МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Чалый Максим Евгеньевич**

Класс: 11

Технический балл: **89**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9330071

<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>14</td><td>5</td><td rowspan="2">89</td></tr>
<tr><td>Вопрос</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr>
</table>

1. Чистовик

1.3.1. Задача

Дано

$M = 1$ кг

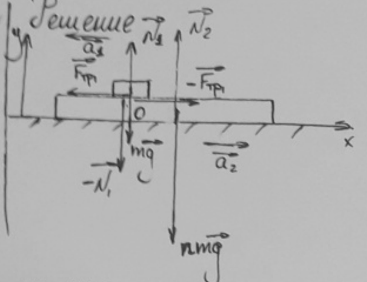
$n = 3$

$N = 2$ Вт

$\mu = 0{,}3$

x – ?

Решение



m – масса машины.

Расставим силы, действующие на модель машины и доску.

По II закону Ньютона для машины:

$$\vec{N}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_{тр1} = m\vec{a}_1$$

$$y:\ N_1 = mg$$

$$x:\ F_{тр1} = ma_1$$

По закону Кулона-Амонтона: $F_{тр1} = \mu N_1$, тогда $a_1 = \mu g = const$

По II закону Ньютона для доски:

$$nm\vec{g} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{тр1} - \vec{N}_1 = nm\vec{a}_2$$

$$x:\ nma_2 = F_{тр1} \Rightarrow a_2 = \frac{\mu g}{n} = const.$$

Из определения мощности: $N = F_{тр1} \cdot v_0 \Rightarrow v_0 = \frac{N}{\mu m g}$

Так как машина движется равноускоренно, то $v_x(t) = v_0 + a_{1x}t = v_0 - \mu g t$. $x(t) = v_0 t - \frac{\mu g t^2}{2}$

Аналогично для доски: $v'_x(t) = a_{2x}t = \frac{\mu g}{n}t$, $x'(t) = \frac{\mu g t^2}{2n}$

Проскальзование прекратится, если скорости доски и машины сравняются:

$v_x(t_0) = v'_x(t_0) \Rightarrow t_0 = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{v_0}{\mu g}$. В этот момент времени $x(t_0) = v_0 t_0 - \frac{\mu g t_0^2}{2} = \frac{n(n+2)}{2(n+1)^2} \cdot \frac{v_0^2}{\mu g}$, а

$x'(t_0) = \frac{n}{2(n+1)^2} \cdot \frac{v_0^2}{\mu g}$.

Таким образом $x = |x'(t) - x(t)| = \frac{n v_0^2}{2(n+1)^2 \mu g} = \frac{n^3 \cdot N^2}{2(n+1)^2 \mu^3 M^2 g^3} = 0{,}5$ м.

~~1.3.1.~~ Вопрос.

~~вектор Импульсом точки называют векторную физическую величину, равную произведению массы точки на ее скорость~~

Импульс точки – векторная физическая величина, равная произведению массы точки и вектора ее скорости: $\vec{p} = m\vec{v}$. Импульсом системы материальных точек называется векторная сумма импульсов всех точек, входящих в систему. $\vec{P} = \sum_{i=1}^{N} m_i \vec{v}_i$, где m_i – масса i-той точки, $\vec{v}_i$ – вектор ее скорости, N – количество точек, входящих в систему.

~~Закон сохранения импульса~~:

Закон сохранения импульса: ~~если импульс вне~~ если сумма импульсов всех внешних сил, действующих на систему материальных точек равна нулю, то импульс системы остается неизменным.

2 Чистовик

2.2.1 Задача

Дано

$m = 5$ кг

$V = 1$ л

$T = 373$ K

$S = 0{,}01$ м^2

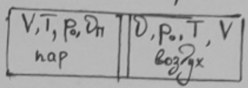
$g = 10 \frac{м}{с^2}$

$p_0 = 10^5$ Па

$x = ?$

Решение

При $T = 373$ $p_{нп} = p_0$

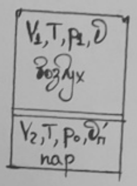


Из условия равновесия поршня получаем равенство давлений вначале.

По уравнению Клапейрона-Менделеева для пара и воздуха.

$p_0 V = \nu_п RT$

$p_0 V = \nu RT \Rightarrow \nu_п = \nu$



~~Предположим, что~~

Поскольку вследствие дополнительного давления, оказываемого поршнем, пар сжался, то он мог остаться только насыщенным, тогда его давление по-прежнему p_0

Условие равновесия поршня:

$p_0 = p_1 + \frac{mg}{S}$ (*)

Уравнение Клапейрона-Менделеева.

