МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Беспалов Максим Андреевич**

Класс: 11

Технический балл: **89**

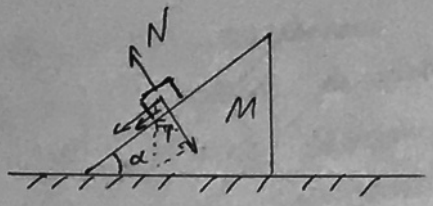
Дата проведения: **26 февраля 2021 года**

ШИФР РАБОТЫ 4987482

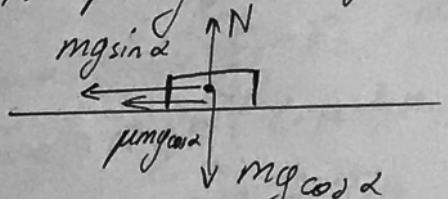
	1	2	3	4	∑
Вопрос	*10*	*8*	*10*	*8*	*89*
Задача	*8*	*15*	*15*	*15*	

Чистовик Страница №1

1.1.1. $M = 1$ кг
$\alpha = 30°$
$h = 20$ см $= 0{,}2$ м
$g = 10$ м/с^2
$\mu = 0{,}6$
$Q - ?$



На брусок действуют три силы: реакции опоры, трения и тяжести. Причём $\vec{F}_{тяж.} = m\vec{g}$ удобно разложить на 2 вектора: вдоль плоскости клина и перпендикулярно. $\Rightarrow$ Брусок давит на клин силой $mg\cos\alpha$ ($N = mg\cos\alpha$); $mg\sin\alpha$ тянет брусок вниз, $\mu \cdot N = \mu mg\cos\alpha$ действует против движения:



Тогда на подъёме брусок имеет ускорение по II закону Ньютона

$$a \cdot m = \frac{mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha}{m} = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$$ относительно клина; сравним $\max F_{тр.}$ и $mg\sin\alpha$ для того, чтобы определить соскальзывает брусок вниз или нет:

$\mu mg\cos\alpha \vee mg\sin\alpha$; $\mu\cos\alpha \vee \sin\alpha$; $\mu \vee \operatorname{tg}\alpha$

$0{,}6 \vee \operatorname{tg}30° = \frac{1}{\sqrt{3}}$ |^2 (положительные числа) $0{,}36 \vee \frac{1}{3}$; $0{,}36 > \frac{1}{3} = 0{,}(3)$.

Значит, $\max F_{тр.} > mg\sin\alpha$, брусок вниз не соскальзывает.

Чистовик Страница №2

1.1.1.

Заметим, что в начальный момент можно считать, что и брусок, и клин лежат на гладкой плоскости, то есть $\sum |F_{трения}| = 0$. Поэтому можно применить закон сохранения импульсов в проекции на горизонталь:

$m \cdot (v_0 \cos\alpha) + M \cdot 0 = (m+M)u$, где u – скорость

Поскольку данных нам достаточно, можно рассмотреть задачу как затормаживание движения по шершавой плоскости на расстояние $S = \frac{h}{\sin\alpha}$.

$S = \frac{v_0 + 0}{2} \cdot t$, причём $v_0 = a \cdot t$. $\frac{h}{\sin\alpha} = S = \frac{at^2}{2} = \frac{v_0^2}{2a}$.

$\frac{v_0^2}{2} = \frac{ah}{\sin\alpha}$ $\Rightarrow E_1 = E_{k1} + E_{n1} = \frac{mv_0^2}{2} + 0$ (берём низ клина за нулевую потенциал. энергию) $=$

$= \frac{mah}{\sin\alpha}$; $E_2 = \underbrace{E_{k_2}}_{\text{бруск остановился}} + E_{n2} = mgh$; $E_1 = Q + E_2$.

