МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Сахин Леонид Михайлович**

Класс: 11

Технический балл: **82**

Дата проведения: 25 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9840141

	1	2	3	4	$\sum$
Задача	*0*	*15*	*15*	*15*	***82***
Вопрос	*9*	*8*	*10*	*10*	

Чистовик 1 Вопросы к задаче 1.3.1.

1. Импульс системы материальных точек равен векторной сумме импульсов всех материальных точек системы.

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p_i} = \sum_i m_i \vec{v_i}$$

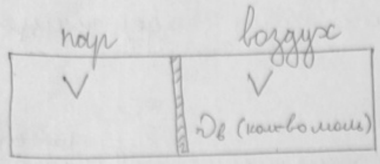
2. Если равнодействующая всех ~~сил~~ внешних сил, действующих на систему материальных точек, равна 0, то импульс системы материальных точек сохраняется.

9840141

Чистовик 2

Задача 2.2.1.

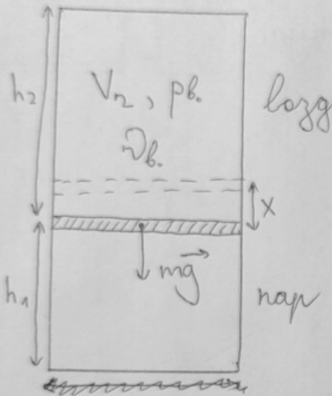
1)



Давление воздуха и пара равны; давление насыщенного пара при температуре $t = 100°C$ равно $p_0 = 10^5$ Па. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для воздуха: $p_0 V = \nu_в RT$ ~~($\nu_в$ – кол-во молей воздуха)~~

$$\rightarrow \nu_в = \frac{p_0 V}{RT}$$

2)



Т.к. температура не изменилась, давление насыщенного пара равно p_0.

$$p_0 = p_в + \frac{mg}{S} \quad \left(\frac{mg}{S} \text{ – давление, оказываемое поршнем}\right)$$

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для воздуха: $p_в V_2 = \nu_в RT$

$$\rightarrow p_в = \frac{\nu_в RT}{V_2} = \frac{\frac{p_0 V}{RT} \cdot RT}{V_2} = \frac{p_0 V}{V_2}$$

Получаем: $p_0 = \frac{p_0 V}{V_2} + \frac{mg}{S}$

$$p_0 = \frac{p_0 (S \cdot \frac{h}{2})}{S h_2} + \frac{mg}{S} \quad (h \text{ – высота всего цилиндра})$$

$$p_0 \left(1 - \frac{\frac{h}{2}}{h_2}\right) = \frac{mg}{S} \rightarrow \frac{\frac{h}{2}}{h_2} = 1 - \frac{mg}{p_0 S}$$

Расстояние, на которое опустится поршень:

$$x = h_2 - \frac{h}{2} = \frac{\frac{h}{2}}{1 - \frac{mg}{p_0 S}} - \frac{h}{2} = \frac{h}{2}\left(\frac{p_0 S}{p_0 S - mg} - 1\right) = \frac{\left(\frac{V+V}{S}\right)}{2} \cdot \frac{mg}{p_0 S - mg} =$$

$$= \frac{Vmg}{S(p_0 S - mg)}$$

По условию: $V = 1л = 0{,}001 м^3$; $m = 5кг$; $S = 0{,}01 м^2$; $g = 10 \frac{м}{с^2}$; $p_0 = 10^5 Па$

$$\Rightarrow x = \frac{0{,}001 \cdot 5 \cdot 10}{0{,}01(10^5 \cdot 0{,}01 - 5 \cdot 10)} = \frac{5}{1000 - 50} = \frac{1}{200 - 10} = \frac{1}{190} (м) = \frac{10}{19} (см)$$

Ответ: на $\frac{10}{19}$ см ($\approx 0{,}5$ см)

Чистовик 3 Вопросы к задаче 2.2.1.

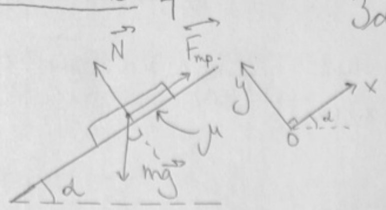
1. Влажность воздуха — давление водяного пара, содержащегося в воздухе.