$p_1 V_1 = \nu RT = p_0 V \Rightarrow p_1 = \frac{V}{V_1} p_0$ (1)

$p_0 V_2 = \nu_п' RT$

Причем $V_1 + V_2 = 2V$

Подставим (1) в (*): $p_0 = \frac{V}{V_1} p_0 + \frac{mg}{S} \Rightarrow V_1 = \frac{p_0 S}{p_0 S - mg} V$

$x = \frac{-V + V_1}{S} = \frac{mg}{p_0 S - mg} \cdot \frac{V}{S} = 5{,}3$ мм

2.2.1. Вопрос.

Влажность (абсолютная) воздуха — это плотность водяных паров, содержащихся в воздухе. Ее принято измерять в $г/м^3$.

Относительная влажность воздуха — отношение парциального давления водяных паров, содержащихся в воздухе при данной температуре, к давлению насыщенного ~~пар~~ пара при той же температуре; выраженное в процентах: $\varphi = \frac{p'}{p_{нп}} \cdot 100\%$, где p — парциальное давление водяных паров, $p_{нп}$ — давление насыщенного пара.

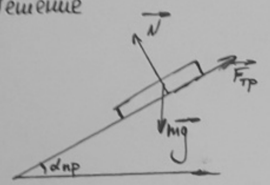
9330071

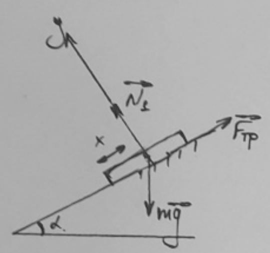
3. Чистовик

3.Б.1 Задача

Дано:
$m = 100 г$
$\alpha_{пр} = 30°$
$\sigma = 3 \frac{мкКл}{м^2}$
$q = 3 мкКл$

Решение





Рассмотрим равновесие пластинки.

$\vec N + m\vec g + \vec F_{тр} = \vec 0 \Rightarrow N = mg\cos\alpha$, $F_{тр} = mg\sin\alpha$

По закону Кулона-Амонтона:

$F_{тр} \le \mu N = \mu mg\cos\alpha$

$mg\sin\alpha \le \mu mg\cos\alpha$

$\operatorname{tg}\alpha \le \mu \Rightarrow \operatorname{tg}\alpha_{пр} = \mu$

Рассмотрим движение пластинки в случае, если она не заряжена:

Пусть она сместилась на x вниз.

По II закону Ньютона

$m\vec g + \vec N_1 + \vec F_{тр} = m\vec a$

y: $N_1 = mg\cos\alpha$

По закону Кулона-Амонтона $F_{тр} = \mu N_1'$, где N_1' - сила давления со стороны плиты на ту часть пластинки, которая находится на шероховатой поверхности:

$N_1' = \frac{L-x}{L} \cdot N_1 = \frac{L-x}{L} mg\cos\alpha$, где L - длина пластинки.

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

По теореме об изменении кинетической энергии:

$A_{N_1} + A_{mg} + A_{F_{тр}} = \frac{m v_1^2}{2}$

$A_{N_1} = 0$

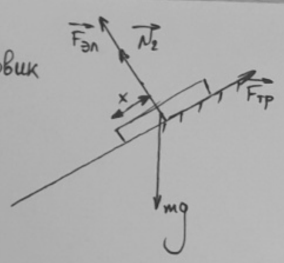
$A_{mg} = mgL\sin\alpha$

$A_{F_{тр}} = -\int_0^L F_{тр}\,dx = -\int_0^L \frac{L-x}{L} \mu mg\cos\alpha\,dx = -\int_0^L \mu mg\cos\alpha\,dx + \int_0^L \frac{\mu mg\cos\alpha}{L} \cdot x\,dx =$

$= -\frac{1}{2} \mu mgL\cos\alpha$

Тогда $v_1 = \sqrt{gL(2\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}$

4
Чистовик



Рассмотрим движение пластинки вниз, если она заряжена.