$Q = E_1 - E_2 = \frac{mh \cdot a}{\sin\alpha} - mh \cdot g =$

$= mh\left(\frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\sin\alpha} - g\right) = mgh \cdot (1 + \mu\operatorname{ctg}\alpha - 1) = mgh \cdot \mu\operatorname{ctg}\alpha =$

$= 0{,}1 \cdot 10 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{3}$ Дж $= 0{,}12\sqrt{3}$ Дж. Ответ: $0{,}12\sqrt{3}$ Дж (≈ 208 мДж)

(≈ 208 мДж)

Вопросы:

• сила трения покоя равна толкающей вдоль плоскости силе, причём она не превышает $F_{тр.}^{max} = \mu \cdot N$ (N – сила реакции опоры)

Таким образом, происходит компенсация, и тело покоится.

• сила трения скольжения равна $\mu \cdot N$, противонаправлена толкающей силе, но меньше неё по модулю. То есть, несмотря на сопротивление, тело скользит.

• Коэффициент трения – физическая скалярная величина, характеризующая зависимость силы трения между двумя телами. скольжения

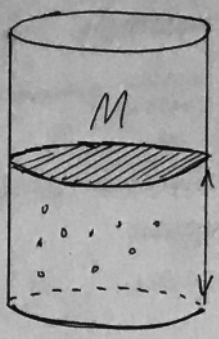
Она безразмерна и обозначается буквой μ.

Чистовик Страница №3

2.6.1.

- $S = 20\ см^2 = 2 \cdot 10^{-3}\ м^2$
- $M = 4\ кг$
- $g = 10\ м/с^2$
- одноатом. идеальный газ
- $h = 1\ м$
- $\Delta Q = 126\ Дж$
- $p_0 = 10^5\ Па$
- $F_{тр.} = 0$

$\alpha = \frac{v_2}{v_1} - ?$



Поршень находится в равновесии, поэтому силы, действующие на него, компенсируются.

$\underbrace{Mg + p_0 \cdot S}_{\text{сила газа сверху и сила тяжести}} = \underbrace{p_1 \cdot S}_{\text{сила снизу}}$

$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$, по уравнению Менделеева-Клапейрона $p_1 V_1 = \nu R T_1$; $p_2 V_2 = \nu R T_2$.

Заметим, что поршень сохраняет равновесие, поэтому $p_2 = p_1$ (процесс изобарический). $\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{S \cdot h_2}{S \cdot h_1} = \frac{h_2}{h_1}$, где h_2 & h_1 – высота поршня над дном ($h_1 = h$).

Значит, $h_2 = \frac{T_2}{T_1} \cdot h_1 = \frac{T_2}{T_1} \cdot h$.

Заметим, что по I началу термодинамики $\Delta Q = \Delta U + A$.

Для изобарного процесса $A = p_1(V_2 - V_1)$; $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T$ ($i = 3$, т.к. газ одноатомный идеальный) $= \frac{3}{2}(\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} p_1 (V_2 - V_1)$; $\Delta Q = A + \Delta U = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) =$

$= \frac{5}{2} p_1 \cdot S(h_2 - h_1) = \frac{5}{2}(Mg + p_0 S)\left(\frac{T_2}{T_1} h - h\right)$; $\frac{T_2}{T_1} = 1 + \frac{2\Delta Q}{5h(Mg + p_0 S)}$;

Заметим также, что $\frac{mv^2}{2} = E_k = \frac{3kT}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$.

$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{3kT_2/m}}{\sqrt{3kT_1/m}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ [m не изменяется; k = const.] $= \sqrt{1 + \frac{2\Delta Q}{5h(Mg + p_0 S)}} = \sqrt{1 + \frac{252}{5 \cdot 240}} =$

$= \sqrt{1 + \frac{21}{5 \cdot 20}} = \frac{11}{10} = 1{,}1$. **Ответ: в 1,1 раза.** **Вопросы:**

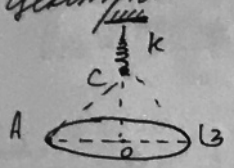
- по I началу термодинамики $\Delta U = Q - A_{газа}$, поэтому для изменения U можно изменить кол-во теплоты, совершить работу над газом (или заставить его её выполнить).

