МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Рогов Константин Сергеевич**

Класс: 11

Технический балл: **84**

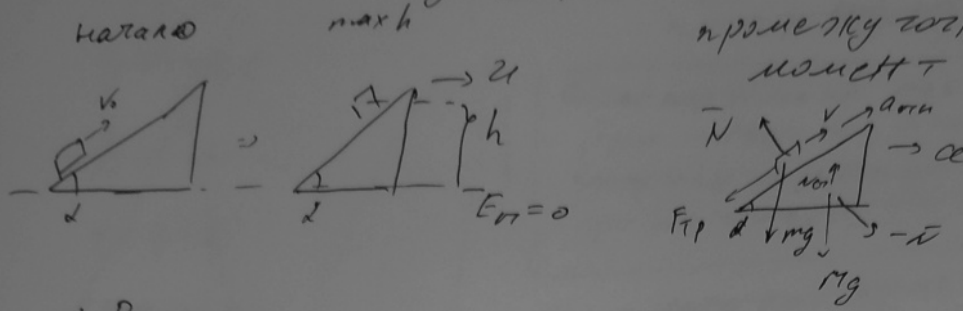
Дата проведения: **26 февраля 2021 года**

ШИФР РАБОТЫ 4458716

	1	2	3	4	∑
Вопрос	*8*	*8*	*10*	*9*	*84*
Задача	*4*	*15*	*15*	*15*	

Чистовик

Задача 1



1) Рассмотрим систему „брусок + клин"

По Закону об изменении механ. энергии для процесса подъёма бруска на максимальную высоту

$A_{тр_1} + A_N = E_2 - E_1$,

$A_N = 0$, т.к. сила реакции со стороны поверхности клина и бруска - внутренняя упругая сила.

E_2 - энергия системы в положении „max h"

E_1 - в начале.

$E_2 = mgh + \frac{mu^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}$

$E_1 = \frac{mV_0^2}{2}$

По ЗСИ для той же системы и для того же процесса в проекции на горизонтальную ось (выполнен т.к. внешние силы вертикальны).

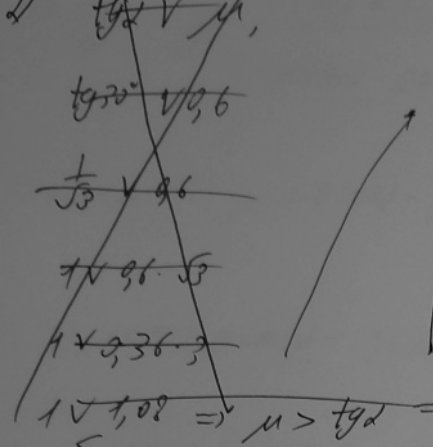
$mV_0 \cos\alpha = (m+M)u \rightarrow \frac{mV_0\cos\alpha}{m+M} = u \Rightarrow$

$A_{тр_1} = E_2 - E_1 \Rightarrow E_2 - E_1 = mgh + \frac{(m+M)}{2}u^2 - \frac{mV_0^2}{2} =$

$= mgh + \frac{(mV_0\cos\alpha)^2}{2(M+m)} - \frac{mV_0^2}{2} \Rightarrow A_{тр} = mgh + \frac{(mV_0\cos\alpha)^2}{2(M+m)} - \frac{mV_0^2}{2}$

Листовик
№1 (продолжение)

2) ~~tg α ∨ μ;~~ (~~Док-во этого факта смотреть на стр 75) 16)~~

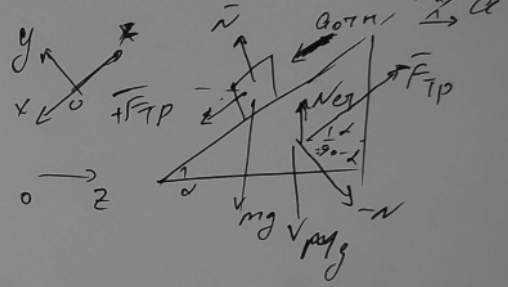


⇒ μ > tgα ⇒

После подъёма на max h брусок поедет вниз, и пройдёт по клину такое же расстояние как и при подъёме, т.к. стол гладкий