2. Относительная влажность воздуха — отношение ~~(плотности)~~ давление водяного пара, содержащегося в воздухе, к ~~(плотности)~~ давлению насыщенного пара при данной температуре, умноженное на 100% (или, что то же самое, отношение плотности водяного пара к плотности насыщенного пара при данной температуре, умноженное на 100%)

Чистовик 4

Задача 3.5.1.

1)



Запишем второй закон Ньютона для пластинки в проекции на ось

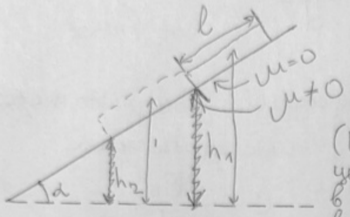
Oy: $N - mg\cos\alpha = 0 \rightarrow N = mg\cos\alpha$

Ox: $F_{тр.} - mg\sin\alpha = 0 \rightarrow F_{тр.} = mg\sin\alpha$

При наибольшем $\alpha = 30°$ $F_{тр.} = \mu N \Rightarrow \mu mg\cos\alpha = mg\sin\alpha$

$\mu = tg\alpha = tg\,30° = \frac{1}{\sqrt{3}}$

2)



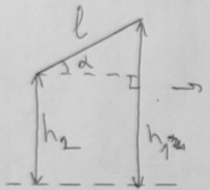
(h₁ и h₂ — высоты центра тяжести пластинки в нач. и кон. моменты времени)

По закону сохранение энергии (ЗСЭ):

$E_1 - E_2 = -A_{F_{тр.}}$ (где E_1 — начальная энергия; E_2 — конечная энергия; $A_{F_{тр.}}$ — работа силы трения)

$E_1 = mgh_1$ $\quad E_2 = mgh_2 + \frac{mv_1^2}{2}$ $\quad |A_{F_{тр.}}| = F_{тр.}l$ (l — длина пластинки)

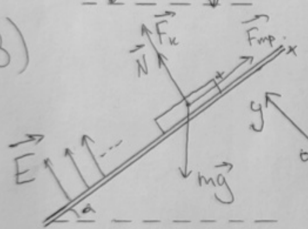
$mgh_1 - mgh_2 - \frac{mv_1^2}{2} = \cancel{lmg\sin\alpha} - l\mu mg\cos\alpha$



$\rightarrow h_1 - h_2 = l\sin\alpha$

$\Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} = mgl\sin\alpha + \cancel{lmg\sin\alpha \rightarrow v_1^2 = 4gl\sin\alpha} + l\mu mg\cos\alpha \rightarrow v_1^2 = 2gl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$

3)



Плита и пластинка заряжены одноимённо $\Rightarrow$ они будут отталкиваться ~~с силой~~

$F_к = Eq$

Плиту можно считать бесконечной заряженной плоскостью $\Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \rightarrow F_к = \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}$

Запишем второй закон Ньютона для пластинки в проекции на ось Oy: $N + F_к - mg\cos\alpha = 0 \rightarrow N = mg\cos\alpha - F_к$.

Аналогично пункту 2 запишем ЗСЭ:

$mgh_1 - mgh_2 - \frac{mv_2^2}{2} = -l\mu(mg\cos\alpha - F_к)$

$\rightarrow \frac{mv_2^2}{2} = mgl\sin\alpha + l\mu\left(mg\cos\alpha - \frac{\sigma q}{2\varepsilon_0}\right) \rightarrow v_2^2 = 2l\left(g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q}{2m\varepsilon_0}\right)$

Получаем: $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\cancel{2}gl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\cancel{2}l\left(g\sin\alpha + \mu g\cos\alpha - \frac{\mu\sigma q}{2m\varepsilon_0}\right)}}$

По условию: $m = 100\,г = 0{,}1\,кг$; $\alpha = 30°$; $\sigma = +3\,мкКл/м^2 = +3\cdot10^{-6}\,Кл/м^2$; $q = +3\,мкКл = +3\cdot10^{-6}\,Кл$; $g = 10\,\frac{м}{с^2}$; $\varepsilon = 9\cdot10^{-12}\,\frac{Ф}{м} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{10\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{10\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - \frac{3\cdot10^{-6}\cdot3\cdot10^{-6}}{\sqrt{3}\cdot2\cdot0{,}1\cdot9\cdot10^{-12}}}} = \sqrt{\frac{10}{10 - \frac{1}{0{,}2\sqrt{3}}}} =$

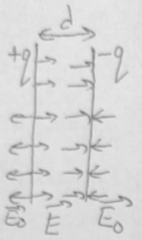
$= \sqrt{\frac{2\sqrt{3}}{2\sqrt{3} - 1}} = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}(2\sqrt{3}+1)}{(2\sqrt{3})^2 - 1}} = \sqrt{\frac{12 + 2\sqrt{3}}{11}}$

Ответ: в $\sqrt{\frac{12+2\sqrt{3}}{11}}$ раз

9840141

Чистовик 5 Вопросы к задаче 3.5.1.

