МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Афанасьев Арсений Александрович**

Класс: 11

Технический балл: **93**

Дата проведения: **26 февраля 2021 года**

ШИФР РАБОТЫ 4853068

	1	2	3	4	∑
Вопрос	*8*	*10*	*10*	*10*	*93*
Задача	*15*	*15*	*10*	*15*	

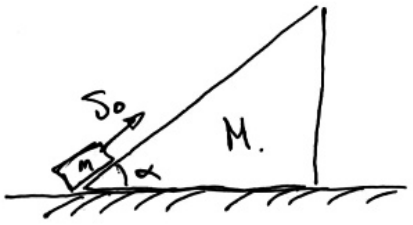
1.1.1. Вопросы: • Сила трения покоя определ. по закону Кулона-Амонтона ~~и равна~~ $F_{тр\,пок} \leq \mu N$, где μ - коэф. трения о дан. поверхн., а N - сила реакции опоры. Сила трения покоя численно равна силе её вызывающ. при этом вызыв. сила, равн. $F_{тр\,пок}$ не превышая μN.

Вариант 1. Чистовик. 1.

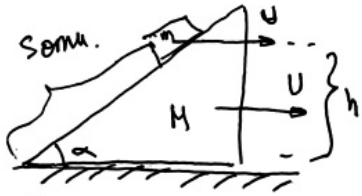
• Сила трения скольжения равна μN ($F_{тр\,ск.} = \mu N$), где μ - коэф. трен. о поверхн., а N - сила реакц. опоры.

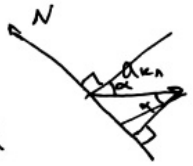
• Коэффициент трения - физическая величина, определяемая материалом соприкас. поверхностей, показывающая во сколько сила трен скольжен. больше силы реакции опоры, определ. миним. силу, ~~для выведения~~ котор. нужно прилож. к телу, чтобы вывести его из состоян. устойч. равновес. (преодол. $F_{тр.\,покоя}$).

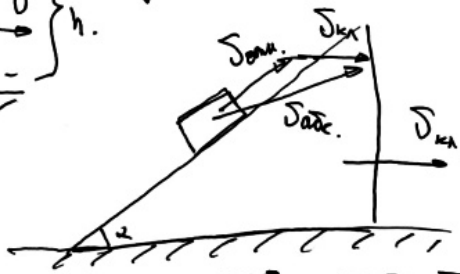
Задача.



1) рассмотр. систему „m+M" в произвольн. момент. движен.

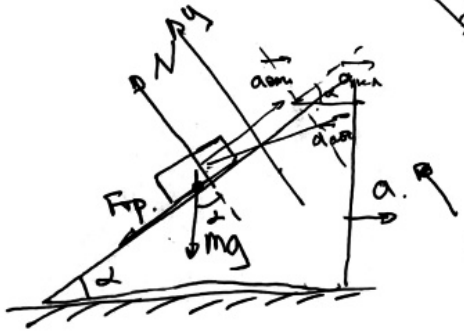






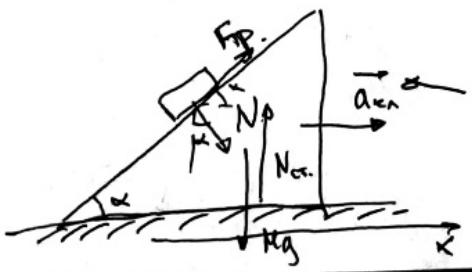
по ЗСС: $\vec{v}_{абс.} = \vec{v}_{отн.} + \vec{v}_{кл.}$, т.е. $\vec{a}_{абс} = \vec{a}_{отн} + \vec{a}_{кл}$

для „m."



Изобразим силы, действ. на „m"

т.к. брусок подним. вверх. относ. клина, то $F_{тр.}$ скольж., направл. против относит. скорости, направл. вниз вдоль клина.



изобр. силы, действ. на клин.

по 3ЗН: $F_{тр.}$ на клин. равна $F_{тр}$ на брус. и напр. в против. стор.

N на клин. равна N на брус. и напр. в прот. стор.

Чистовик 2

т.к. ~~клин и~~ брусок движется по клину без отрыва, то в системе „m+M" N не совершает работу, а из неконсерв. сил работу соверш. только $F_{тр}$.

по ЗИЭ: для сист. „m+M": $A_{тр} = E_{пк} - E_{пн} + E_{кк} - E_{кн}$.

потенц. энергия клина не меняется, т.к. он на одной высоте.

т.е. $A_{тр} = mgh - 0 + \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$.

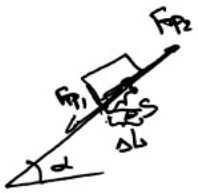
т.к. на макс. высоту h брусок поднимет, когда он остановится относит. клина, т.е. в этот момент они едут с один. скор.