~~После того как брусок поднимется на h, он так и остановится, спуск не будет.~~

3) Рассмотрим систему в промежуточный момент



2ЗН для бруска

$$\begin{cases} OX: & mg\sin\alpha + F_{тр} = m(a_{отн} - a\cos\alpha) \\ OY: & N - mg\cos\alpha = -ma\sin\alpha \end{cases}$$

2ЗН для ~~клина~~ системы

~~$$\begin{cases} OZ: & F_{тр}\cos\alpha + N\sin\alpha = Ma \end{cases}$$~~

$$OZ: \quad 0 = (m+M)a - m a_{отн}\cos\alpha$$

Как известно сила трения скольжения $F_{тр} = \mu N \Rightarrow$

Имеем:

$$\begin{cases} mg\sin\alpha + \mu N = m(a_{отн} - a\cos\alpha) \\ N - mg\cos\alpha = -ma\sin\alpha \\ (m+M)a = m\,a_{отн}\cos\alpha \end{cases} \rightarrow a_{отн} = \frac{(m+M)a}{m\cos\alpha}$$

$$\begin{cases} mg\sin\alpha + \mu N = m\left(\frac{(m+M)a}{m\cos\alpha} - a\cos\alpha\right) \\ N - mg\cos\alpha = -ma\sin\alpha \end{cases} \cdot -\mu$$

$$\begin{cases} mg\sin\alpha + \mu N = \left(\frac{(m+M)}{\cos\alpha} - m\cos\alpha\right)a \\ \mu mg\cos\alpha - \mu N = \mu ma\sin\alpha \end{cases} \oplus$$

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

4458716

Листовик

№1 (продолжение)

$$a = g\,\frac{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} \rightarrow$$

$$\mu N = \mu mg\cos\alpha - \mu ma\sin\alpha = \mu m\left(g\cos\alpha - \sin\alpha\,\frac{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}\right) =$$

$$= \mu m\left(g\cos\alpha - \sin\alpha\, g\,\frac{\sin\alpha+\mu\cos\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}\right) =$$

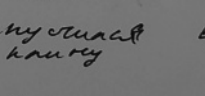
$$= \mu m g\left(\frac{\mu\cos\alpha\sin\alpha-\cos^2\alpha+\frac{M+m}{m}-\sin^2\alpha-\mu\cos\alpha\sin\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{\cos\alpha\, m}}\right) =$$

$$= \mu mg\,\frac{\frac{M+m}{m}-1}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} \Rightarrow$$

$$F_{тр} = \mu N = \mu g\,\frac{M+m-m}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} = \frac{\mu M g}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}$$

Как известно суммарная работа сил трения в системе

$$A_{тр_2} = -F_{тр}\,S_{отн}, \qquad S_{отн} = 2\frac{h}{\sin\alpha} \rightarrow$$



2 "возникает из-за того, что брусок ещё и скользит по клину"

$$A_{тр_2} = -\frac{\mu Mg}{\mu\sin\alpha+\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}\,\frac{2\cdot h}{\sin\alpha} \rightarrow$$

$$A_{тр_1} = E_2 - E_1 = \frac{\mu Mgh}{\left(\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}\right)\sin\alpha} = mgh + V_0^2\left(\frac{(m\cos\alpha)^2}{2(M+m)}-\frac{m}{2}\right) -$$

$$gh\left(\frac{\mu M}{\left(\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}\right)\sin\alpha}+m\right) = \frac{V_0^2}{2}\left(\frac{(m\cos\alpha)^2}{M+m}-m\right) =$$

$$= \frac{V_0^2}{2(M+m)}\cdot\left(m^2+Mm-m^2\cos^2\alpha\right) = \frac{V_0^2\left(m^2\sin^2\alpha+Mm\right)}{2(M+m)}$$

~~№1~~ Чистовик

№1 продолжение

А ещё как известно, тепло выделявшийся в системе

$$Q = -A_{тр} = -(-F_{тр} S_{отн}) = \frac{\mu M g}{\mu \sin\alpha - \cos\alpha + \frac{M+m}{m\cos\alpha}} \frac{2h}{\sin\alpha} =$$

$$= \frac{0{,}6 \cdot 1\,кг \cdot 10\,м/с^2 \quad 0{,}2\,м \quad \cdot 2 \cdot 2}{\left(0{,}6 \cdot \frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1{,}1 \cdot 2}{0{,}1 \cdot \sqrt{3}}\right) \cdot 1} = \frac{6 \cdot 0{,}4 \cdot 2\ Дж}{\frac{1}{2}\left(0{,}6 - \sqrt{3} + \frac{4{,}4}{\sqrt{3}}\right)}$$

$$= \frac{4{,}8\ Дж \cdot 2}{0{,}6 - \sqrt{3} + \frac{4{,}4}{\sqrt{3}}} \approx 2 \cdot \frac{4{,}8\ Дж}{0{,}6 - 1{,}73 + \frac{4{,}4}{1{,}73}} \ominus \quad 4{,}8$$