1. Электроёмкостью называется отношение заряда на обкладке к разности потенциалов между обкладками. Измеряется в Фарадах.

2. 

S – площадь обкладки

σ – поверхностная плотность заряда

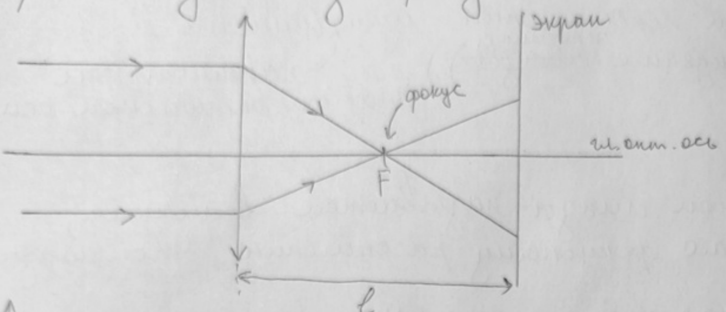
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{\sigma S}{\frac{\sigma}{\varepsilon_0} d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

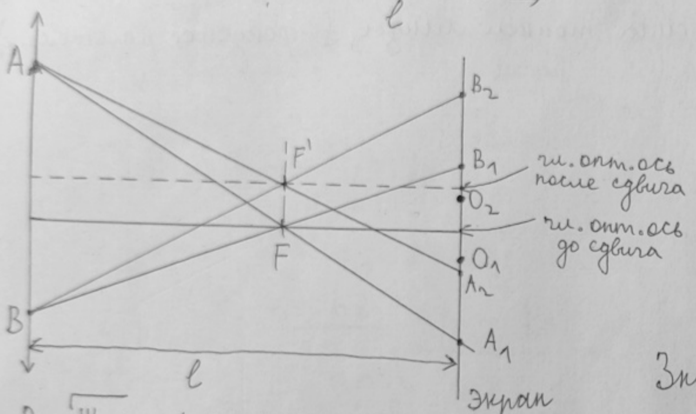
$$E = 2E_0 = \frac{2\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Если между обкладками конденсатора есть диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε, то $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$

Чистовик 6 Задача 4.3.1.

Т.к. центр пятна сместился больше, чем линза ($\Delta > \delta$), то экран находится за фокусом.





(С индексами 1 — до сдвига
С индексами 2 — после сдвига)

1. $\Delta AFB \sim \Delta A_1FB_1$ по трём углам

$$\rightarrow \frac{AF}{A_1F} = \frac{BF}{B_1F} = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{l-f}{f}$$

$\Delta AF'B \sim \Delta A_2F'B_2$ по трём углам

$$\rightarrow \frac{AF'}{A_2F'} = \frac{BF'}{B_2F'} = \frac{A_2B_2}{AB} = \frac{l-f}{f}$$

Значит, диаметр пятна не изменился.

2. Т.к. $A_1B_1 = A_2B_2$, а $O_1O_2 = \Delta$, то $A_1A_2 = B_1B_2 = \Delta$

$FF' = \delta$

$\Delta AFF' \sim \Delta AA_1A_2$ по трём углам $\rightarrow$ $$\frac{FF'}{A_1A_2} = \frac{AF}{AA_1} = \frac{AF}{AF + A_1F} = \frac{\frac{AF}{A_1F}}{\frac{AF}{A_1F} + 1}$$

Получаем: $$\frac{\delta}{\Delta} = \frac{\frac{l-f}{f}}{\frac{l-f}{f} + 1} = \frac{l-f}{l} = 1 - \frac{f}{l} \Rightarrow f = l\left(1 - \frac{\delta}{\Delta}\right)$$

По условию: $l = 20$ см; $\delta = 0{,}5$ см; $\Delta = 1$ см

$$\rightarrow f = 20\left(1 - \frac{0{,}5}{1}\right) = 10 \text{ (см)}$$

Ответ: 10 см.

Чистовик 7 Вопросы к задаче 4.3.1.