По II закону Ньютона:

$$\vec{N_2}+m\vec{g}+\vec{F_{эл}}+\vec{F_{тр}}=m\vec{a_2}$$

$$y:\ N_2=mg\cos\alpha-F_{эл}=mg\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$$

По закону Кулона–Амонтона: $F_{тр}=\mu N_2'$, где $N_2'=\frac{L-x}{L}N_2=\frac{L-x}{L}\cdot\left(mg\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$

$$F_{тр}=\frac{L-x}{L}\cdot\mu\left(mg\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)$$

По теореме об изменении кинетической энергии:

$$A_{\vec{N_2}}+A_{m\vec{g}}+A_{F_{тр}}+A_{F_{эл}}=\frac{m\upsilon_2^2}{2}$$

$$A_{\vec{N_2}}=0$$

$$A_{m\vec{g}}=mgL\sin\alpha$$

$$A_{F_{эл}}=0$$

$$A_{F_{тр}}=-\int_0^L F_{тр}dx=-\mu\left(mg\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right)\cdot\frac{L}{2}$$

Тогда $\upsilon_2=\sqrt{2gL\sin\alpha-\mu\left(g\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0 m}\right)L}$

Итого $\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}=\sqrt{\frac{2g\sin\alpha-\mu\left(g\cos\alpha-\frac{\sigma q}{2\varepsilon_0 m}\right)}{2g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha}}$, где $\mu=\operatorname{tg}\alpha_{пр}$.

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}=1,03.$$

3.5.1. Вопрос.

Эксперимент показывает, что заряд проводника пропорционален его потенциалу: $q=C\varphi$. Коэффициентом пропорциональности является ~~физическая~~ емкость проводника. Она зависит от его геометрических размеров. Единицы измерения емкости в СИ – Ф (фарад). 1 Ф – это емкость такого плоского конденсатора, при подаче на который напряжения 1 В на его обкладках возникает заряд 1 Кл. Для плоского конденсатора емкость вычисляется следующим образом: $C=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$, где ε_0 – электрическая постоянная, S – площадь пластин конденсатора, d – расстояние между ними, ε – диэлектрическая проницаемость.

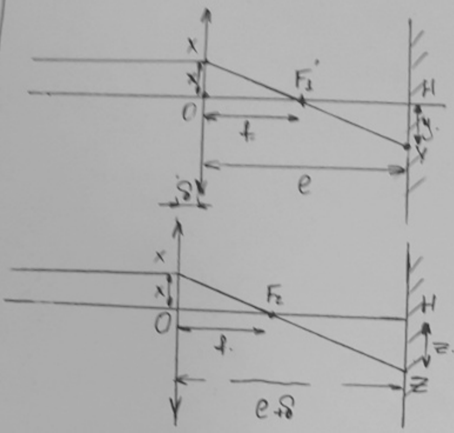
5 Чистовик

4.3.1. Задача

Дано
$l = 20$ см
$\delta = 0{,}5$ см
$\Delta = 1$ см

f

Решение



Пусть x – расстояние между ГОО линзы и лучом света, y – расстояние между ГОО и центром пятна в первом случае

Из подобия $\triangle OXF_1$ и $\triangle HYF_1$:

$$\frac{f}{x} = \frac{l-f}{y} \Rightarrow y = \frac{l-f}{f}x$$

Аналогично получаем:

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

По условию $z - y = \Delta$

$$\left(\frac{l+\delta-f}{f} - \frac{l-f}{f}\right)x = \Delta$$

$$\frac{\delta}{f}\cdot x = \Delta \Rightarrow x = \frac{\Delta}{\delta}f,\ y = \frac{\Delta}{\delta}(l-f),\ z = \frac{\Delta}{\delta}(l+\delta-f)$$

4.3.1. Вопрос

Фокусом собирающей линзы является точка, в которой собирается пучок лучей, пущенный на линзу параллельно ее главной геометрической оси.
Фокусом рассеивающей линзы является точка, в которой пересекаются продолжения лучей, пущенных на линзу пучком, параллельным ее главной геометрической оси.
Фокусное расстояние тонкой линзы – расстояние от плоскости линзы до ее фокуса
Величина, обратная фокусному расстоянию, называется оптической силой линзы: $D = \frac{1}{F}$,
она измеряется в диоптриях. 1 дптр – это оптическая сила такой тонкой линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м.