$\cancel{1{,}73^2 =}$ $1{,}73^2 = 2{,}8900 + \overset{0{,}0009}{\cancel{9}} + 0{,}1020 = 2{,}9929$

$$\begin{array}{r|l} 4{,}40 & 1{,}73 \\ 346 & \overline{2{,}54} \\ \hline 940 & \\ 865 & \\ \hline 750 & \\ 692 & \\ \hline 58 & \end{array} \Rightarrow$$

$$\ominus \frac{2 \cdot 4{,}8\ Дж}{-1{,}13 + 2{,}54} =$$

$$\begin{array}{r} 2{,}54 \\ -\ 1{,}13 \\ \hline 1{,}41 \end{array}$$

$$= \frac{2 \cdot 4{,}8\ Дж}{1{,}41} \approx 3{,}4\ Дж \cdot 2 =$$

$$= 6{,}8\ Дж$$

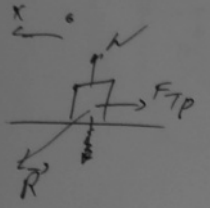
$$\begin{array}{r|l} 480 & 141 \\ 423 & \overline{3{,}40} \\ \hline \cancel{570} & 570 \\ \cancel{423} & 564 \\ \hline \cancel{147} & 60 \end{array}$$

Ответ: ~~3,4 Дж~~ 6,8 Дж

Числовик

Вопрос к задаче 1.

Если тело находится на шероховатой поверхности, на него действуют внешние силы $\vec{R}$ и оно покоится, то по 2 ЗН на ОХ



$R_x - F_{тр} = 0 \Rightarrow$ сила трения покоя $F_{тр\,пок} = R_x$ - проекция всех сил действующих на тело (кроме $\vec{N}$ и $\vec{F}_{тр}$), но при этом максимальное значение силы трения покоя $= \mu N$;

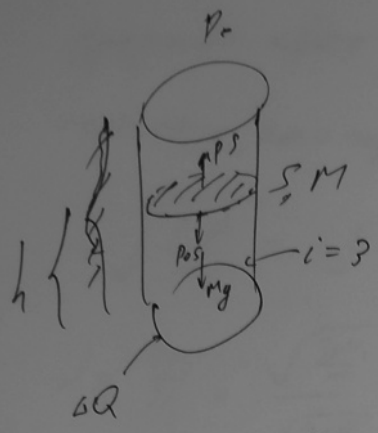
N - сила реакции опоры той же, со стороны которой действует $\vec{F}_{тр}$. И направлена сила трения покоя, против возможного направления проскальзывания.

Если же тело скользит по шероховатой поверхности, то на тело против его относительной скорости относительно данной поверхности будет действовать сила трения скольжения $F_{тр\,скол} = \mu N$, где μ - коэффициент трения, N - сила реакции опоры. $\Rightarrow$

$\mu = \dfrac{F_{тр\,ск}}{N}$, μ - безразмерный коэффициент равный отношению $F_т$ силе трения скольжения к силе реакции опоры, действующей от той же поверхности, что и сила трения.