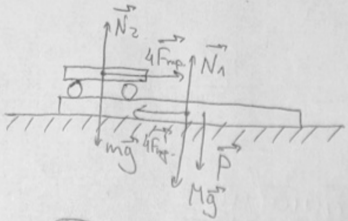
1. Фокусное расстояние тонкой линзы — расстояние между оптическим центром линзы и её фокусом (точки на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи параллельные главной оптической оси (или их продолжение) после прохождение ~~линзы~~ через линзу)

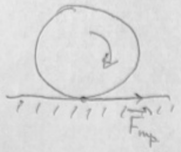
2. Оптической силой тонкой линзы называется величина, обратно пропорциональная фокусному расстоянию этой линзы.

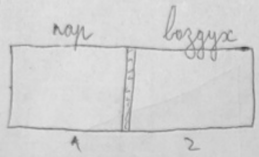
$D = \frac{1}{f}$ (D — оптическая сила тонкой линзы, f — фокусное расстояние)

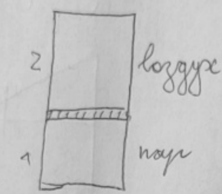
Измеряется в диоптриях.

Черновик 8









$pV = \nu RT$

$p_1 = p_2 + \cancel{p_0 S}\ \cancel{mgS}\ \frac{mg}{S}$

$p_0 = \frac{\nu RT}{V_2} + \frac{mg}{S} = \frac{p_0 V_1}{V_2} + \frac{mg}{S} = \frac{p_0 h_1}{h_2} + \frac{mg}{S}$

$p_0\left(1 - \frac{h_1}{h_2}\right) = \frac{mg}{S}$

$\frac{h_1}{h_2} = 1 - \frac{mg}{p_0 S} = 1 - \frac{5 \cdot 10}{0{,}01 \cdot 10^5} = 1 - \frac{50}{10^3} = 1 - \frac{5}{100} = 0{,}95 \to h_1 = 0{,}95 h_2$

$h_1 + h_2 = 0{,}95 h_2 + h_2 = 1{,}95 h_2 = h = \frac{V}{S}$

$\to h_2 = \frac{V}{1{,}95 S}$

$p_0 V_1 = \nu_1 RT$

$p_0 V_1 = \nu_2 RT \to \nu_2 = \nu_1 = \frac{p_0 V_1}{RT}$

$X = \frac{h}{2} - h_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - h_1 = \frac{h_2}{2} - \frac{h_1}{2} =$

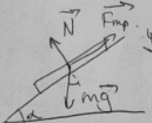
$= \frac{h_2}{2} - \frac{0{,}95 h_2}{2} = \frac{0{,}05 h_2}{2} = \frac{0{,}05 \cdot \frac{V}{1{,}95 S}}{2} =$

$= \frac{V}{78 S} = \frac{0{,}001}{78 \cdot 0{,}01} = \frac{0{,}1}{78}^2 = \frac{1}{780}$

$195 \,|\, 5$, 39; 15, 45; $1{,}95 \cdot 2 = 3{,}90$

$X = h_2 - \frac{h}{2} = \frac{V}{1{,}95 S} - \frac{V}{2S} = \frac{2V - 1{,}95V}{3{,}9 S} =$

$= \frac{0{,}05 V}{3{,}9 S} = \frac{5V}{390 S} = \frac{V}{78 S}$



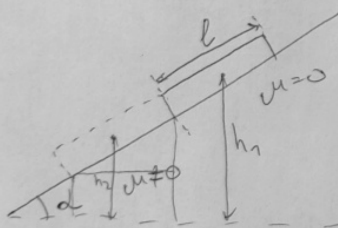
O_y: $N - mg\cos\alpha = 0 \to N = mg\cos\alpha$

O_x: $F_{mp.} - mg\sin\alpha = 0$

$F_{mp.} = mg\sin\alpha$ $\quad \mu mg\cos\alpha = mg\sin\alpha$

$\mu N = mg\sin\alpha$ $\quad \mu = \mathrm{tg}\,\alpha$

$\to \mu = \mathrm{tg}\, 30° = \frac{1}{\sqrt{3}}$



$\cancel{mgh_1 =}$

$mgh_1 - \left(mgh_2 + \frac{mv_1^2}{2}\right) = F_{mp.} l$

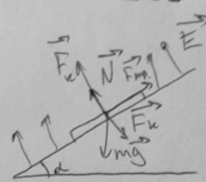
$mg l\sin\alpha - \frac{mv_1^2}{2} = \mu mg\sin\alpha\, l \to \frac{v_1^2}{2} = gl\sin\alpha(1 - \mu)$

