0 710549 760005

71-05-49-76
(107.2)

1755

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 11

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиады школьников Покори Воробьёвы Горы !
наменование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Мартиновича Семёна Андреевича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

+ 1 лист

Дата

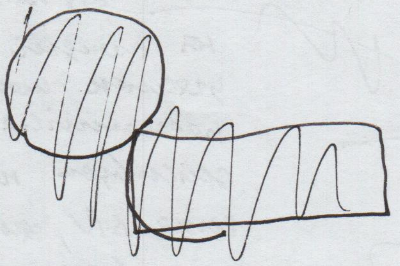
«1» апреля 2023 года

Подпись участника

71-05-49-76
(107.2)

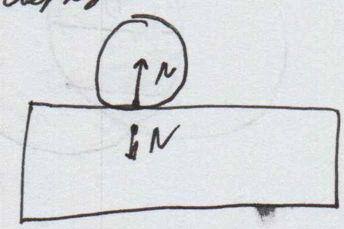
№ 1

Вопрос:



Т. к. ~~...~~ брусок гладкий, между ним и шайбой во время столкновения не может действовать сила трения. ~~...~~

При соударении шайбы и бруска:
Вид сверху:



грань бруска, в которую прилетает шайба, всегда касается этой шайбы, ~~...~~

При ударе, сила взаимодейств. между бруском и шайбой направлена ⊥ грани этого бруска, ~~...~~ т.к. сила трения (касательная к грани составляющая силы реакции) отсутствует. ~~В данном случае~~ Из курса геометрии мы знаем, что перпендикуляр к ~~...~~ касательной, проведённый через точку касания проходит через центр окружности, а шайба в горизонтальном сечении является окружностью.

В таком случае сила N взаимодействия между шайбой и грузом всегда проходит через ось ~~...~~ шайбы и ⊥ ей. ~~...~~

Шайба и брусок будут вращаться, если Σ моментов внешних сил относительно ц. м. не равен нулю

Σ = 53

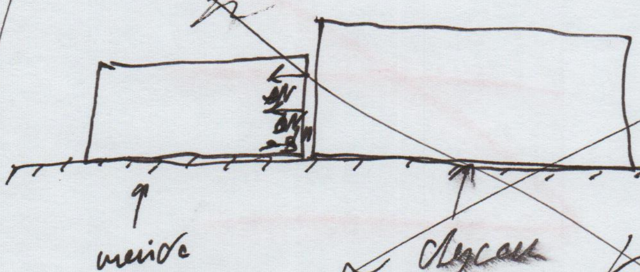
1	2	3	4	18
5	5	5	5	
13	12	8	2	35

13
3

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

~~Подробнее рассмотрим процесс удара:~~ $\boxed{\text{черновик}}$

~~Вид сбоку:~~



При соударении на каждый маленький участок шайбы, касающийся бруска действует некая сила ΔN, одинаковая для всех малых участков