$A_{тр} = F_{тр} S_{отн} (\cos 180°)$

$A_{тр} = -F_{тр} S_{отн}$, где $F_{тр} = \mu N$, $S_{отн} = \frac{h}{\sin\alpha}$

$A_{тр} = -Q \Rightarrow -Q = -F_{тр} S_{отн} \Rightarrow Q = F_{тр} S_{отн}$.

Пусть брусок сместился на ΔS вверх, а клин на ΔL вправо.



тогда $A_{тр1} = F_{тр1} \Delta S$. $A_{тр2} = F_{тр2} \Delta L \cos\alpha$.

$A_{тр1} = F_{тр1} S_{отн} + F_{тр1} \Delta L \cos(180-\alpha)$ ~~$A_{тр2} = F_{тр2} \Delta S$~~.

т.к. $F_{тр1} = F_{тр2} = F_{тр1}$ по.

~~$A_0 = A_{тр1} + A_{тр2} = -F_{тр1} \Delta S + F_{тр2} \Delta L \cos\alpha = F_{тр}(\Delta L \cos\alpha - \Delta S)$~~

$A_{тр1} = -F_{тр1} S_{отн} - F_{тр1} \Delta L \cos\alpha$.

$A_0 = A_{тр1} + A_{тр2} = -F_{тр1} S_{отн} - F_{тр1} \Delta L \cos\alpha + F_{тр2} \Delta L \cos\alpha$

т.к. $F_{тр1} = F_{тр2} = F_{тр}$, то $A_0 = -F_{тр1} S_{отн}$. $A_0 = -Q$ из 3ой сохран. всей энергии

т.е. $-Q = -F_{тр1} S_{отн}$. $Q = F_{тр1} S_{отн}$

2ЗН для бруска. Oy: $N - mg\cos\alpha = -m a_{кл} \sin\alpha$.

2ЗН: для клина: Ox: $M a_{кл} = N\sin\alpha + F_{тр}\cos\alpha$. т.к. $F_{тр} = \mu N$,

~~откуда~~ то $M a_{кл} = N\sin\alpha + \mu N\cos\alpha$.

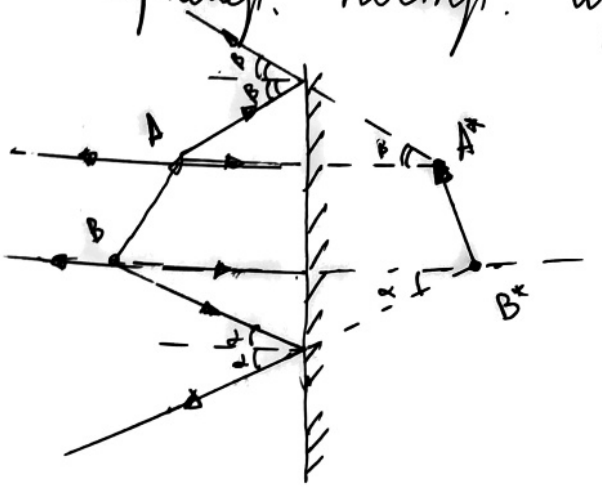
$$a_{кл} = \frac{N(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{M}.$$

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

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

$$N = \frac{mg\cos\alpha}{1 + \frac{m}{M}\sin\alpha(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)} = const.$$