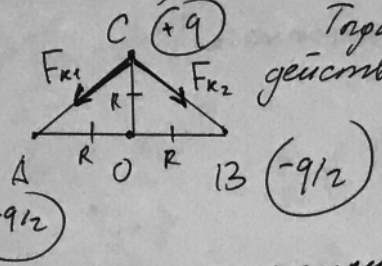
В частности, $U = i/2\ \nu RT$. Можно изменить ν или T вещества.

- внутренняя энергия термодинамической системы – сумма всех кинетических и потенциальных энергий молекул системы; обозначается буквой U и измеряется в Джоулях.

Чистовик Страница №4

3.5.1. Заметим, что кольцо мы можем поделить на две равные дуги с зарядами $\frac{-q}{2}$. Причём их середины будут центрами масс, а лежать они (центры) будут на диаметре.





Тогда на бусинку будут действовать две равные по модулю силы Кулона, которые вдоль горизонтали друг друга компенсируют (т.к. равнобедр. треугольник $\triangle ABC$), а по вертикали складываются и оттягивают бусинку вниз. Значит, на бусинку вниз действует сила $F_0 = F_k \sin 45^\circ + F_k \sin 45^\circ = \sqrt{2} F_k$, где $F_k =$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q| \cdot |-q/2|}{\underbrace{(R\sqrt{2})^2}_{\text{длина } AC=BC}} = \frac{q^2}{16\pi\varepsilon_0 R^2};$$ таким образом

изначально пружина деформирована на x_1 для компенсации силы тяжести & F_0: $kx_1 = mg + F_0$; если избавиться от кольца, то деформация x_0 вместо этого: $kx_0 = mg$. Причём заметим, что именно в x_0 нулевое смещение колебаний и максимал. скорость. То есть по закону сохранения энергии $E = E_{k1} + E_{n1} = E_{k2} + E_{n2}$,

~~$E_{k1} = 0$, $E_{n1} = \frac{k(x_1)^2}{2}$, $E_{k2} = \frac{mv_{max}^2}{2}$, $E_{n2} = \frac{k(x_0)^2}{2}$~~

~~в момент нейтрализации~~ ~~в нулевой смещении~~

~~$\Rightarrow kx_1^2 = mv_{max}^2 + kx_0^2$, $v_{max} = \sqrt{\frac{k(x_1^2 - x_0^2)}{m}} = \sqrt{\frac{(kx_1)^2 - (kx_0)^2}{m \cdot k}}$~~

~~$= \sqrt{\frac{(F_0+mg)^2 - (mg)^2}{mk}} = \sqrt{\frac{F_0 \cdot (F_0 + 2mg)}{mk}}$~~

~~$F_0 = \sqrt{2} F_k = \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2} = \frac{10^{-12}}{8\sqrt{2}\pi \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}04}$ Н $= \frac{1}{8\sqrt{2}\pi \cdot 0{,}36}$ Н~~

~~$v_{max} = \frac{F_0}{\sqrt{mk}} \sqrt{1 + \frac{2mg}{F_0}} = \frac{F_0}{\sqrt{mk}} \cdot 1 +$~~

3.5.1. $E_{k_1} = 0$, т.к. бусинку только отпустила F_0 из-за нейтрализации.