Чистовик

№2



1) 2ЗН для поршня в начале и конце и в промежуточный момент на вертикальную ось:

$$\begin{cases} \text{нач} & Mg + p_0S = p_1S \\ \text{кон} & Mg + p_0S = p_2S \\ & Mg + p_0S = pS = \end{cases} \Rightarrow$$

$$p = p_1 = p_2 = p_0 + \frac{Mg}{S} = const$$

2) Пусть после подведения теплоты поршень сместился на Δh вверх, тогда по первому началу термодинамики

$$\Delta Q = \delta A + \Delta U;$$

δA – работа газа по перемещению поршня вверх, по определению работы, т.к. $F_{газ} = pS = const \rightarrow$

$$\delta A = F_{газ}\Delta h = pS\Delta h = \left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right)S\Delta h = (p_0S + Mg)\Delta h$$

ΔU – изменение внутренней энергии газа в данном процессе

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T = \frac{i}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}\overset{p\Delta V}{\cancel{(p_2V_2 - p_1V_1)}} =$$

$$= \cancel{\frac{3}{2}p(V_2 - V_1) = \frac{3}{2}} = \frac{3}{2}p\Delta(Sh) = \frac{3}{2}pS\Delta h \Rightarrow$$

$$\Delta Q = \delta A + \Delta U; \quad \Delta Q = pS\Delta h + \frac{3}{2}pS\Delta h = \frac{5}{2}pS\Delta h \rightarrow \Delta h = \frac{2Q}{5pS};$$

Ур-ние состояния идеального газа

$pV = \nu RT$; продифференцируем его, учтя, что $p = const \rightarrow$

$$pdV = \nu R\,dT \rightarrow dT = \frac{pdV}{\nu R} = \frac{pS\Delta h}{\nu R} = \frac{2Q}{5\nu R};$$

6

Числовик

№ 2 (продолжение)

~~Средняя квар~~ Среднеквадратичная скорость молекул, как известно, равна $u = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} =$

$= \sqrt{\frac{3pV}{\nu M}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \Rightarrow$

$\alpha = \frac{u_2}{u_1} = \frac{\sqrt{\frac{3pV_2}{m}}}{\sqrt{\frac{3pV_1}{m}}} = \sqrt{\frac{V_2}{V_1}} = \sqrt{\frac{S(h+\Delta h)}{Sh}} = \sqrt{1+\frac{\Delta h}{h}} =$

$= \sqrt{1+\frac{2Q}{5pSh}} = \sqrt{1+\frac{2 \cdot 126\ \text{Дж}}{5 \cdot}} \quad \sqrt{1+\frac{2Q}{5(p_0 S + mg)\, h}} =$

$= \sqrt{1+\frac{2 \cdot 126\ \text{Дж}}{5(10^5\ \text{Па} \cdot 20 \cdot 10^{-4}\ \text{м}^2 + 4\ \text{кг} \cdot 10\ \text{м/с}^2)\, 1\ \text{м}}} =$

$= \sqrt{1+\frac{2 \cdot 126}{5 \cdot (200+40) \cdot 1}} = \sqrt{1+\frac{252}{5 \cdot 240}} = \sqrt{1+\frac{252}{1200}} =$

$= \sqrt{\frac{1452}{1200}} \Rightarrow$

1452	1200
1200	1,21
2520	
2400	
1200	
1200	
0	

$\alpha = \sqrt{1,21} = 1,1$

Ответ: $\alpha = 1,1$

Учебник

Вопрос к задаче 2

Внутренняя энергия термодинамической системы – это кинетическая энергия всех её частиц (характеризуется температурой) и потенциальная энергия взаимодействия её частей. Для идеального газа принято считать, что потенциальная энергия взаимодействия молекул газа = 0,

По первому началу термодинамики

$Q = A + \Delta U$, Q - тепло, если подводится, то $Q > 0$, если отводится, то $Q < 0$, A - работа совершаемая термодинамической системой, ΔU - изменение внутренней энергии системы =>

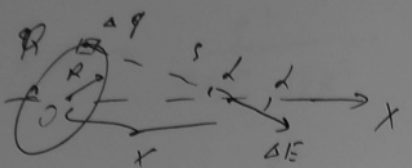
$\Delta U = Q - A$,. Для того, чтобы изменить U, можно

1) либо подвести/отвести тепло

2) либо „заставить" систему совершить работу.

№3 Чистовик

1) Рассмотрим электрическое поле, создаваемое кольцом на его оси.



