МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Оганов Сергей Алексеевич**

Класс: 11

Технический балл: **77**

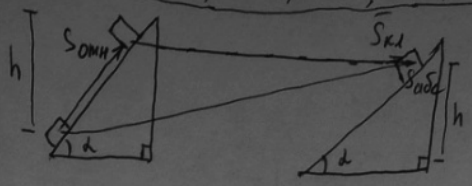
Дата проведения: **26 февраля 2021 года**

ШИФР РАБОТЫ 4967042

	1	2	3	4	∑
Вопрос	*5*	*8*	*8*	*5*	*77*
Задача	*15*	*15*	*6*	*15*	

№1 Частовик

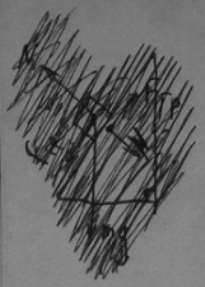
$M = 1$ кг, $\alpha = 30°$, $m = 0{,}1$ кг, $h = 0{,}2$ м, $\mu = 0{,}6$ | Q - ?

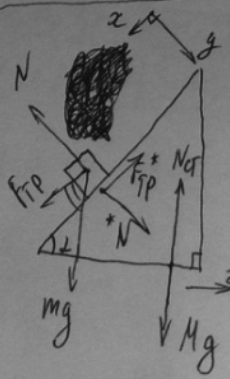


1) $S_{отн} = \frac{h}{\sin\alpha}$ $\quad Q = S_{отн} \cdot F_{тр.}$

$M = 10\,m.$

$F_{тр.покоя} \leq \mu N$ $\quad F_{тр.скольжения} = \mu N$, коэффициент трения – это совокупная характеристика пары материалов, соприкасающихся друг с другом, независящая от площади соприкосновения тел.

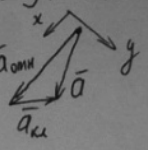




2) 2 ЗН для „m":

$\bar{N} + m\bar{g} + \bar{F}_{тр} = m\bar{a}$

З.С.У: $\bar{a} = \bar{a}_{отн} + \bar{a}_{кл}$



Ось x направлена параллельно наклонной поверхности клина, а y перпендикулярно ей.

y: $-N + mg\cos\alpha + 0 = m a_{кл} \sin\alpha \Rightarrow N = \frac{mg\cos\alpha - m a_{кл}\sin\alpha}{(1)}$

x: $0 + mg\sin\alpha + F_{тр} = m a_x$, $a_x = a_{отн} - a_{кл}\cos\alpha \Rightarrow$

$\Rightarrow mg\sin\alpha + F_{тр} = m(a_{отн} - a_{кл}\cos\alpha)$

3) 2 ЗН для „M": (ось z параллельна горизонтальной поверхности)

$\bar{F}_{тр}^* + \bar{N}^* + \bar{N}_{ст} + M\bar{g} = M\bar{a}_{кл}$ $\quad F_{тр} = F_{тр}^*$ $\quad N = N^*$

z: $F_{тр}\cos\alpha + N\sin\alpha = M a_{кл}$ $\quad F_{тр} = \mu N \Rightarrow \mu N\cos\alpha + N\sin\alpha = M a_{кл} \Rightarrow a_{кл} = \frac{\mu N\cos\alpha + N\sin\alpha}{M}$

$\Rightarrow a_{кл} = \frac{N(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{10m}$ (заменил $M = 10\,m$)

4) Из (1) $\Rightarrow a_{кл} = \frac{mg\cos\alpha - N}{m\sin\alpha}$ $\Rightarrow$ $\frac{mg\cos\alpha - N}{m\sin\alpha} = \frac{N(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{10m} \Rightarrow$

$\Rightarrow 10mg\cos\alpha - 10N = N\sin\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) \Rightarrow 10mg\cos\alpha = N(\sin\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) + 10) \Rightarrow$

$\Rightarrow N = \frac{10mg\cos\alpha}{\sin\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) + 10} = \frac{10mg\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}(0{,}6\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}) + 10} = \frac{5\sqrt{3}mg}{\frac{3}{5}\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + 10} =$