$E_{n_1} = \frac{k(x_1 - x_0)^2}{2}$ [смещение $x_1 - x_0$ относительно нулевого]

$E_{k_2} = \frac{m v_{max}^2}{2}$; $E_{n_2} = 0$ [т.к. смещение нулевое]

$$E = \frac{m v_{max}^2}{2} + 0 = 0 + \frac{k(x_1 - x_0)^2}{2} = \frac{k}{2}\left(\underbrace{\tfrac{1}{k}(F_0 + mg)}_{x_1} - \underbrace{\tfrac{1}{k}(mg)}_{x_0}\right)^2 =$$

$$= \tfrac{k}{2} \cdot \tfrac{1}{k^2} \cdot F_0^2 = \frac{F_0^2}{2k}; \quad v_{max}^2 = \frac{F_0^2}{mk};$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{F_0}{mk}} = \frac{F_k\sqrt{2}}{\sqrt{mk}} = \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{mk}} = \frac{10^{-12}}{8\sqrt{2}\pi \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}04} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{\sqrt{9 \cdot 10^{-2}}} \text{ м/с} = \frac{1000}{72\sqrt{2}\pi \cdot 12} \text{ м/с} = \frac{125}{9\sqrt{2}\pi \cdot 12} \text{ м/с} \approx \frac{1}{37} \text{ м/с} \approx$$

$\approx 2{,}7$ см/с. Ответ: 2,7 см/с.

Вопросы:

- амплитуда – максимальное отклонение от нулевого смещения; измеряется в метрах
- фаза – физическая величина, характеризующая момент колебаний; равна $\varphi = (\omega t + \varphi_0)$, где φ_0 – начал. фаза; измеряется в радианах
- гармоническими колебаниями называются те, в которых отклонение от начального положения характеризуется тригонометрической функцией синуса или косинуса от времени. Пример: $x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$.

*) В данной задаче нет упоминаний о g, поэтому по факту то, что я рассматривал силу тяжести, было лишним. Тем не менее, наглядно видно выше, что g не влияет на ответ, т.к. сокращается.

Черновик N1

2) $p_1 \cdot V_1 = \nu R T_1$

$Q = A + \Delta U$

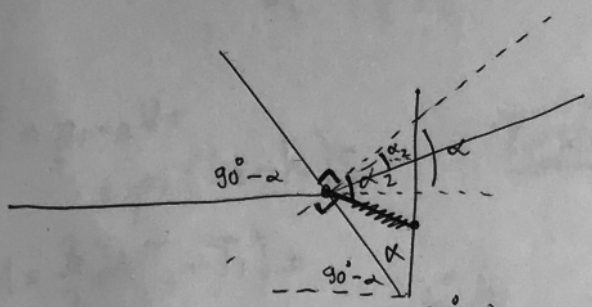
$H = m/c^2 \cdot K2$

$H/m = m/c^2$

$\frac{k}{m} = \frac{H/m}{m} = \frac{1}{c^2} = \omega^2$

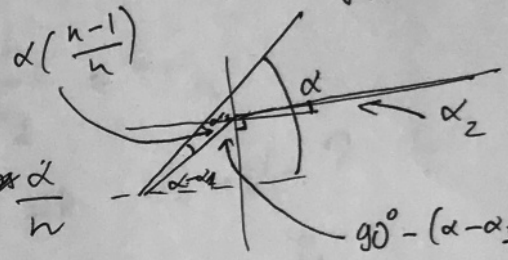
$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$



$1,5 = n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\alpha}{\sin 90} = \frac{\sin 90°-\alpha}{\sin \alpha_1}$

$\sin\alpha_1 = \frac{\cos\alpha}{n} \Rightarrow \alpha_1 \approx \frac{\cos\alpha}{n}$