Рассмотрим маленький кусочек Δq
В силу симметрии кольца напряжённость поля ~~то, только~~ поля будет направлена вдоль оси Ox;
Рассмотрим маленький фрагмент кольца Δq;
она создаёт напряжённость $\Delta E_x = \frac{k\Delta q}{s^2}\cos\alpha = \frac{k\Delta q}{x^2+R^2}\cos\alpha$

$= \Delta E\cos\alpha = \frac{k\Delta q}{s^2}\cos\alpha = \frac{k\Delta q}{x^2+R^2}\cdot\frac{x}{\sqrt{x^2+R^2}}$

Суммарная напряжённость

$E_x = \sum \Delta E_x = \sum \frac{k\Delta q\, x}{(x^2+R^2)^{3/2}} = \frac{kx}{(x^2+R^2)^{3/2}}\sum \Delta q =$

$= \frac{kqx}{(R^2+x^2)^{3/2}}$

2) Рассмотрим бусинку в положении равновесия
Т.к. бусинка и кольцо разных знаков то они притягиваются ⇒ пружина должна быть растянута. =)

По ВЗН для бусинки:

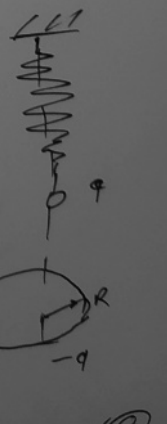
$F_{упр} = F_{эл} + F_{mg}$, $F_{упр} = k^*\Delta x$ (закон Гука)

~~(k* - жёсткость)~~

$F_{эл} = |q\cdot E| = \left|q\frac{k\tilde{q}\cdot h}{4\pi\varepsilon_0(h^2+R^2)^{3/2}}\right| = \frac{k^*q^2h}{4\pi\varepsilon_0(h^2+R^2)^{3/2}} \overset{h=R}{=} \frac{k^*q^2R}{2^{3/2}\cdot R^3}\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

$E(x)=E(h)$

$F_{mg} = mg$ - сила тяжести



(9)

числовик

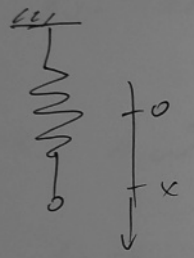
№ 3 (продолжение)

~~$k\Delta x = \frac{kq^2R}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{8}R^3} \to \Delta x = \frac{kq^2}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{8}R^2k}$~~

$$k\Delta x = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{8}R^2} + mg$$

$$\Delta x = \left(\frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2} + mg\right)\frac{1}{k}$$

3) Рассмотрим колебания после нейтрализации заряда Кольца. ~~Пусть 0~~



Направим ось Ox вниз

0 – положение ненапряжённой пружины

Пусть x – абсцисса бусинки

По 2ЗН для бусинки

Ox: $mg - kx = ma_x \to a_x + \frac{k}{m}x = g; \Rightarrow$

~~$x = \Delta x$~~ будут происходить колебания ~~вокруг~~ с циклической частотой $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ и вокруг положения равновесия $x_1 = \frac{g}{\omega^2} = \frac{mg}{k}$.

Т.к. будут происходить колебания, то связь амплитуды скорости и смещения из положения равновесия:

$V_{max} = \omega A$, A – амплитуда смещения.

~~Т.к. $A = |\Delta x - x_1|$, т.к. в начале скорости не было (когда нейтр~~

Чистовик

№ 3 (продолжение)

Т.к. когда нейтрализовали заряд кольца скорости у бусинки не было, то это положение и будет амплитудным для дальнейших колебаний

$$A = \Delta x - x_1 = \left(\frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2 k} + \frac{mg}{k}\right) - \frac{mg}{k} =$$

$$= \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2 k} \rightarrow$$

$$V_{max} = A\omega = \frac{q^2}{8\sqrt{2}\pi\varepsilon_0 R^2 k}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 R^2}\cdot\frac{1}{\sqrt{2km}} =$$

$$= \frac{(10^{-6}\,k_л)^2}{8\cdot 3{,}14\cdot 9\cdot 10^{-12}\,\Phi/м\cdot(0{,}2\,м)^2}\;\frac{1}{\sqrt{2\cdot 10\,Н/м\cdot 9\cdot 10^{-3}\,кг}} =$$

$$\approx \frac{1}{8\cdot 3\cdot 9\cdot 4\cdot 10^{-2}}\;\frac{м/с}{\sqrt{2}\cdot 3\cdot 10^{-2}} = \frac{1000}{32\cdot 81\cdot\sqrt{2}}\,м/с =$$

$$= \frac{250\,м/с}{8\cdot 81\cdot\sqrt{2}} = \frac{125\,м/с}{4\cdot 81\sqrt{2}} \quad \frac{125}{324\cdot\sqrt{2}}\,м/с \approx 0{,}2753\,м/с = 27{,}5\,см/с$$

$324\sqrt{2} \approx 1{,}4\cdot 324 = 324 + 129{,}6 = 453{,}6 \approx 454$

1250	454
908	0,2753
3420	
3178	
2420	
2270	
150	

1250	454
908	0,253
2420	
2270	
1509	
1362	
138	

Ответ: ~~25,3 см/с~~

Ответ: 27,5 см/с

(11)

Чистовик

Вопрос к 3ей задаче.

