистовик

$$t = \frac{nN}{M\mu g} \cdot \frac{n}{\mu g} \cdot \frac{1}{n+1} = \frac{n^2 N}{M\mu^2 g^2 (n+1)}$$

5) Перейдем в ЛСО:

Путь пройденой машиной



$$\mu g \frac{t^2}{2} = L_м$$

Путь пройденый доской

$$\frac{\mu g}{n} \frac{t^2}{2} = L_д$$, так как доска и машина двигаются в разные стороны машина проедет относительно доски

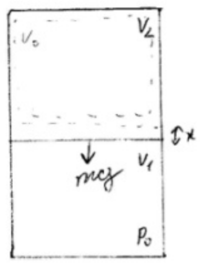
$$L_м + L_д = S = \frac{n^4 N^2}{2M^2 \mu^3 g^3 (n+1)^2}\left(1 + \frac{1}{n}\right) = \frac{\cancel{81}^{3} \cdot \cancel{4}^{2}\left(1+\frac{1}{3}\right)}{2 \cdot 1 \cdot \cancel{27} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{3} \cdot 16} =$$

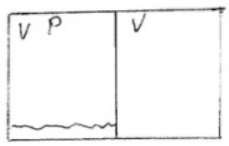
$$= \frac{\cancel{6}^{2} \cdot \frac{4}{3}}{16} = \frac{8}{16} = \frac{1}{2}\ м$$

Ответ: машина пройдет $\frac{1}{2}$ м по доске

Чистовик

Задача N 2.2.1





1) При 100°C давление насыщенных паров равно $P_0 = 10^5$ Па. Пусть при горизонтальном положении цилиндра в левом отсеке насыщенный пар, тогда в правом отсеке давление также равно P_0, найдем количество воздуха $\nu P_0 = \nu RT$

$$\nu = \frac{VP_0}{RT}$$

2) При переворачивании цилиндра количество воздуха не изменится, а часть пара сконденсируется, при этом т.к. T-const давление пара останется P_0

3) Пусть объем верхней части V_2, а нижней V_1, тогда условие равновесия поршня - равенство давлений

$$\underset{\text{давление пара}}{P_0} = \underset{\text{давление поршня}}{\frac{mg}{S}} + P_в, \text{ тогда } \underset{\text{давление воздуха}}{P_в} = P_0 - \frac{mg}{S} = \frac{\nu RT}{V_2} = \frac{P_0 V}{V_2}$$

Тогда $V_2 = \dfrac{P_0 V}{P_0 - \frac{mg}{S}} = V + S\underset{\text{смещение поршня вниз}}{x}$

4) Таким образом $x = \left(\dfrac{P_0 V_0}{P_0 - \frac{mg}{S}} - V\right) : S = \dfrac{V}{S}\left(\dfrac{P_0}{P_0 - \frac{mg}{S}} - 1\right) =$

$$= \frac{10^{-3}}{0{,}01}\left(\frac{10^5}{10^5 - \frac{5 \cdot 10}{0{,}01}} - 1\right) = 0{,}1\left(\frac{100}{95} - 1\right) = 0{,}1 \cdot \frac{1}{19} = \frac{1}{190} \text{ м}$$

Ответ: поршень опустился на $\frac{1}{190}$ м

Чистовик

Задача N 3.5.1

1) Так как брусок не скользит, если $\alpha \leq 30^\circ$, то $\mu = tg\, 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$

2) При заряженной и незаряженой пластинках разница процесса только в силе реакции опоры:

Если пластика не заряжена

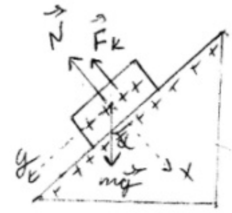
по OX: $N = mg \cos\alpha$

по Oy: $ma_y = mg \sin\alpha$

Если клин и брусок заряжены одноименно, то сила кулона будет их отталкивать, уменьшая силу реакции опоры:

Ox: $mg\cos\alpha = N + F_к$ (1)

Oy: $ma_y = mg \sin\alpha$



При этом, т.к. брусок находится близко к клину и размеры клина много больше размеров бруска можно считать, что поверхность клина создает поле бесконечно заряженной плоскости

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\qquad F_к = Eq = \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$

поле у поверхности клина

В таком случае уравнение (1):

$mg\cos\alpha = N + \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0} \Rightarrow N = mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$

Обозначим $N_1 = mg\cos\alpha$ - сила реакции опоры в незаряженом случае

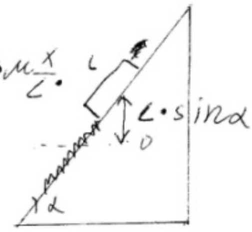
$N_2 = mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0} = N_1 - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$ - сила реакции опоры в заряженном случае

Чистовик

3) Напишем ЗСЭ для бруска

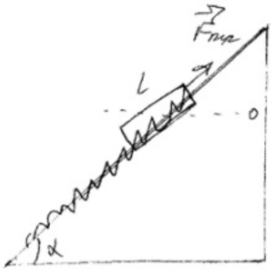
$\Delta h = l \sin\alpha$

$F_{тр}$ на расстоянии x от границы раздела равен $N \mu \frac{x}{l}$.



$\frac{mV^2}{2} + mg\Delta h = A$

$A = \int_0^l -F_{тр}\,dx = \int_0^l -N\mu \frac{x}{l}\,dx =$



$= -N\mu \frac{x^2}{2l}\Big|_0^l = -\frac{N\mu l^2}{2l} = \frac{N\mu l}{2}$

$\frac{mV^2}{2} - mgl\sin\alpha = -\frac{N\mu l}{2}$

$\frac{mV^2}{2} = mgl\sin\alpha - \frac{N\mu l}{2}$

$V^2 = \left(2g\sin\alpha - \frac{N\mu}{m}\right) l$

$v = \sqrt{\left(2g\sin\alpha - \frac{N\mu}{m}\right) l}$

4) V_1 при N_1

V_2 при N_2, тогда $\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{\left(2g\sin\alpha - \frac{N_1\mu}{m}\right) l}{\left(2g\sin\alpha - \frac{N_2\mu}{m}\right) l}} =$

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

$= \sqrt{\frac{20\cdot\frac{1}{2} - 10\cdot\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}}{20\cdot 0{,}5 - 10\cdot\frac{1}{2\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{3\cdot 10^{-6}\cdot 3\cdot 10^{-6}}{2\cdot 9\cdot 10^{-12}}\cdot\frac{1}{\sqrt{3}\cdot 0{,}1}}} = \sqrt{\frac{10-5}{10-5+\frac{10}{2\sqrt{3}}}} = \sqrt{\frac{5}{5+\frac{5}{\sqrt{3}}}} =$

$= \sqrt{\frac{1}{1+\frac{1}{\sqrt{3}}}} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}+1}}$

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}+1}}$, то есть V_1 в $\sqrt{\frac{\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}}}$ раз меньше V_2

$\boxed{5}$