$= \frac{5\sqrt{3}mg}{\frac{3\sqrt{3}}{20} + \frac{41}{4}} = \frac{5\sqrt{3}mg}{3\sqrt{3} + 205} = \frac{100\sqrt{3}mg}{3\sqrt{3} + 205}.$

(См. лист 2)

Чистовик

5) $F_{тр} = \mu N \to F_{тр} = \frac{10\mu mg\cos\alpha}{\mu\sin\alpha\cos\alpha + \sin^2\alpha + 10} \Rightarrow Q = S_{отн} \cdot F_{тр} = \frac{10\mu mgh\cos\alpha}{\sin^2\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha) + 10\sin\alpha} =$

$= \frac{10 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}1 \cdot 10 \cdot 0{,}2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{4}(0{,}6\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}) + 10 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{10 \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{4}(\frac{3\sqrt{3}}{10} + \frac{1}{2}) + 10 \cdot \frac{1}{2}} = \frac{\frac{30\sqrt{3}}{50}}{\frac{3\sqrt{3}}{40} + \frac{1}{8} + 5} = \frac{\frac{30\sqrt{3}}{50}}{\frac{3\sqrt{3} + 5 + 200}{40}} =$

$= \frac{30\sqrt{3} \cdot 40}{(3\sqrt{3} + 205)50} = \frac{24\sqrt{3}}{3\sqrt{3} + 205} \approx 0{,}1941 \approx 0{,}2$ Дж.

6) Если не заменять $M = 10m$, то

$\frac{mg\cos\alpha \cdot N}{m\sin\alpha} = \frac{N(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}{M} \Rightarrow N = \frac{mMg\cos\alpha}{M + m\sin\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{тр} = \mu N = \frac{\mu mMg\cos\alpha}{M + m\sin\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} \Rightarrow Q = S_{отн} \cdot F_{тр} = \frac{h}{\sin\alpha} \cdot F_{тр} =$

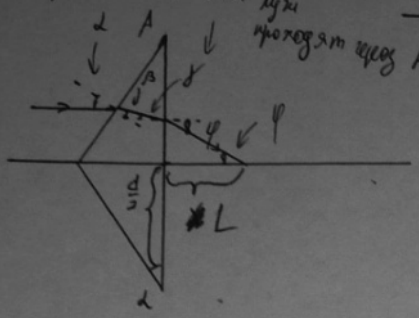
$= \frac{\mu mMgh\cos\alpha}{M\sin\alpha + m\sin^2\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)}$ – ответ в общем виде $Q \approx 0{,}2$ Дж.

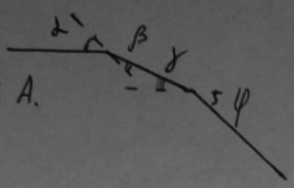
Ответ: $Q = \frac{\mu mMgh\cos\alpha}{M\sin\alpha + m\sin^2\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} = \frac{10\mu mgh\cos\alpha}{10\sin\alpha + \sin^2\alpha(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)} \approx 0{,}2$ Дж.

Чистовик

№4. $d = 5$см $n = 1{,}5$ $\alpha = 0{,}1$ рад | L - ?

фактически эти лучи проходят через A.





1) Закон преломления + малость углов:

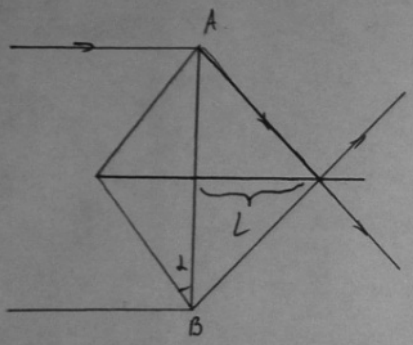
$\beta = \frac{\alpha}{n}$ $\varphi = n\gamma$

2) Из простых геометрических соображений:

$\alpha + \beta = \gamma \Rightarrow \alpha + \beta = \frac{\varphi}{n} \to \alpha + \frac{\alpha}{n} = \frac{\varphi}{n} \Rightarrow \varphi = (n-1)\alpha.$