• Пример. постр. изобр. в плоск. зеркале. ЧИСТОВИК II



$\frac{h}{\text{semi}} = \sin\alpha$

$F = \frac{kq^2}{r^2}$ $\quad \frac{R}{r} = \sin\alpha$

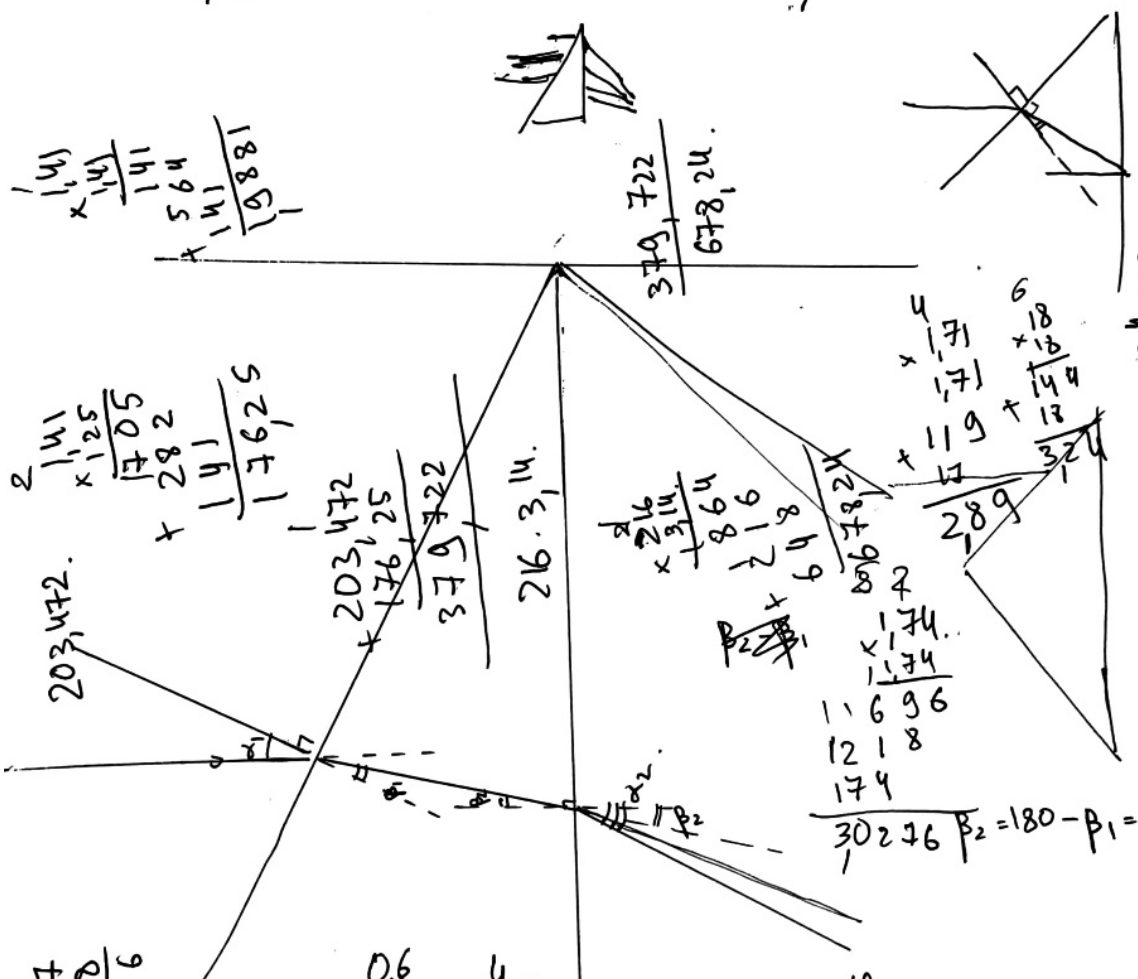
$\frac{R}{r} = \sin\alpha$. $\quad 200 \mid 2$

$\frac{kq_k \cdot h}{(R^2+h^2)\sqrt{(R^2+h^2)}} = \frac{h}{2h\sqrt{2h}}$ $\quad Eq$

$\frac{h}{r} = \cos\alpha$.

$0{,}3 + kq_k \cdot h \quad \frac{kq_k R}{2R^2 R\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{4}$. $\quad \frac{\sqrt{2}}{4}$.

$339120 + 67824 = 406944$



$1{,}41 \times 1{,}41 = 1{,}41 + 564 + 141 = 19881$

$379{,}722 \quad 678{,}24$

$1{,}71 \times 1{,}71 = 119 + 17 = 289$

$18 \times 18 = 144 + 18 = 324$

$379{,}720 - 339{,}120 = 406000$

$67824 \quad 0{,}565$

$1{,}41 \times 1{,}25 = 1705 + 282 + 141 = 17625$

$203{,}472 + 176{,}25 = 379{,}722$

$216 \cdot 3{,}14$

$216 \times 3{,}14 = 864 + 216 + 648 = 678{,}24$

$1{,}74 \times 1{,}74 = 1696 + 1218 + 174 = 30276$

$\beta_2 = 180 - \beta_1 = 180 - \frac{\alpha_1}{n}$.

$203{,}472$

$\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \beta_2$

$27 \times 8 = 216$

$0{,}6$

$216 \times 0{,}942 = 432 + 864 + 1944 = 203{,}472$

$1{,}74 \times 0{,}6 = 1024$

$\varphi = \alpha_2 = n\beta_2 = 180n - \alpha_1$.

$3{,}14 \times 0{,}3 = 0{,}942$

$0{,}1 \cdot 0{,}2 \cdot 10$

$4021 - 21 = 0{,}19$

$190 - 189 = 100$

$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{n}$

$\cancel{180} - \beta_1 - \beta_2 = \cancel{180} - \alpha$.

$\beta_2 = \alpha - \beta_1$.

$\varphi = n\alpha - n\beta_1 = n\alpha - \alpha$

4853068

4853068

$$F_{тр} = \mu N = \mu \cdot \frac{mg\cos\alpha}{1+\frac{m}{M}\sin\alpha(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)}$$

ЧИСТОВИК 3

$$S_{отн.} = \frac{h}{\sin\alpha}$$

Т.е. $Q = F_{тр} S_{отн.} = \mu \frac{mg\cos\alpha}{1+\frac{m}{M}\sin\alpha(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)} \cdot \frac{h}{\sin\alpha}$.