Колебания, происходящие по гармоническому закону называются, гармоническими колебаниями.

гармонический закон - это sin или cos.

В случае гармонических колебаний, колеблемая величина ~~меня~~ со временем меняется:

$z(t) = z_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$, z - колеблемая величина,

z_0 - амплитуда колебаний, ω - циклическая частота колебаний, φ_0 - начальная фаза

Уравнение гармонических колебаний $z'' + \omega^2 z = 0$

(или $z'' + \omega^2 z = \omega^2 z_1$, где z_1 - это величина z в положение равновесия)

Фазой гармонических колебаний называется аргумент sin или cos: $\omega t + \varphi_0$.

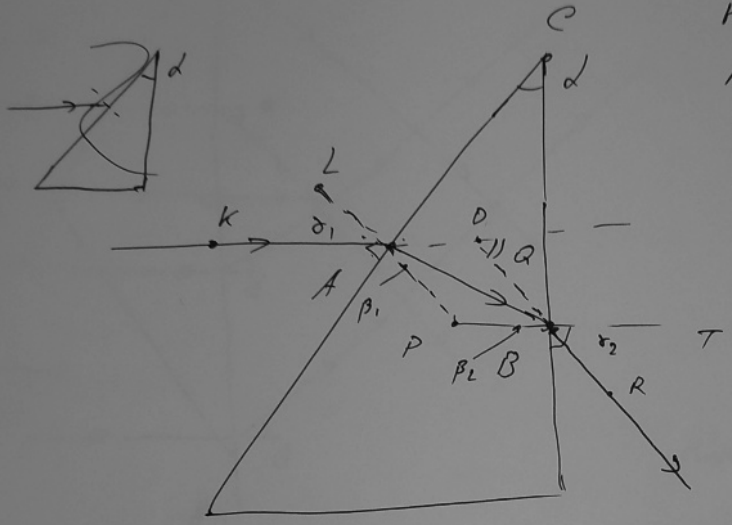
Амплитуда колебаний максимальное отклонение z от z_1 - величина z в положение равновесия.

12

Чистовик

№4

1) Рассмотрим ход одного из лучей в верхней призме (в нижней — всё будет симметрично)



Найдём Q — угол на который отклонился луч после прохождения призмы от начального направления.

~~Пусть~~

Т.к. $\alpha \ll 1$, то и угол падения будет малым, а все ~~уг~~ нужные углы будут малыми.

Пусть

$\angle KAL = \gamma_1$

$\angle RBT = \gamma_2$

$\angle BAP = \beta_1$

$\angle PBA = \beta_2 \Rightarrow$

По закону Снэлиуса: $1 \cdot \sin\gamma_1 = n \sin\beta_1$, т.к. $\gamma_1, \beta_1 \ll 1 \rightarrow$

$\gamma_1 = \beta_1 n$, аналогично $\gamma_2 = n\beta_2$

$\angle DAB = \angle DAP - \angle BAP = \angle LAK - \angle BAP = \gamma_1 - \beta_1 = \beta_1(n-1)$

аналогично $\angle DBA = (n-1)\beta_2$;

$\angle Q = \angle DAB + \angle DBA = (n-1)\beta_1 + (n-1)\beta_2 = (n-1)(\beta_1+\beta_2)$

из $\triangle ABP$: $\angle APB = 180 - \angle PAB - \angle PBA = 180 - \beta_1 - \beta_2$, а ещё т.к. ACBP вписан $\angle APB = 180 - \angle ACB = 180 - \alpha \Rightarrow$