3) $L = \frac{d}{2\operatorname{tg}\varphi} \approx \frac{d}{2\varphi} \approx \frac{d}{2\alpha(n-1)} \approx \frac{5}{2 \cdot 0{,}1(1{,}5-1)} = 50$ см

правильная картинка:



Ответ: $L = \frac{d}{2\alpha(n-1)} = 50$ см

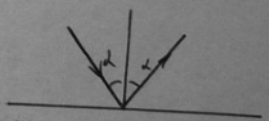
4) Закон отражения света:

При падении на плоскую границу раздела двух сред часть света отражается, а другая преломляется (проходит дальше), и выполняются 2 закона преломления и 2 закона отражения света.

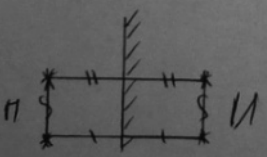
Законы отражения света:

1) Угол падения равен углу отражения света.

2) Луч падающий и отраженный + перпендикуляр лежат в одной плоскости



5) Зеркало:



Чистовик

№2

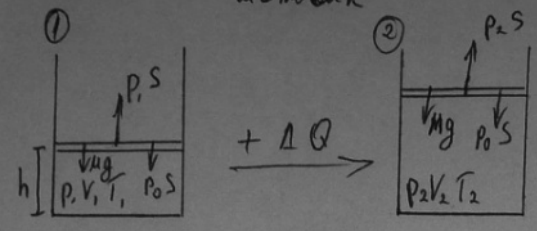
$S = 20\ см^2$

$M = 4\ кг$

$h = 1\ м$

$\Delta Q = 126\ Дж$

$p_0 = 10^5\ Па$



1) 2 З Н для ①: $p_1 S = p_0 S + Mg$

2 З Н для ②: $p_2 S = p_0 S + Mg$

$\Rightarrow p_1 = p_2 = p$; $p = \frac{Mg}{S} + p_0$.

2) $V_1 = hS$

$\vartheta_{ср\,кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$, μ — const

$\Rightarrow \alpha = \frac{\vartheta_{ср\,кв_1}}{\vartheta_{ср\,кв_2}} = \frac{\sqrt{T_1}}{\sqrt{T_2}}$ + 1-2 - изобарный $\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{V_1}{V_2}}$

+ процесс медленный.

3) Т.к $p_1 = p_2 = p = const \Rightarrow$ 1-2 - изобарный: $Q_{12} = \Delta Q = c_p \nu (T_2 - T_1) = \frac{5}{2}\nu R (T_2 - T_1)$

$(c_p = c_V + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R)$

4) $\frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2} p (V_2 - V_1) \Rightarrow V_2 - V_1 = \frac{2\Delta Q}{5p} \Rightarrow V_2 = \frac{2\Delta Q}{5p} + V_1 =$

$\nu R T_2 - \nu R T_1 = p V_2 - p V_1$

$= \frac{2\Delta Q}{5\left(\frac{Mg}{S} + p_0\right)} + hS \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{hS}{\frac{2\Delta Q}{5\left(\frac{Mg + p_0 S}{S}\right)} + hS} =$

$= \frac{h \cdot S}{\frac{2}{5}\cdot\frac{\Delta Q S}{Mg + p_0 S} + hS} \Rightarrow \sqrt{\frac{hS}{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{Mg + p_0 S} + hS}} = \sqrt{\frac{1 \cdot 0{,}002}{\frac{2 \cdot 126 \cdot 0{,}002}{5 \cdot (4 \cdot 10 + 10^5 \cdot 0{,}002)} + 1 \cdot 0{,}002}} = \frac{1}{\alpha} \Rightarrow \alpha = 1{,}1 \Rightarrow$

$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{Mg + p_0 S} + hS}{hS}} = \sqrt{\frac{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{Mg + p_0 S}}{hS} + 1} = \sqrt{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{hS(Mg + p_0 S)} + 1}$

$\Rightarrow$ средняя квадр. скорость молекул увеличится в 1,1.

Ответ: $\alpha = \sqrt{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{hS(Mg + p_0 S)} + 1} = 1{,}1$.