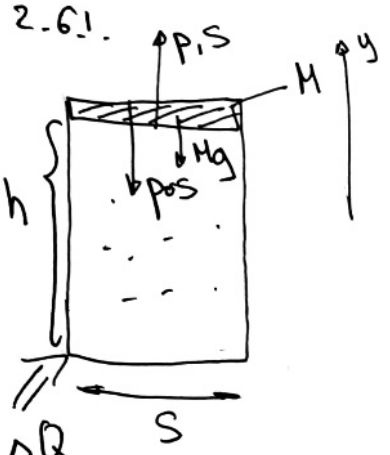
$$Q = \frac{0{,}6 \cdot 0{,}1 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{1+\frac{0{,}1}{1}\cdot\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+\frac{0{,}3\sqrt{3}}{2}\right)} \cdot \frac{0{,}2}{1} = \frac{0{,}12\sqrt{3}}{1+\frac{1\cdot 1}{10\cdot 4}+\frac{0{,}3\sqrt{3}}{10\,2}} =$$

$$= \frac{0{,}12\cdot\sqrt{3}\cdot 40}{40+1+0{,}6\sqrt{3}} = \frac{1{,}2\cdot 4\sqrt{3}}{41+0{,}6\sqrt{3}} = \frac{1{,}2\cdot 4\cdot 1{,}74}{41+\underbrace{0{,}6\cdot 1{,}74}_{\approx 1}} \approx \underbrace{\frac{1{,}74\,0{,}6\cdot 2\cdot 4}{42}}_{\approx 1} \approx \frac{8}{42}$$

$$\approx \frac{4}{21} \approx 0{,}2 \text{ Дж}.$$

Ответ: $Q \approx 0{,}2$ Дж. $= \frac{\mu mg\cos\alpha h}{\left(1+\frac{m}{M}\sin\alpha(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)\right)\sin\alpha}$.

2.6.1.



$\frac{\upsilon_{ср.кв_2}}{\upsilon_{ср.кв_1}} = \alpha$.

p_0

$i = 3$.

чистовик 4

1) рассмотр. момент, до сообщ. тепл. система в равновес.

по 2ЗН для поршня: Oy: $p_1S - p_0S - Mg = 0$.

т.е. $p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S}$.

~~из уравнен. Менделеев~~

по основн. уравн. МКТ: $p_1 = \frac{2}{3}nE = \frac{2}{3}n\frac{m_0\upsilon_{ср.кв}^2}{2}$.

$p_1 = \frac{1}{3}n m_0 \upsilon_{ср.кв_1}^2 = \frac{1}{3}\frac{N}{V_1}\frac{M}{N_A}\upsilon_{ср.кв_1}^2 =$

$\frac{1}{3}\frac{M\nu}{V}\upsilon_{ср.кв_1}^2 = \frac{1}{3}\frac{m}{V_1}\upsilon_{ср.кв_1}^2$.

$p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S} = \frac{1}{3}\frac{m}{V}\upsilon_{ср.кв_1}^2$.

2) Рассмотрим ур. момент. после сообщ. теплоты.

по 2ЗН: для поршня Oy: $p_2S - p_0S - Mg = 0$.

$p_2 = p_0 + \frac{Mg}{S}$.

Получается $p_1 = p_0 + \frac{Mg}{S} = p_2$.

по осн. ур. МКТ.

$p_2 = \frac{1}{3}\frac{m}{V_2}\upsilon_{ср.кв_2}^2$ т.е. $\frac{1}{3}\frac{m}{V_2}\upsilon_{ср.кв_2}^2 = \frac{1}{3}\frac{m}{V_1}\upsilon_{ср.кв_1}^2$

т.к. m газа не меняется, то ~~на~~ её можно сокр.

получ. $\frac{\upsilon_{ср.кв_2}^2}{V_2} = \frac{\upsilon_{ср.кв_1}^2}{V_1}$. $\frac{\upsilon_{ср.кв_2}^2}{\upsilon_{ср.кв_1}^2} = \frac{V_2}{V_1}$

т.е. $\alpha^2 = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\cancel{S}h_2}{\cancel{S}h_1} = \frac{h_2}{h_1}$.

3). рассм. процесс, перехода газа из сост. 1 в 2.

по ЗСЭ: $\Delta Q = U_2 - U_1 + A_{газа}$. т.к. давлен. внешн. = const, то и давл. газа = const, т.е. процесс изобарн. и $A_{газа} = pS(h_2 - h_1)$

$U_2 = \frac{3}{2}\nu RT_2 = \frac{3}{2}p_2V_2$ из урав. Менделеева-Клапейр. $\nu RT_2 = p_2V_2$.

$U_1 = \frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}p_1V_1$. $\nu RT_1 = p_1V_1$.

т.к. $p_1 = p_2$, то $U_2 - U_1 = \frac{3}{2}p(V_2 - V_1) = \frac{3}{2}pS(h_2 - h_1)$

получается. $\Delta Q = \frac{3}{2} pS(h_2-h_1) + pS(h_2-h_1) = \frac{5}{2} pS(h_2-h_1)$.