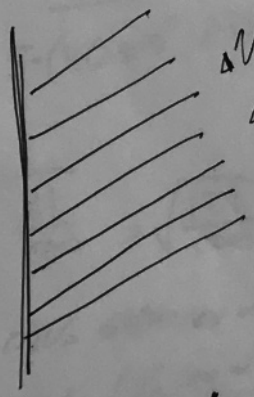
$90° - (\alpha - \alpha_1) =$

$= 90° - (\alpha - \frac{\alpha}{n}) =$

$= 90° - \alpha(\frac{n-1}{n})$

$\frac{\sin(\alpha(\frac{n-1}{n}))}{\sin\alpha_2} = \frac{1}{n}$

$\alpha_2 = n \cdot \alpha(\frac{n-1}{n}) = \alpha(n-1)$



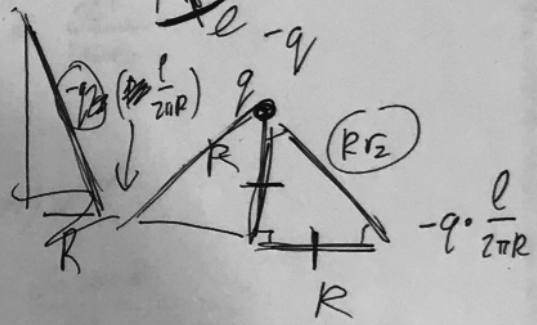
$\Delta U + A = Q$

$\Delta U = Q - A$

$\frac{mv^2}{2} = E = \frac{3kT}{2}$

$v^2 = \frac{3kT}{m}$

$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$



$F_{кул.} = k \cdot \frac{q_1 q_2}{R^2}$

4987482

Черновик №2

$v = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3k}{m}} \cdot \sqrt{T}$

$\Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$.

$\Delta Q = \Delta U + A$

$p_1 = p_2$

$p_1 V_1 = \nu R T_1$

$p_1 V_2 = \nu R T_2$

$A = p_1 \cdot \Delta V =$

$= p_1 (h_2 - h_1) S$

$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_1 V_2}{p_1 V_1} = \frac{V_2}{V_1} =$

$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) =$

$= \frac{S \cdot h_2}{S \cdot h_1} = \frac{h_2}{h_1} = h_2/h$.

$= \frac{3}{2} p_1 (V_2 - V_1) =$

$\Delta Q = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) \Rightarrow$ $V_2 - V_1 - ?$

$h_2 = h \cdot T_2$

$V_2 - V_1 = S(h_2 - \underbrace{h_1}_{h})$

$a = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$

$a \cdot t = v_0$

$\frac{h}{\sin\alpha} = S = \frac{v_0^2}{2a}$

$\frac{252}{5 \cdot (40 + 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3})} = \frac{252}{5 \cdot (40 + 200)} = \frac{252}{5 \cdot 240} = \frac{21}{5 \cdot 20} =$

$= \frac{21}{100}$

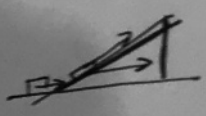
$\sqrt{1 + \frac{21}{100}} = \sqrt{\frac{121}{100}} = \frac{11}{10}$.

$m v_0 \cos\alpha = (M + m) v'$

$v' = (v_0 \cos\alpha) \cdot \frac{0,1}{1,1} = \frac{v_0 \cos\alpha}{11}$

$m v_x = M \cdot a + m \cdot b$

$m \cdot v_x^2 = M a^2 + m b^2$



Черновик N3

$\frac{h}{\sin\alpha} = \frac{v_0^2}{2a} = S$. $v_0^2 = \frac{2ah}{\sin\alpha}$.

$E_1 = \frac{mv_0^2}{2}$ $E_1 = E_2 + Q$

$E_2 = mgh$ $Q = E_1 - E_2 = -m\left(gh - \frac{v_0^2}{2}\right) =$

$= -\frac{m}{2}(2gh - v_0^2) =$

$-2gh + \frac{2ah}{\sin\alpha} = 2h\left(g + \frac{a}{\sin\alpha}\right) = -2h\left(g - \frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\sin\alpha}\right) =$

$= -2gh(1 - (1 + \mu\operatorname{ctg}\alpha)) = \mu\operatorname{ctg}\alpha \cdot 2gh$.