• Внутренняя энергия термодинамической системы - это кин. энергия теплового движения ее молекул и потенц. энергию из взаимодействия.

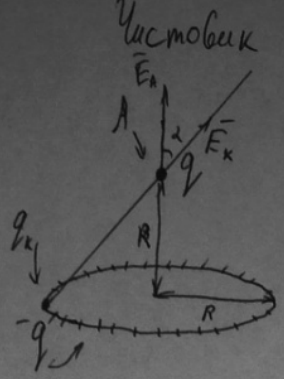
• Чтобы изменить внутр. энергию нужно совершить работу над телом либо совершить теплопередачу (теплообмен с окружающей средой)

№ 3

1) $\bar{E}_A = \sum \bar{E}_k$

$\cos\alpha = \frac{R}{\sqrt{R^2+R^2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow 45^\circ$

$E_A = \sum E_k \cos\alpha \Rightarrow$



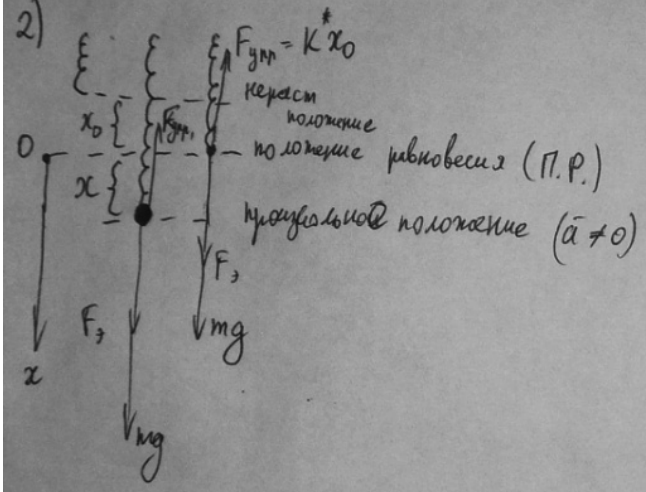
В силу симметрии $\sum \bar{E}_k$ направлена вдоль оси симметрии $\Rightarrow \bar{E}_A$ тоже.

$\Rightarrow E_A = \sum \frac{kq_k}{\sqrt{2}R} \cos\alpha = \frac{k(-q)}{\sqrt{2}R} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = -\frac{kq}{2R}$

$E_A = \sum \frac{kq_k}{2R^2} \cos\alpha = \frac{k(-q)\cdot\sqrt{2}}{4R^2} =$

$= -\frac{kq\cdot\sqrt{2}}{4R^2} \Rightarrow \bar{E}_A$ направлен в центр кольца, $E(x) = \frac{-kqx}{(R^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$

2)



2 ЗН для П.Р.: $k^* x_0 = mg + E_A q$

2 ЗН для произвольного положения:

~~$k(x+x_0) + E_A q = mg$~~

$x: \; mg + E_A q - kx - kx_0 = ma_x \; | : m$

$a_x + \frac{k}{m} x = g + \frac{E_A q}{m} - \frac{k}{m} x_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

3) $v_{max} = A\omega$

$x: \; mg + E(x)q - k^* x - k^* x_0 = ma_x$

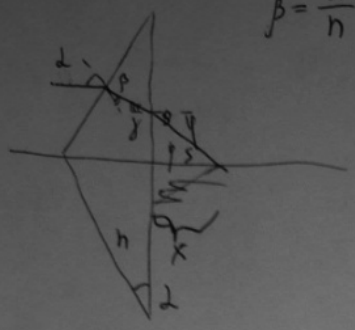
$mg + \frac{kq^2 x}{(R^2+x^2)^{3/2}} - k^* x - k^* x_0 = ma_x$

• Гармонические колебания – колебания происходящие по гармоническому закону (по косинусу или синусу)

• Амплитуда – модуль наибольшего смещения тела от положения равновесия.

• Фаза – это физ. величина, определяющая отклонение от положения равновесия в данный момент времени.

Черновик.