Чистовик 5

Откуда $h_2-h_1 = \frac{2\Delta Q}{5pS}$ $\quad h_2 = \frac{2\Delta Q}{5pS} + h_1$.

Подставл. в уравнен. для α.

$$\alpha^2 = \frac{\frac{2\Delta Q}{5pS} + h_1}{h_1} = \frac{2\Delta Q}{5h_1 pS} + 1.$$

т.е. $\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta Q}{5h_1 pS} + 1} = \cancel{\sqrt{\frac{2\cdot 126}{5\cdot 1}}}$

$$\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta Q}{5h_1 S\left(p_0 + \frac{Mg}{S}\right)} + 1} = \sqrt{\frac{2\Delta Q}{5h_1(p_0 S + Mg)} + 1} =$$

$$= \sqrt{\frac{2\cdot 126}{5\cdot 1\left(100\cdot 10^3\cdot 20\cdot 10^{-4} + 4\cdot 10\right)} + 1} = \sqrt{\frac{\cancel{2}\cdot \cancel{126}^{\cancel{63}\,21}}{5\cdot \cancel{240}_{\cancel{120}\,\cancel{60}\,20}} + 1} =$$

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

Ответ: $\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta Q}{5h_1(p_0 S + Mg)} + 1} = 1{,}1$.

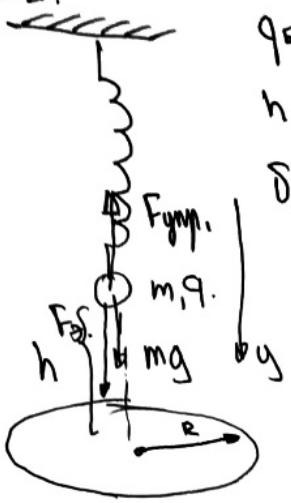
Вопросы: • Внутрен. энергия термодинам системы - энергия движения молекул. сист. и энергия взаимод. молекул. сист. между собой. $E_{сист} = E_{кин} + E_{взаимод}$.

для идеальн. газа. $E_{взаимод}$ пренебреж. мало, т.е. для идеальн. газа $E_{сист.} = E_{кин}$.

• Внутрен. энергию можно изменить, сообщив и отняв у. системы количество теплоты, а так же совершая механ. работу над. системой (~~сжатие~~ уменьшен. и ~~растяжение~~ увеличен. объёма сист.) по 1 началу термодинам. $Q_{подв.} = \Delta U + A_{газа}$.

т.е. ΔU может измен. за счёт $Q_{подв.}$ или $A_{газа}$, которая в равновес. проц. равна $A_{над.\ газом}$).

3.Б.1.



$q_б = q = -q_к$.

$h = R$.

δ_{max} - ?

$m = 9г$.

(чистовик 6)

1) рассм. началь. момент времени.

система в равновес. => бус. покоится

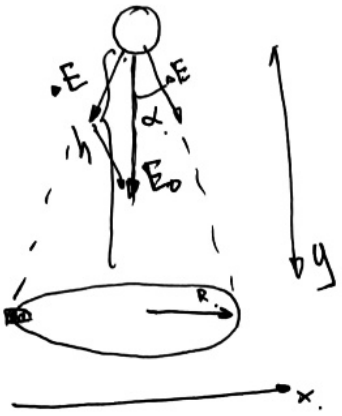
изобр. силы, действ. на бусинку.

т.к. заряд бусинки и кольца противопол. по знаку, то бусинка притяг. к. кольцу. с силой $F_э$.

по 2ЗН для бусинки: Oy: $mg + F_э - F_{упр.}$ = 0

т.е. $mg + F_э = F_{упр.}$

2) Опишем. воздействие кольца на бусинку.



разобьём кольцо на множество маленьк. участков. длин. Δx и заряд. Δq.

каждый из этих маленьк. зарядов создаёт. электрич. поле, котор. опред. как. поле точечн. заряда.

$\Delta E = \frac{k\Delta q}{r^2}$, где r - расстоян. от заряда Δq.

По принципу суперпозиции. $\vec{E_0} = \vec{\Delta E_1} + \vec{\Delta E_2} + \ldots + \vec{\Delta E_n}$

Векторно складывая маленькие поля ΔE заметим, что горизонтальн. составл. поля 1 заряда „убивается", горизонт. составл. поля диаметр. противоположн. заряда для всех Δq. Получается E_0 имеет только вертик. проекцию и склад. из вертик. проекций полей ΔE.

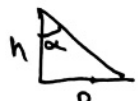
т.е. по принц. Суперпоз. Oy: $E_0 = \Delta E_1 \cos\alpha + \Delta E_2 \cos\alpha + \ldots + \Delta E_n \cos\alpha$

где α - угол между вертик. и вектором поля ΔE, направл. к. отриц. заряд. Δq.