$\frac{m}{2} \cdot 2gh \cdot \mu\operatorname{ctg}\alpha = mgh \cdot \mu \cdot \operatorname{ctg}\alpha =$

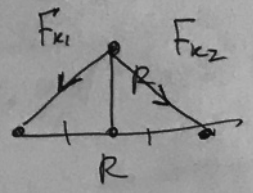
$= 0{,}1\ кг \cdot 10\ Н/кг \cdot 0{,}2\ м \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{3} =$

$120 \cdot 1{,}73 = 12 \cdot 1{,}73 = 0{,}12\sqrt{3}$ Дж.

12
17,3
36
84
12
207,6

4987482

Черновик №4



$$k \cdot \frac{q \cdot q/2}{(R\sqrt{2})^2} = k \cdot \frac{q^2/2}{2R^2} =$$

$$= \frac{kq^2}{4R^2}$$

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$.

$$F_0 = 2 \cdot \left(\frac{kq^2}{4R^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \sqrt{2} \cdot \frac{kq^2}{4R^2} = \frac{kq^2}{2\sqrt{2}R^2} = \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2}$$

$$mg + \underbrace{\frac{kq^2}{2\sqrt{2}R^2}}_{F_0} = k \cdot \Delta x_2$$

$$mg = k \cdot \Delta x_1$$

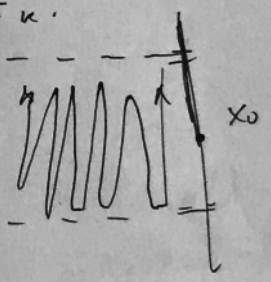
$x = A \sin \omega t$

$v = \dot{x} = A \cdot \cos \omega t \cdot \omega$

$v \to v_{max}$ при $\cos \omega t = 1$, т.е. $t = 0$.

$\Delta x_2 \Rightarrow \Delta x_1$

пот. энергия пружины переходит в $E_к$.



$$\Delta E_{k0} = \frac{m v_{max}^2}{2} =$$

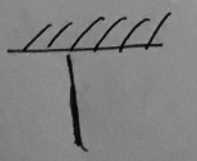
$$= \frac{k(x_2 - x_0)^2}{2} =$$

$m = q/2$

$$\frac{0{,}18 \cdot 0{,}36 \cdot 8\sqrt{2}\pi}{} = \frac{k}{2}\left(\frac{1}{k}(F_0 + mg - mg)\right)^2 = \frac{k}{2}\left(\frac{F_0}{k}\right)^2 =$$

$$= \frac{F_0^2}{2k}$$

$$v_{max}^2 = \frac{F_0^2}{mk}, \quad v_{max} = \frac{F_0}{\sqrt{mk}} = \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R^2 \cdot \sqrt{mk}} =$$



0,018
→ 0,18.

$$= \frac{1}{8\sqrt{2}\pi \cdot 0{,}36} + 18 \cdot 10^{-2} = \frac{F_0}{\sqrt{mk}} \cdot \sqrt{1 + \frac{2mg}{F_0}}$$

Черновик N5.

$$\frac{(10^{-6})^2}{8\sqrt{2}\cdot\pi\cdot 9\cdot 10^{-12}\cdot 0{,}04\cdot\sqrt{9\cdot 10^{-2}}} = \frac{1}{8\sqrt{2}\pi\cdot 9\cdot 0{,}04\cdot 0{,}3} =$$

$$= \frac{1}{72\sqrt{2}\pi\cdot 0{,}012}\ м/с = \frac{1000}{72\sqrt{2}\pi\cdot 12}\ м/с =$$

$$= \frac{125}{9\sqrt{2}\pi\cdot 12}\ м/с \approx \frac{\cancel{125}}{\cancel{125}\cdot 12\pi}\ м/с = \frac{1}{12\pi}\ м/с$$