$\beta = \frac{\alpha}{n}$ $\varphi = n\gamma$ $\gamma = \alpha - \beta$ $\varphi = \alpha(n-1)$

$x = \frac{d}{2\,tg\varphi} \approx \frac{d}{2\varphi}$ ~~0,05~~ =>

=> $x = \frac{d}{2\alpha(n-1)} = 50$ см.

$\frac{\varphi}{n} = \alpha - \beta = \alpha - \frac{\alpha}{n}$

$\varphi = n\alpha - \alpha = (n-1)\alpha$.

$1{,}7 \,|\, 2$
$-\ \ |\ 0$

$17 \,|\, 20$
$-\ 0 \,|\, 0{,}85$
170
-160
100

4967042

Черновик

$$\frac{5}{\cancel{2\cdot 0{,}1(1{,}5-1)}} = 50\text{ см}$$

$$\begin{array}{r} 0{,}6 \\ \times\ 0{,}85 \\ \hline 0{,}510 \end{array}$$

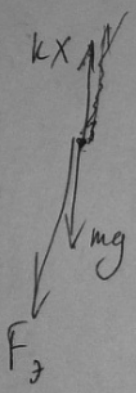
$$\begin{array}{r} 0{,}12 \\ \times\ 0{,}85 \\ \hline 60 \\ +\ 96 \\ \hline 0{,}1020 \end{array}$$

$$\frac{0{,}1}{0{,}5} = \cancel{\frac{1}{2}} \approx 0{,}2.$$

$$\frac{0{,}6\cdot \cancel{0{,}1}\cdot \cancel{1}\cdot 10\cdot 0{,}2\cdot 0{,}85}{\frac{1}{2}+\frac{1}{40}(0{,}6\cdot 0{,}85+0{,}5)}$$

$1{,}01$

$\frac{20}{40}$



$$\frac{10\mu m^2 g h\cos\alpha}{10\mu\sin\alpha + \mu\sin^2\alpha(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}$$

$$\frac{mg\cos\alpha - N}{m\sin\alpha} = \frac{N(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}{M}$$

$$Mmg\cos\alpha - MN = m\sin\alpha\, N(\mu\cos\alpha+\sin\alpha) \qquad Mmg\cos\alpha = N(M + m\sin\alpha(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)$$

$$\cancel{10m^2g\cos\alpha - 10mN = m\sin\alpha\, N(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}$$

$$N = \frac{mMg\cos\alpha}{M+m\sin\alpha(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{тр} - \mu N = \frac{\mu mMg\cos\alpha}{M+m\sin\alpha(\mu\cos\alpha+\sin\alpha)}$$

4967042

$700'0 = \frac{0001}{} = \frac{00001}{} = x$

$\frac{\cancel{R}}{\sqrt{2}\,\cancel{R}} = \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\begin{array}{r} 85 \\ \times 12 \\ \hline 170 \\ +85 \\ \hline 0{,}1020 \end{array}$

$\cancel{0{,}16}$

$\begin{array}{r} 0{,}85 \\ \cdot 60 \\ \hline 0{,}5100 \end{array}$

5,1+

210,1

40

//

$\frac{0{,}6 \cdot \cancel{0{,}1} \cdot 1 \cdot \overset{0{,}12}{\cancel{10}} \cdot 0{,}2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{1 \cdot \frac{1}{2} + 0{,}1 \cdot \frac{1}{4}\left(0{,}6 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}\right)}$ $\approx 0{,}85$