В таком случае

4284

68
×68
544

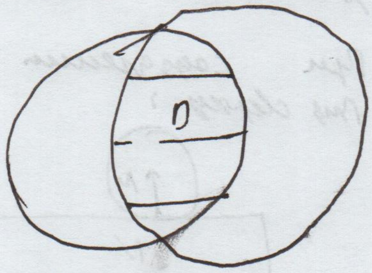
62
×62
124
362
3744

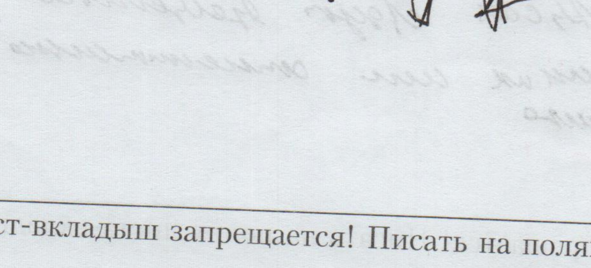
$$\frac{-30+68}{12} =$$

$$= \frac{38}{12} > 2$$

34
×34
136
102

64
×64
256
384
4096





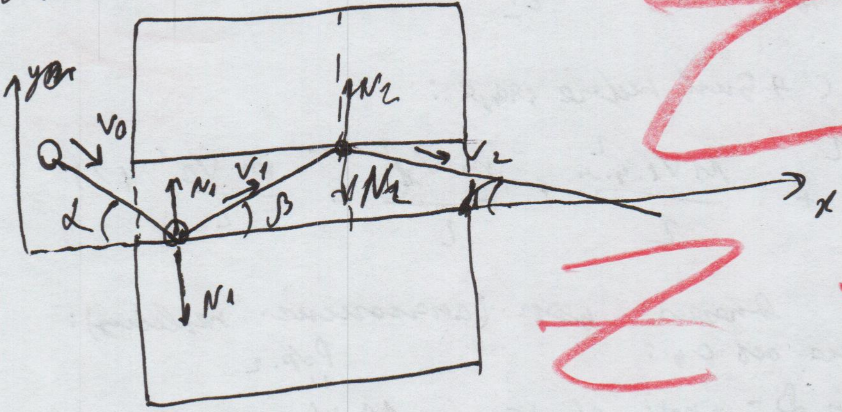
71-05-49-76
(107.2)

~~В начале~~ В случае отсутствия сцепления шайбы и льда момент силы взаимодействия N относительно оси шайбы равен нулю, значит шайба не ~~вращается~~ вращалась в горизонтальной плоскости, а в других плоскостях её вращению помешает жёсткость пов-ти (лёд).

В таком случае шайба вращаться не будет.

А вращение диска зависит от положения его центра масс. Если ~~взаимодействие на~~ линия действия силы взаимодействия проходит через ось ⊥ полу и содержащую ц.м., то диск вращаться не будет, ~~а~~ в ином случае будет вращаться.

Задача:



Т.к. удар мгновенный, ~~...~~
а льдины относительно неподвижны, на шайбу при ударе не действует сила вдоль относительного положения этих льдин, значит проекция скорости шайбы на это направление (ось Ox) = const

$$V_0 \cos\alpha = V_1 \cos\beta = V_2 \cos\gamma$$

Запишем ЗСИ в проекции на ось O_y: имеем

$$-mv_0 \sin\alpha = mv_1 \sin\beta - P_{об.1}$$

P — импульс первого обруча после столкновения.

$$mv_0 \sin\alpha + mv_1 \sin\beta = P_{об.1} = MV_{1.ц.м}$$

При соударении шарика и обруча между ними действует сила N_1:

$$N_1 = \frac{\Delta P_{об.1}}{\Delta t} = \frac{mv_0 \sin\alpha + mv_1 \sin\beta}{\Delta t}, \text{ где } \Delta t \text{ — малое время}$$

Перейдём в С.О. центра масс первого обруча и запишем уравнение вращательного движения относительно ц.м.:

$$N_1 \cdot \frac{L}{2} = I \cdot \frac{\Delta\omega_1}{\Delta t} = \frac{mv_0 \sin\alpha + mv_1 \sin\beta}{\Delta t} \cdot \frac{L}{2}$$

$$\Delta\omega_1 = \frac{L}{2I} \cdot (mv_0 \sin\alpha + mv_1 \sin\alpha)$$

Запишем ЗСЭ для первого удара:

$$\frac{I\Delta\omega_1^2}{2} + \frac{MV_{1.ц.м}^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} \quad (1)$$

Рассмотрим второй удар (аналогично первому):

ЗСИ на ось O_y:

$$mv_1 \sin\beta = -mv_2 \sin\gamma + \underbrace{MV_{2.ц.м}}_{P_{об.2}}$$

Для силы взаимодействия N_2:

$$N_2 = \frac{\Delta P_{об.2}}{\Delta t} = \frac{mv_1 \sin\beta + mv_2 \sin\gamma}{\Delta t}$$

Перейдём в С.О. ц.м. обруча 2 и запишем ур-е вращат. движ.:

$$N_2 \cdot \frac{L}{4} = I \cdot \frac{\Delta\omega_2}{\Delta t} \rightarrow \frac{mv_1 \sin\beta + mv_2 \sin\gamma}{\cancel{\Delta t}} \cdot \frac{L}{4} = I \cdot \frac{\Delta\omega_2}{\cancel{\Delta t}}$$

71-05-49-76
(107.2)