$150+36=186$

$$\begin{array}{r} 1{,}4 \\ 9 \\ \hline 36 \\ 9 \\ \hline 12{,}6 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 12 \\ \times\ 3{,}1 \\ \hline 12 \\ 36 \\ \hline 37{,}2 \end{array} \qquad 1 \ \Big|\ \underline{37{,}2}$$

$$\frac{5}{186} = \frac{1}{}$$

$$\begin{array}{r|l} 185 & 5 \\ \underline{15} & 37 \\ 35 & \end{array}$$

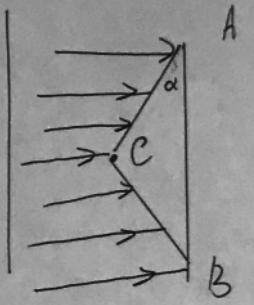
$$\begin{array}{r|l} 100 & 37 \\ \underline{74} & 0{,}0270 \\ 260 & \\ \underline{259} & \\ 10 & \end{array}$$

$Q = \Delta U + A$

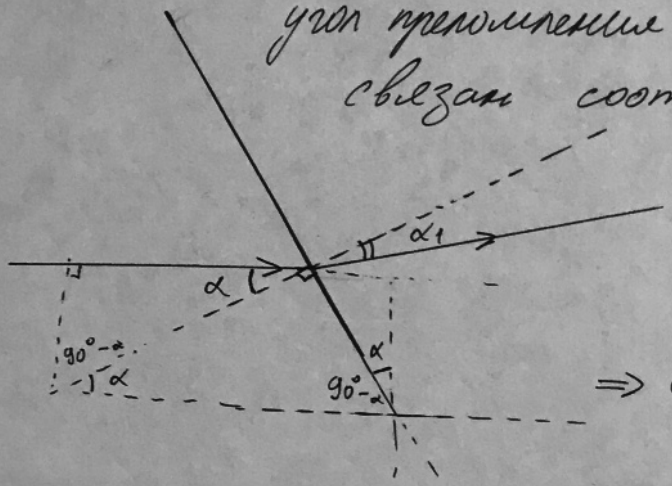
$\Delta U = Q - A.$

Чистовик Страница №6

4.3.1. $\alpha = 0{,}1$ рад.
$\alpha \to 0$
$d = 5$ см
$n = 1{,}5$.



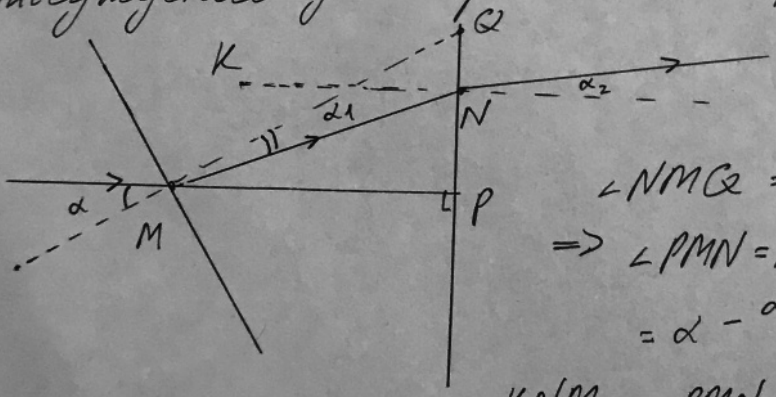
Рассмотрим то, как преломляется луч, проходящий через точку отрезка BC. Угол падения из геометрич. соображений равен α; угол преломления α_1 же из закона связан соотношением



$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_1} = n^{+1};$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_1} \approx \frac{\alpha}{\alpha_1},$$ т.к. малые углы.

$$\Rightarrow \alpha_1 = \frac{\alpha}{n}.$$ Повторим рассуждение для преломления обратно наружу.



$\angle PMQ = \alpha$ (вертикал. угол),

$\angle NMQ = \alpha_1$ (см. ранее)

$\Rightarrow \angle PMN = \angle PMQ - \angle NMQ =$

$= \alpha - \alpha_1 = \alpha - \frac{\alpha}{n} = \alpha\left(\frac{n-1}{n}\right).$

$\angle KNM = \angle PMN = \alpha\left(\frac{n-1}{n}\right)$, т.к. накрест лежащие для || прямых MP & KN, при секущей MN. $\angle KNM$ – искомый угол падения.