т.е. $E_0 = \sum \Delta E \cdot \cos\alpha = \cos\alpha \sum \Delta E = \cos\alpha \sum \frac{k\Delta q}{r^2} = \cos\alpha \frac{kq_к}{r^2}$

т.к. по усл. $h = R$, а $r = \frac{R}{\sin\alpha}$, то $E_0 = \frac{kq_к \cos\alpha \sin^2\alpha}{R^2}$

$E_0 = \frac{kq_к}{R^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{2}{4} = \frac{\sqrt{2}\, kq_к}{4R^2}$. т.к. $h = R$, то $\cos\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $\sin\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$.



$\alpha = 45°$. ЧИСТОВИК

т.к $E_0 = \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{kq_к}{R^2}$, то $F_э = E_0 q_б = \frac{\sqrt{2}\, kq_к q_б}{4R^2}$

т.к. $|q_к| = |q_б|$, то $F_э = \frac{\sqrt{2}\, kq^2}{4R^2}$ и напр. к. кольцу, т.к. бусинка притян. к кольцу

3). подставим найден. $F_э$. во 2ЗН. для бусинки в мом.

$mg + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4R^2} = F_{упр.} = k' x_{max.} \Rightarrow k' = \frac{mg}{x_{max}} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4R^2 x_{max.}}$

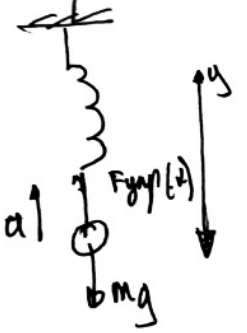
$x_{max} = \frac{mg}{k'} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4R^2 k'}$

4). рассм. бусинку после мгновен. нейтрализ. кольца

т.к. кольцо нейтрал., то теперь $q_к' = 0$., т.е. нет

~~$F_э$~~ элект. поля для бусинки. $\Rightarrow$ нет $F_э$, действ. на бусинку., а т.к. $F_э$. пропала, то система вышла из равнов.

рассм. бусинку в произв. момент. движен.



по 2ЗН. Oy: $ma_y = -F_{упр.(y)} + mg$.

$ma_y = -k'x + mg$

$ma = \frac{mg}{x_{max}} x + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4R^2 x_{max.}} x - mg$.

$a_y = \frac{-k'}{m} x + g$ $\quad a_y + \frac{k'}{m} x = g$.

$x = x_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

$\vartheta = x_{max}\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$

$\vartheta_{max.}$

$\omega^2 = \frac{k'}{m}$. $\quad \omega = \sqrt{\frac{k'}{m}}$.

б). $\vartheta_{max} = \omega x_{max}$. , x_{max} - удлинен. пружины в начальн. момент. т.к. в этот момент. $\vartheta(0) = 0$, а ускорен. максим.

$\vartheta_{max} = \sqrt{\frac{k'}{m}} \left(\frac{mg}{k'} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{4R^2 k'} \right)$.

т.е. в начале бусинка в амплит.

Чистовик

$$v_{max} = \sqrt{\frac{k'}{m}}\left(\frac{mg}{k'} + \frac{\sqrt{2}\,q^2\cdot\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}}{4R^2k'}\right) = \sqrt{\frac{m}{k'}}\,g + \frac{\sqrt{2}\,q^2}{16\pi\varepsilon_0 R^2\sqrt{mk'}}$$

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

$$= \sqrt{\frac{9\cdot10^{-3}}{10}}\cdot10 + \frac{\sqrt{2}\;1\cdot\cancel{10^{-12}}}{16\cdot3{,}14\cdot9\cdot\cancel{10^{-12}}\cdot4\cdot10^{-2}\sqrt{9\cdot10^{-3}\cdot10}} =$$

$$= 3\cdot10^{-2}\cdot10 + \frac{\sqrt{2}\;10^3}{16\cdot3{,}14\cdot9\cdot4\cdot\cancel{10^{-2}}\cdot3\cdot\cancel{10^{-1}}}$$

$$0{,}3 + \frac{\sqrt{2}\cdot\cancel{1000}^{\cancel{500}\,\cancel{250}\,\cancel{125}\,125}}{\cancel{16}_{8}\cdot\cancel{12}_{\cancel{6}\,3}\cdot9\cdot3{,}14} = \frac{0{,}3\cdot8\cdot9\cdot3\cdot3{,}14 + \sqrt{2}\cdot125}{8\cdot3\cdot9\cdot3{,}14} \approx 0{,}56\ \frac{м}{с}$$

Ответ: $v_{max} = \sqrt{\frac{k'}{m}}\left(\frac{mg}{k'} + \frac{\sqrt{2}\,q^2\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}}{4R^2k'}\right) = 0{,}56\ \frac{м}{с}$.

~~Вопр~~

Вопросы. • Гармоническими называют колебания, происходящие по закону синуса или косинуса. т.е. уравн. для коорд. имеет вид. $x(t) = A\sin\omega t + B\cos\omega t + x_0$ где A и B - некоторые коэф., а x_0 - нач. полож. или, что то же самое $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$, где A - амплит., ω - циклич. частота, φ_0 - начальн. фаза колеб.