$0{,}5{,}1$

$\frac{1}{2} + \frac{1}{40}($

$0{,}51 + 0{,}5 = 1{,}01$

$\frac{1{,}01}{4} \approx 0{,}25025$

0,025025

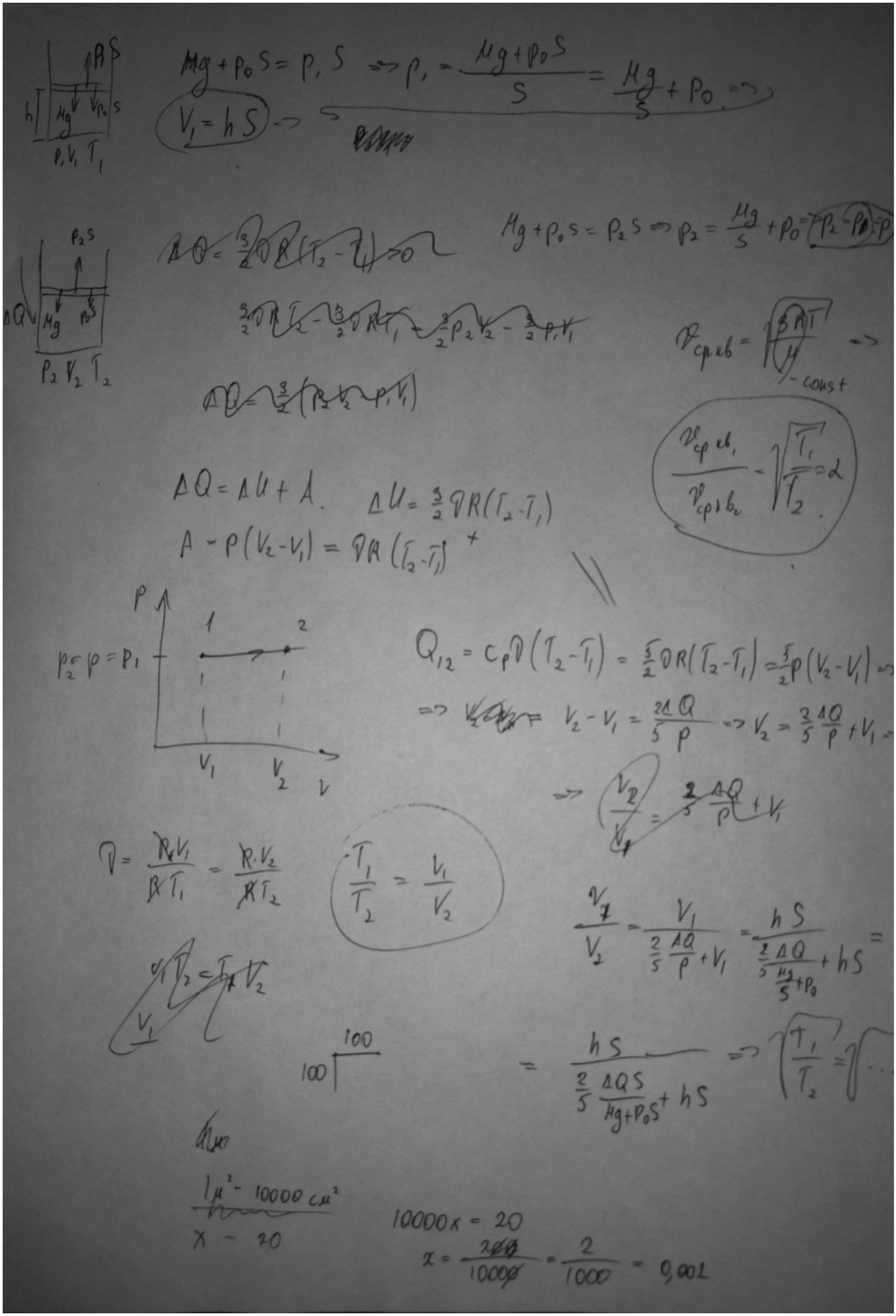
0,525

0,1020

$1000 \,|\, 500$
$\quad\;\; 2$

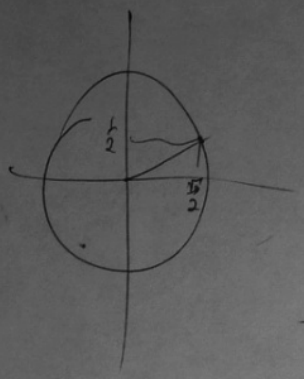
$\begin{array}{r} 0{,}12 \\ \times 0{,}85 \\ \hline 60 \\ +96 \\ \hline 0{,}1020 \end{array}$