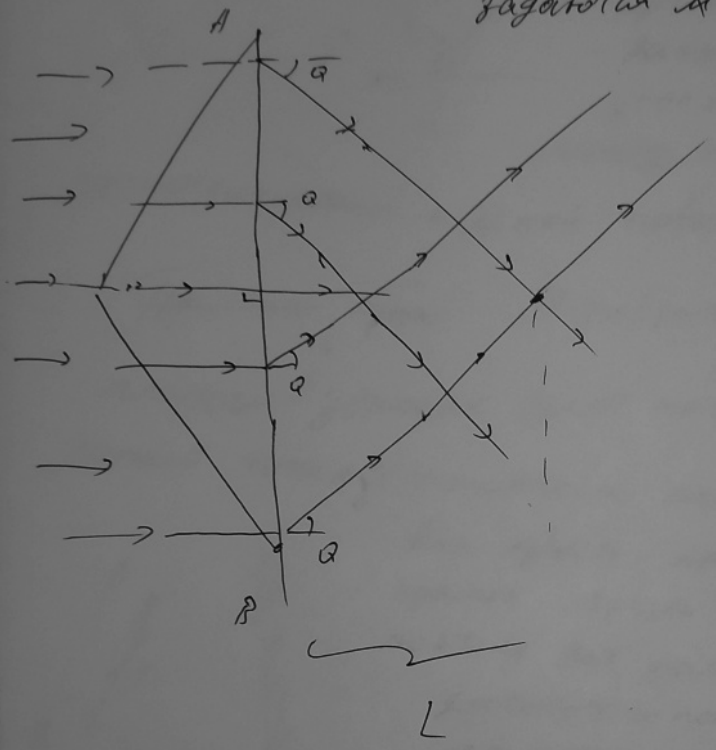
$180 - (\beta_1+\beta_2) = 180 - \alpha \rightarrow (\beta_1+\beta_2) = \alpha \rightarrow$

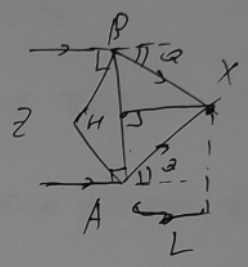
$\angle Q = (n-1)(\beta_1+\beta_2) = (n-1)\alpha$

13

№4 (продолжение) Чистовик

2) Как видно из картинки, крайнюю точку где пучки ещё перекрываются задаются именно крайними лучами, вышедшими из точек A и B.





Как видно в $\triangle ABX$

$\angle XBA = \angle XAB = 90 - Q \Rightarrow$

$\triangle BAX$ – р/б $\Rightarrow$

XH – высота и медиана $\Rightarrow$

$$L = XH = BH \cdot tg\,Q(90-Q) = \frac{d}{2}\,tg(90-(n-1)\alpha) = \frac{d}{2}\,ctg((n-1)\alpha) \Rightarrow$$

$$L\,tg((n-1)\alpha) = \frac{d}{2} \rightarrow \text{т.к. } \alpha \ll 1: L(n-1)\alpha = \frac{d}{2} \rightarrow$$

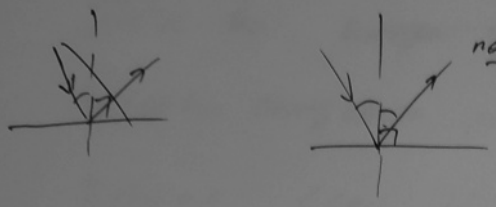
$$L = \frac{d}{2(n-1)\alpha} = \frac{5\text{ см}}{2\cdot(1{,}5-1)\cdot 0{,}1\text{ рад}} = \frac{5\text{ см}}{2\cdot\frac{1}{2}\cdot 0{,}1} = 50\text{ см}$$

Ответ: 50 см.

Числовик

Вопрос к Задаче 4.

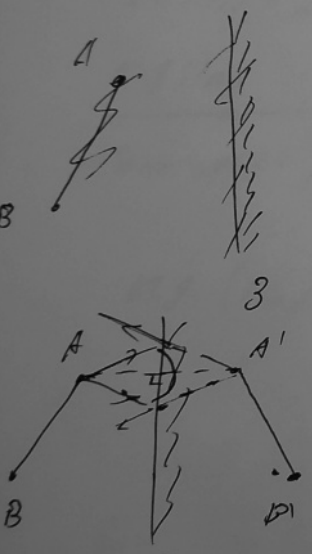
Закон отражения: угол падения = углу отражения



угол падения - угол между падающим лучом и перпендикуляром к данной поверхности

угол отражения - угол между отражённым лучом и перпендикуляром к данной поверхности.