9330071

6 Черновик

$\sigma_0 - \mu g t = \frac{\mu g}{n} t$

$\frac{n+1}{n}\mu g t = \sigma_0$

$t = \frac{n}{n+1}\cdot\frac{\sigma_0}{\mu g}$

$\frac{\sigma_0^2 n}{\mu g\, 2(n+1)^2}(n+2$

$x(t_0) = \frac{n}{n+1}\frac{\sigma_0^2}{\mu g} - \frac{\mu g}{2}\frac{n^2}{(n+1)^2}\cdot\frac{\sigma_0^2}{\mu g} =$

$\sqrt{1+}$

$= \frac{\sigma_0^2}{\mu g}\cdot\frac{n}{n+1}\left(1 - \frac{n}{2n+2}\right) =$

$= \frac{(n+2)n}{2(n+1)^2}$

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

$\frac{\sigma_0^2}{\mu g}\cdot\frac{n}{(n+1)^2}\left(n+2 - \frac{n}{2}\right) =$

$=$

$\frac{\mu g}{2n}\cdot\frac{n^2}{(n+1)^2}\cdot\frac{\sigma_0^2}{\mu g}$

$\frac{27\cdot 1000\cdot 4}{2\cdot 4\cdot 27\cdot 1000}$

$\sqrt{1+\frac{B S \varphi}{g}} =$

$\frac{n}{2(n+1)^2}\cdot\frac{\sigma_0^2}{\mu g}(n+2-1)$

$2V - \frac{\rho_0 S}{\rho_0 S - mg}V =$

$= \sqrt{1+\frac{3\cdot 10^{-8}\cdot 3\cdot 10^{-6}\cdot 2}{2\cdot 10\cdot 9\cdot 10^{-2}\sqrt{3}}}$

$\sqrt{1+\frac{1}{10\sqrt{3}}} =$

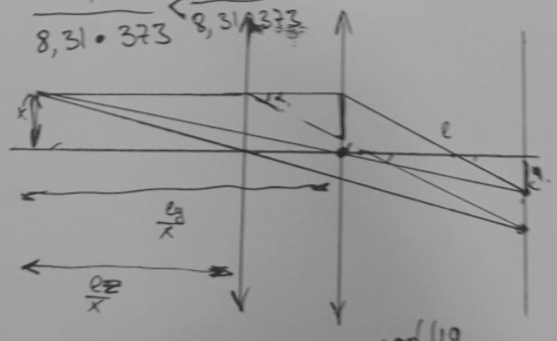
$\frac{n\sigma_0^2}{2(n+1)\mu g} = \frac{n}{2(n+1)\mu g}\cdot\frac{N^2}{\mu^2 m^2 g^2} = \frac{n^3}{2(n+1)\mu g}\cdot\frac{N^2}{\mu^2 M^2 g^2}$

$\frac{2\rho_0 S - mg - \rho_0 S}{\rho_0 S - mg}V =$

$= \sqrt{1+\frac{\sqrt{3}}{30}} =$

$= \frac{\rho_0 S - 2mg}{\rho_0 S - mg}V$

$\frac{10^5\cdot\frac{18}{19}\cdot 2}{8{,}31\cdot 373} < \frac{10^5\cdot 1}{8{,}31\cdot 373}$



$\frac{y}{x} = \frac{f_1}{\ell}$

$\frac{\ell}{x}\Delta = 8$

$\frac{50}{1000-50}\cdot 1\Lambda\cdot 100\cdot 10^{-3}$

$\frac{1000-100}{1000-50} = 1\Lambda$

$\frac{900}{950} = \frac{18}{19}\Lambda$

$\frac{5000}{950}\cdot\quad\frac{100}{19}\cdot 10^{-3}$

100 | 19
95 | 5,26
50
38
120
114

7 Черновик

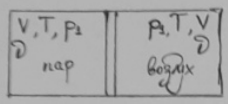
2.2.1 Задача

Дано

$m = 5$ кг
$V = 1$ л
$T = 373$ K
$S = 0{,}01$ м²
$g = 10\ \frac{м}{с^2}$
$p_0 = 10^5$ Па

$x - ?$

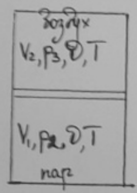
Решение



Из условия равновесия поршня получаем равенство давлений вначале.

По уравнению Клайперона-Менделеева для пара и воздуха:

$p_1V = \nu_п \cdot RT$
$p_1V = \nu_в RT$ $\Rightarrow \nu_п = \nu_в = \nu$. Т.к.



Предположим, что пар остался ненасыщенным; тогда количество вещества пара не изменилось.