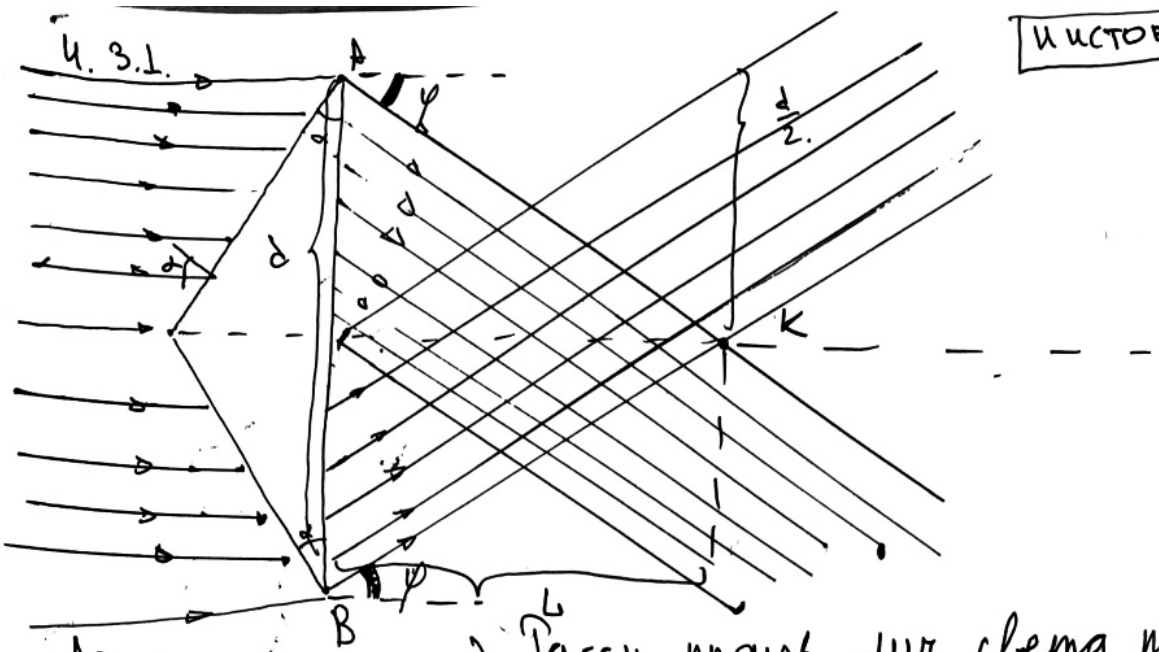
• Амплитуда - максимальное смещение тела, соверш. колебан., относительно положения равновесия, т.е. такое расст. от. пол. равн., где ускор. тела максим., а скорость равна 0. в форм. $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$ — амплит.

• Фаза гармон. колебан. - аргумент. sin или cos. в уравн. колеб. движен. т.е. $x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$ — фаза колеб.

фаза сост. из. начальн. фазы $\varphi_0 = const$. и измен. со врем. фазы ωt.

Ч. 3.1.

Чистовик 9

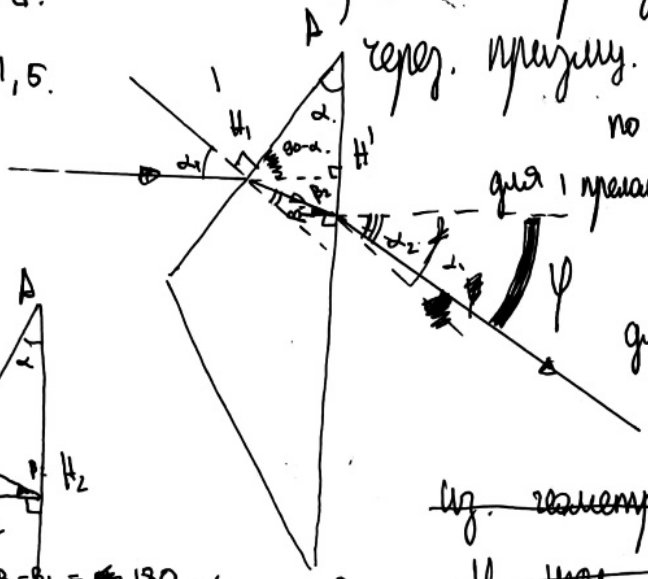


$AB = d$.

$n = 1,5$.

α.

1) Рассм. произв. лич. света, прошедш. через. призму.



по закону Снелла.

для 1 преломл. $n_1 \sin\alpha_1 = n_2 \sin\beta_1$

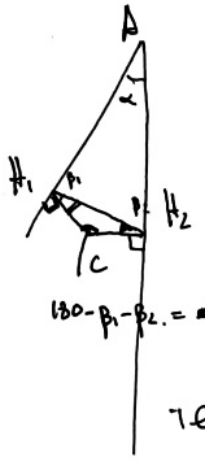
$\sin\alpha_1 = n \sin\beta_1$.