~~При пог Пра~~ Изображение точки в плоском зеркале будет находиться симметрично данной точке относительно плоскости зеркала.



Как известно при отражение относительно прямой отрезок переходит в отрезок, поэтому для построения A'B' - изображения AB достаточно получить точки A', B' и ~~соединить~~ соединить их. Чтобы получить A', надо ~~опустить серед циркуля раствора больше~~ чем расстояние опустить перпендикуляр на плоскость зеркала (~~для этого ножку циркуля поставить в т. A. и нарисовать окружность~~, и продлить его на такую же длину.

~~Из~~ B' - изображение B получается аналогично. Далее соединяем A' и B' это будет A'B'.

A'B' - изображение AB является мнимым т.к. получено на пересечении продолжений лучей, а не самих лучей.

A'B' - изображение в натуральную величину т.к. A'B' симметрично AB относительно пл-ти зеркала. И A'B' прямое изображение. в силу той же симметричности

Черновик ~~Чистовик~~ Черновик.

№1 (продолжение)

Док-во: ~~когда скорости~~ условие того, что бруска окажется максимальной высоте $\Leftrightarrow$ $V_{отн}=0$ если $V_{отн}=0$, то брусок уже не сможет давить на клин, чтобы „передать" ему скорость.

~~$mg\sin\alpha\ V$~~

$$N\sin\alpha + \mu N\cos\alpha \overset{?}{=} Ma$$

$$\frac{mg\sin\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} + \frac{\mu mg\cos\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} \overset{?}{=} Ma =$$

$$= M\,\frac{mg}{\frac{M+m}{m}-1}$$

$$mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha) = M\,\mu mg\left(\frac{M+m}{m}-1\right)$$

$$= Mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha) \quad \checkmark$$

$$Q = F_{тр}\,s_{отн} =$$

$$F_{тр} = \mu N = \mu m(g\cos\alpha - a\sin\alpha) =$$

$$= \mu m\left(g\cos\alpha - g\,\frac{(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)\sin\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}\right) =$$

$$= \mu m\,\frac{g\mu\cos\alpha\sin\alpha - g\cos^2\alpha + \frac{M+m}{m\cos\alpha}g\cos\alpha - g\sin^2\alpha - g\mu\cos\alpha\sin\alpha}{\mu\sin\alpha-\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} =$$

$$= \mu mg\,\frac{\frac{M+m}{m}-1}{\mu\sin\alpha+\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}} = \mu Mg\,\frac{\frac{M+m}{m}-1}{\mu\sin\alpha+\cos\alpha+\frac{M+m}{m\cos\alpha}}$$

(18)

Черновик Черновик

$$mg\sin\alpha \underset{<}{\vee} F_{тр} = \frac{\mu Mg}{\mu\sin\alpha - \cos\alpha + \frac{M+m}{m\cos\alpha}}$$

$$\mu\, \cancel{mg}\sin\alpha - \cancel{mg}\cos\alpha + \frac{g\sin\alpha}{\cos\alpha} \quad 11\cancel{m} \vee \mu \cancel{Mg}\, 10\cancel{m}$$

$$0{,}6\cdot\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot 11 \vee 0{,}6\cdot 10$$

$$+\frac{-3+22}{2\sqrt{3}} \vee 5{,}7$$

$$19 \vee 5{,}7\cdot 2\sqrt{3}$$

$$19 \underset{<}{\vee} 11{,}4\sqrt{3} < 1{,}8\cdot 11{,}4$$

$$\vee$$

$$11{,}4\ 1{,}7$$

$$\begin{array}{r} 11{,}4\cdot 1{,}8 \\ 1{,}8 \\ \hline 912 \\ 11{,}4 \\ 20{,}52 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times\ 11{,}4 \\ 1{,}7 \\ \hline 798 \\ 11{,}4 \\ \hline 19{,}38 \end{array}$$

$$a_{отн} = \frac{mg\sin\alpha - \mu N + a\cos\alpha}{m}$$

$$\frac{0{,}6\cdot 1\cdot 10}{0{,}6\cdot\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{3} + \frac{1{,}1}{0{,}1\sqrt{3}}}$$

17