$V_1 + V_2 = 2V$ (1)

Условие равновесия поршня:

$p_2S = p_3S + mg$ (2)

Уравнение Клайперона-Менделеева для пара и воздуха:

$\left.\begin{aligned} p_2V_1 &= \nu RT \\ p_3V_2 &= \nu RT \end{aligned}\right\} \Rightarrow \cancel{p_2 : p_3 = V_2 : V_1}$

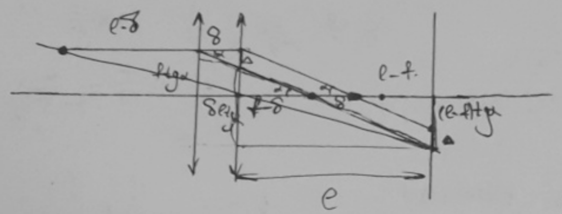
Заметим, что $p_2V_1 = p_1V \Rightarrow p_2 = \frac{V}{V_1}p_1$, а $p_3V_2 = p_1V \Rightarrow p_3 = \frac{V}{V_2}p_1$

Подставим во второе и первое уравнения:

$\begin{cases} V_1 + V_2 = 2V \\ p_2 = p_3 + \frac{mg}{S} \end{cases}$ $\begin{cases} p_1(p_2 + p_3) = 2p_2p_3 \\ p_2 = p_3 + \frac{mg}{S} \end{cases}$

9330071

8 Черновик.



$\Delta + (f-\delta)\,tg\,\alpha = x$

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

$y = \frac{l-f}{f}\cdot\frac{\Delta}{\delta}\cdot f = \boxed{\frac{\Delta}{\delta}(l-f)}$

$z = \frac{l+\delta-f}{f}\cdot\frac{\Delta}{\delta}\cdot f = \frac{\Delta}{\delta}(l+\delta-f)$

$l\,tg\,\alpha = f\,tg\,\alpha + z$

$l = f + z\,(tg\,\alpha) =$

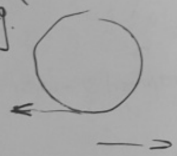
$= f + \frac{\Delta}{\delta}(l+\delta-f)\cdot\frac{\delta}{\Delta}$

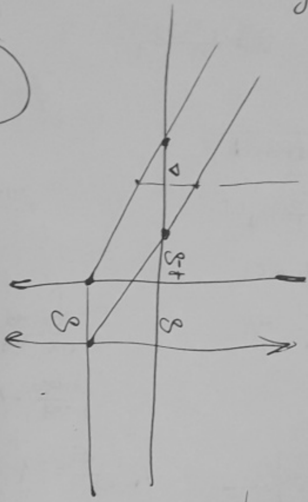
F.

$\mu mg \cdot x = m\upsilon_0^2$

$F_{тр1}$

$\frac{n\upsilon_0^2}{2(n+1)\mu g}(n+2-n)$

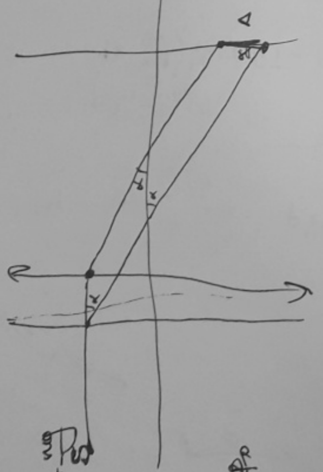


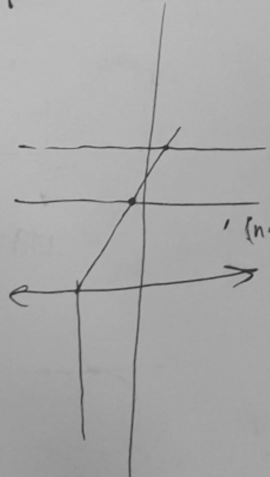


$\mu mgx = \frac{m\upsilon_0^2}{2} - \frac{(m+nm)V^2}{2}$

$\mu g x = \frac{1}{2}(\upsilon_0^2 - (n+1)V^2)$

$\mu mg \cdot \upsilon_{отн} = N$





$(n+1)V = \upsilon_0$

$V = \frac{\upsilon_0}{n+1}$

$\mu g x = \frac{1}{2}\left(\upsilon_0^2 - \frac{\upsilon_0^2}{n+1}\right)$

$= \frac{n}{2(n+1)}\cdot\upsilon_0^2$

$\frac{n}{2(n+1)}\cdot\frac{\upsilon_0^2}{\mu g}$

$V_1 = $

$p_1 = \frac{V}{V_1}p_0$

$p_0 = \frac{V}{V_1}p_0 + \frac{mg}{S}$

$\frac{p_0S - mg}{p_0S} = \frac{V}{V_1}$

$p_0S - mg - p_0S$

$\frac{p_0S}{p_0S - mg} - 1 = \frac{mg}{p_0S - mg}$