$E_{плоск.} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\quad F_{k.} = E|q| = \frac{\sigma|q|}{2\varepsilon_0}$

$N = mg\cos\alpha - F_k$

$F_{mp.} = \mu(mg\cos\alpha - F_k)$

$\frac{v_2}{v_1}$



$mgl\sin\alpha - \frac{mv_2^2}{2} = l\mu(mg\cos\alpha - F_k)$

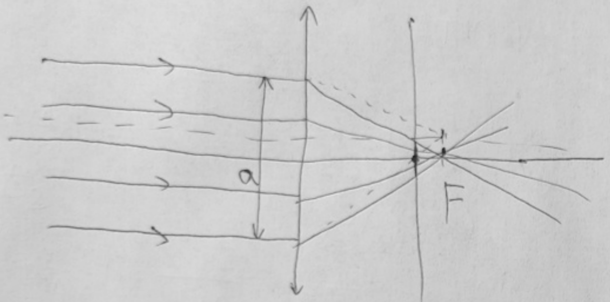
$\frac{v_2}{2} = \frac{l}{m}\left(mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha + \mu \frac{\sigma|q|}{2\varepsilon_0}\right)$

$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{\frac{2l}{m}\left(mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) + \frac{\mu\sigma|q|}{2\varepsilon_0}\right)}{2gl\sin\alpha\,(1-\mu)} = \frac{mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) + \frac{\mu\sigma|q|}{2\varepsilon_0}}{mg\sin\alpha(1-\mu)} =$

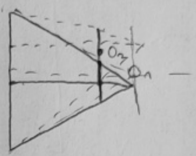
$$= \frac{0,1\cdot 10\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot 3\cdot 3\cdot (10^{-6})^2}{2\cdot 9\cdot 10^{-12}}}{\left(1-\frac{1}{\sqrt{3}}\right)\cdot 0,1\cdot 10\cdot \frac{1}{2}} = \frac{+\frac{10^{12}\cdot 10^{-12}}{2\sqrt{3}}}{\frac{\sqrt{3}-1}{2\sqrt{3}}} = \frac{\cancel{10^{12}}\,1}{\sqrt{3}-1} = \frac{\sqrt{3}+1}{2}$$

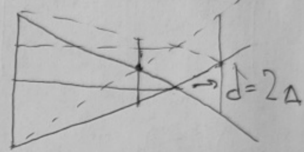
$$\to \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\sqrt{3}+1}{2}}$$

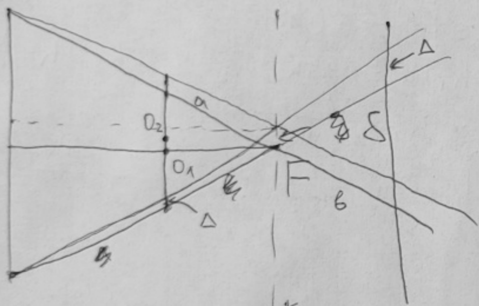
Черновик 9



$$\frac{d}{a} = \frac{F-l}{l}$$





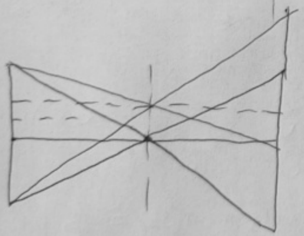


$$\frac{\delta}{\Delta} = \frac{a}{a+b} = \frac{1}{1+\frac{b}{a}} = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{a}{b}+1} = \frac{\frac{l-F}{F}}{\frac{l-F}{F}+1} = \frac{l-F}{l} = 1-\frac{F}{l}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{l-F}{F}$$

$$\frac{F}{l} = 1-\frac{\delta}{\Delta} = 1-\frac{0,5}{1} = \frac{1}{2}$$

$$\to F = \frac{l}{2} = 10 \text{ см}$$



$$\sqrt{\frac{10\left(\sin\alpha+\frac{\cos\alpha}{\sqrt{3}}\right)}{10\left(\sin\alpha+\frac{\cos\alpha}{\sqrt{3}}-\frac{1}{92\sqrt{3}}\right)}}$$

```
-100 | 19
  95 |0,526
 -50
  38
 120
-114
   6
```