*) M & N – точки преломлений; P – проекция M на правую стенку, MQ & KN – перпендикуляры к преломляющей поверхности.

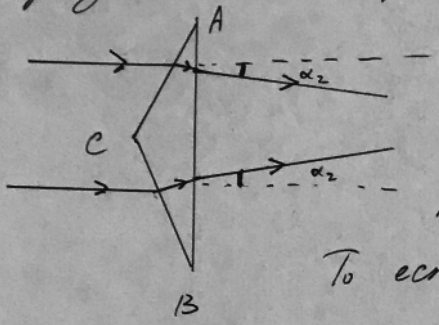
$\frac{\sin\angle KNM}{\sin\alpha_2} = n^{-1}$ (опять же закон преломления, причём n^{-1}, т.к. переход стекло → воздух)

Чистовик Страница №7

4.3.1. Продолжение.

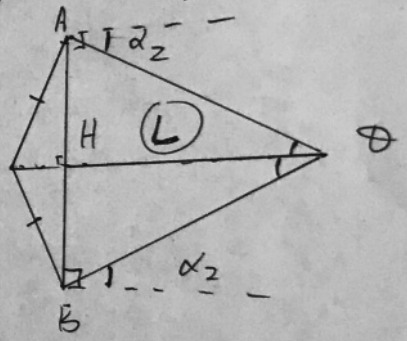
Т.к. малые углы, $\frac{\sin\angle KNM}{\sin\alpha_2} \approx \frac{\angle KNM}{\alpha_2} = \frac{\alpha\left(\frac{n-1}{n}\right)}{\alpha_2}$.

Значит, $\frac{1}{n} = n^{-1} = \frac{\alpha\left(\frac{n-1}{n}\right)}{\alpha_2}$; $\alpha_2 = n \cdot \alpha\left(\frac{n-1}{n}\right) = \alpha(n-1)$ - итоговый угол преломления для нижней половины призмы. Для верхней – аналогично, но в другую направлению.



Лучи же образуются от верхней и нижней половин, причём лучи ~~прошли~~ разных половинок пересекаются тем дальше, чем ближе они к A и B.

То есть все лучи пересекутся к расстоянию L, где L – высота треугольника $\triangle ABD$.



Угол $\angle DBH = 90° - \alpha_2$ (см. рис.)

$\Rightarrow L = DH = BH \operatorname{tg}\angle DBH = \frac{AB}{2} \cdot \operatorname{tg}(90° - \alpha_2) =$

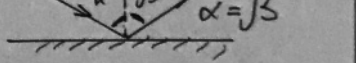
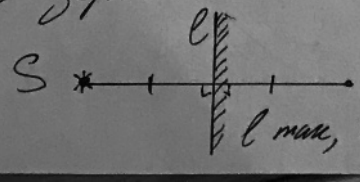
$= \frac{d}{2} \operatorname{ctg}\alpha_2$. Альтернативно,

$\angle BDH = 90° - \angle DBH = \alpha_2 \Rightarrow \alpha(n-1) = \alpha_2 \approx \operatorname{tg}\alpha_2 = \operatorname{tg}\angle BDH =$

$= \frac{BH}{DH} = \frac{d/2}{L} = \frac{d}{2L}$; $L = \frac{d}{2\alpha(n-1)} = \frac{5\text{ см}}{0{,}1 \cdot 2 \cdot (1{,}5-1)} =$

$= \frac{5\text{ см}}{0{,}1} = 50\text{ см}$. Ответ: 50 сантиметров.

Вопросы: • отражённый и падающий лучи лежат в одной плоскости, причём угол отражённого луча и перпендикуляра и угол падающего к перпендикуляру равны.



• плоское зеркало соответствует осевой симметрии: то есть изображение S' получается удваиванием перпендикуляра к l так, что l - средин. перп. SS'.