4967042


$Mg + P_0 S = P_1 S \Rightarrow P_1 = \frac{Mg + P_0 S}{S} = \frac{Mg}{S} + P_0 \Rightarrow$
$V_1 = hS \Rightarrow$
$P_1 V_1 T_1$
$Mg + P_0 S = P_2 S \Rightarrow P_2 = \frac{Mg}{S} + P_0$
$P_2 - P_0 = P$
$P_2 V_2 T_2$
$\Delta Q = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) > 0$
$\frac{3}{2}\nu R T_2 - \frac{3}{2}\nu R T_1 = \frac{3}{2}P_2 V_2 - \frac{3}{2}P_1 V_1$
$\Delta Q = \frac{3}{2}(P_2 V_2 - P_1 V_1)$
$\nu_{ср кв} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$
μ - const
$\frac{\nu_{ср кв_1}}{\nu_{ср кв_2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = 2$
$\Delta Q = \Delta U + A$. $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$
$A = P(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$
$P_2 = P = P_1$
$Q_{12} = c_p \nu (T_2 - T_1) = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}P(V_2 - V_1) \Rightarrow$
$\Rightarrow V_2 - V_1 = \frac{2\Delta Q}{5P} \Rightarrow V_2 = \frac{2}{5}\frac{\Delta Q}{P} + V_1 \Rightarrow$
$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{2}{5}\frac{\Delta Q}{PV_1} + 1$
$\nu = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = \frac{P \cdot V_2}{RT_2}$
$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$
$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_1}{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q}{P} + V_1} = \frac{hS}{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q}{\frac{Mg}{S} + P_0} + hS} =$
$V_1 T_2 = T_1 V_2$
$= \frac{hS}{\frac{2}{5}\frac{\Delta Q S}{Mg + P_0 S} + hS} \Rightarrow \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} = \sqrt{\ldots}$
100 | 100
$1\,м^2 = 10000\,см^2$
$x - 20$
$10000x = 20$
$x = \frac{20}{10000} = \frac{2}{1000} = 0{,}002$

4967042

Черновик



$\frac{6}{10} = \frac{3}{5} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$

$\begin{array}{r} \times 41 \\ 5 \\ \hline 205 \end{array}$

$\begin{array}{r} \times 405 \\ 5 \\ \hline 2025 \end{array}$

$\begin{array}{r} 1{,}21 \\ 11 \\ +\ 11 \\ \hline 1{,}1 \\ \times\ 1{,}1 \\ \hline 1{,}1 \end{array}$

$\begin{array}{r} 24 \\ \times 1{,}7 \\ \hline 168 \\ +24 \\ \hline 40{,}8 \end{array}$

$\begin{array}{r} 1{,}7 \\ 3 \\ \hline 5{,}1 \end{array}$

$\begin{array}{r} 40{,}8 \\ \hline 210{,}1 \end{array}$

$40{,}8 : 410{,}1$

$\begin{array}{r|l} 408 & 2101 \\ \hline -\cancel{400} & 0{,}1941 \\ 4080 & \\ -2101 & \\ \hline 19790 & \\ 18909 & \\ \hline 8810 & \\ 8404 & \\ \hline 4060 & \end{array}$

$\begin{array}{r|l} 408 & 4101 \\ \hline -\ 0 & 0{,}0994 \\ 40800 & \\ -\ 0 & \\ \hline 40800 & \\ 36909 & \\ \hline 38910 & \\ -36909 & \\ \hline 20010 & \end{array}$

$\begin{array}{r|l} 242 & 200 \\ \hline -200 & 1{,}21 \\ 420 & \\ 400 & \\ \hline 200 & \end{array}$

$200 \mid 242$

$\frac{2 \cdot 10^{-5}}{2{,}42 \cdot 10^{-3}}$

1000

$10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 200$

$24{,}2 \cdot 10^{-4} = 2{,}42 \cdot 10^{-3}$

$4{,}2 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} = 4{,}2 \cdot 10^{-4} + 20 \cdot 10^{-4}$

$\frac{252 \cdot 0{,}001}{1200} = \frac{\cancel{252} \cdot 10^{-3}}{\cancel{600}} = 42 \cdot 10^{-5}$

$\begin{array}{r|l} 252 & 6 \\ \hline -24 & 42 \\ 12 & \end{array}$

$200 + 1000$