[illegible]

$$\Delta\omega_2 = \frac{L}{4I}\left(mv_1\sin\alpha + mv_2\sin\gamma\right)$$

Из ЗСЭ для второго удара:

$$\frac{I\Delta\omega_2^2}{2} + \frac{MV_{2\,ц.м}^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} \quad (2)$$

$$\frac{I\Delta\omega_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{MV_{2\,ц.м}^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2}$$

Из (1):

$$\frac{I\Delta\omega_1^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{MV_{1\,ц.м}^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Из (1) и (2):

$$\frac{\Delta\omega_2^2}{\Delta\omega_1^2} = \frac{mv_1^2 - MV_{2\,ц.м}^2 - mv_2^2}{mv_0^2 - MV_{1\,ц.м}^2 - mv_1^2}$$

$$\frac{\Delta\omega_2^2}{\Delta\omega_1^2} = \frac{\cancel{\frac{L^2}{4I^2}\cdot m^2}\left(v_0\sin\alpha + v_1\sin\beta\right)^2}{\cancel{\frac{L^2}{4I^2}\cdot m^2}\cdot\frac{1}{4}\left(v_1\sin\beta + v_2\sin\gamma\right)^2} =$$

$$= 4\cdot\left(\frac{\cancel{v_0}\sin\alpha + \cancel{v_0}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\sin\beta}{\cancel{v_0}\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\cdot\sin\beta + \cancel{v_0}\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}\cdot\sin\gamma}\right)^2 =$$

$$= 4\cdot\left(\frac{\sin\alpha + \cos\alpha\cdot tg\beta}{\cos\alpha\cdot tg\beta + \cos\alpha\cdot tg\gamma}\right)^2$$

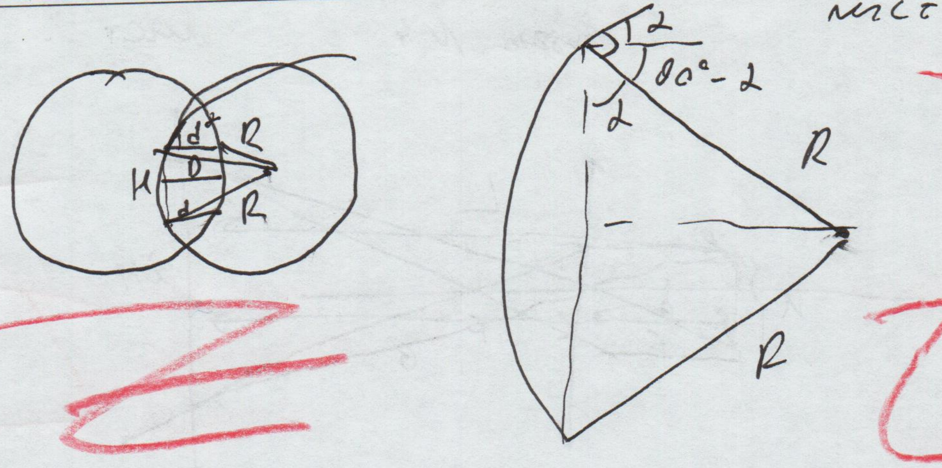
$$\cancel{mv_1^2 - MV_{2\,ц.м}^2 - mv_2^2 = m\cdot v_0^2\cdot\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\right)^2 -}$$

$$\cancel{- M\cdot\frac{m^2}{M^2}\cdot v_0^2\cdot\left(\sin\alpha + \cos\alpha\cdot tg\beta\right)^2 - m\cdot v_0^2\cdot\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\gamma}\right)^2}$$

$$\cancel{mv_0^2 - MV}$$

71-05-49-76
(107.2)

лист

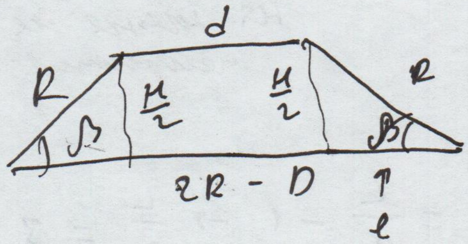


Из геометрии:

$2R\cos\alpha = H$

$\sqrt{R^2 - \frac{H^2}{4}} = l$

R-?
d-?