$\alpha_1 = n\beta_1$ т.к. углы малые

для 2 преломл.

$n \sin\beta_2 = \sin\alpha_2$.

$n\beta_2 = \alpha_2$ т.к. углы малые.



$180 - \beta_1 - \beta_2 = 180 - \alpha$.

из. впис. AH_1CH_2.

т.е. $\alpha = \beta_1 + \beta_2$. $\Rightarrow \beta_2 = \alpha - \beta_1$

~~Из. геометрии. $\alpha_1 - \alpha_2 = \varphi$.~~

~~φ - угол. смещения~~

~~$\varphi = n\beta_1 - n\beta_2 = n(\beta_1 - \beta_2)$.~~

φ - угол смещен. от первонач. ~~полож~~ напр. луча.

~~$\begin{cases} \varphi = n(\beta_1 - \beta_2) \\ \alpha = \beta_1 + \beta_2 \end{cases}$~~ ~~$\begin{cases} \frac{\varphi}{n} = \beta_1 - \beta_2 \\ \alpha = \beta_1 + \beta_2 \end{cases}$~~

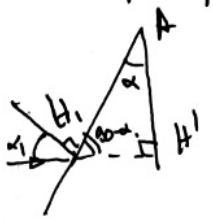
$\varphi = \alpha_2 = n\beta_2 = n(\alpha - \beta_1)$.

~~$\frac{\varphi}{n} + \alpha = 2\beta_1$~~ ~~$\beta_1 = \frac{\frac{\varphi}{n} + \alpha}{2}$.~~

$\beta_1 = \frac{\alpha_1}{n}$. $\Rightarrow \varphi = n\left(\alpha - \frac{\alpha_1}{n}\right)$.

~~$\alpha = \beta_1 + \beta_2 = \frac{\frac{\varphi}{n} + \alpha}{2} + \beta_2$.~~

~~$\beta_2 = \alpha - \frac{\varphi}{n2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2} - \frac{\varphi}{2n}$~~



из. прям. $\triangle AH_1H'$

$\angle AH_1H' = 90 - \alpha$.

т.к. $\alpha_1 + \cancel{90} + \cancel{90} - \alpha = \cancel{180}$. т.е. ~~$\alpha = \beta_1 + \beta_2 =$~~

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

ЧИСТОВИК

Т.е. ~~самые~~ самые крайние лучи из пучка преломятся на φ откос. первонач. положения пучки и карт. будет симметр. для верхн. и нижн. треуг. сост. пр.

Из рисунка ~~лучи~~ перестан. пересекаться в т. K.

Расст. от AB до K = L.

Из геометр. $tg\varphi = \frac{d}{2L}$ т.к. φ - малый, то $tg\varphi = \varphi$.

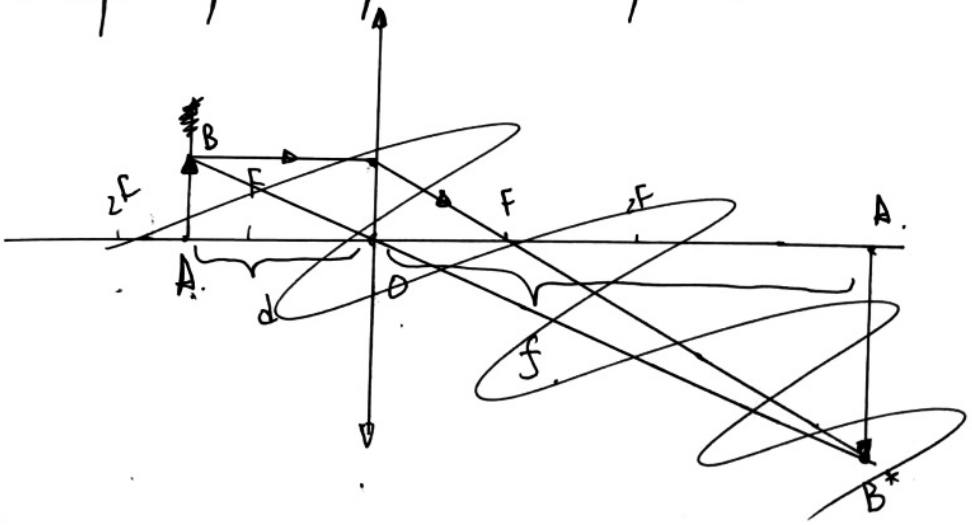
$$\varphi = \frac{d}{2L} \qquad \alpha(n-1) = \frac{d}{2L} \Rightarrow L = \frac{d}{2\alpha(n-1)}.$$

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

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

Вопросы: • Закон. отражения света:

1). Луч. падающ., луч. преломлен. и перпендик. в восстан. точку падения, лежат в одной плоскости.

2) Угол падения равен. углу отражения.

• ~~Пример. построен. в. собир. линзе.~~