$d = 2R - D - 2l = 2R - D - 2\sqrt{R^2 - \frac{H^2}{4}}$

$d = \frac{2H}{2\cos\alpha} - D - 2\sqrt{\frac{H^2}{4\cos^2\alpha} - \frac{H^2}{4}}$

$d = \frac{H}{BIH} \cdot 2T - D - H\sqrt{\frac{\sin^2\alpha}{\cos^2\alpha}}$

$d = \frac{2T}{BI} - D - H \cdot tg\alpha$, где

$d = \frac{2T}{BI} - D - H \cdot$

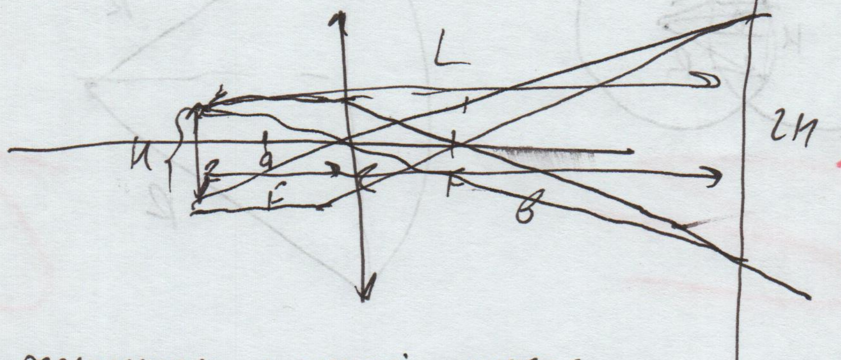
$tg\alpha = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{BIH}{2T}\right)^2}{\left(\frac{BIH}{2T}\right)^2}}$

?

ЛИСТ-ВКЛАДЫШ

~~Задача~~ N 4 лист

Поиск :



Из формулы тонкой линзы:

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ ← линза собирающая, т.к. иначе изображения на экране не получилось

$\frac{1}{a} + \frac{1}{L-a} = \frac{1}{F}$

$2 = \frac{b}{a} = \frac{L-a}{a} = \frac{L}{a} - 1 \rightarrow \frac{L}{a} = 3$

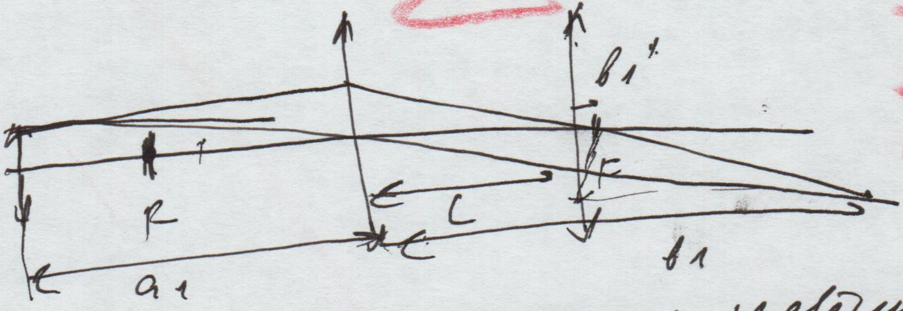
$a = \frac{L}{3}$

$\frac{3}{L} + \frac{3}{2L} = \frac{1}{F} = D$

$\boxed{D = \frac{9}{2L} = \frac{9}{2 \cdot 0{,}9} = 5 \text{ Дптр}}$

лист

Задача:



Т.к. изображения получаются перевёрнутыми, обе линзы собирающие.

Запишем формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{F}$$

1

$$\cancel{\begin{cases}\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{F}\\ -\frac{1}{b_1}+\frac{1}{b'}=\frac{1}{F}\end{cases}}$$

$$\cancel{\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b'}=\frac{2}{F}}$$

$$\begin{cases}\frac{1}{a_1}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{F}\\ -\frac{1}{b_1-L_1}+\frac{1}{b_1'}=\frac{1}{F}\end{cases}$$

? ответ? решение?

$$\frac{b_1'}{a_1}=|\Gamma_1|$$

$$\frac{|\Gamma_1|}{b_1'}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{F}$$

№ 2

чистовик

Вопрос :

Теплоёмкость газа в каком процессе постоянна, если уравнение процесса можно привести к виду :

Есть и другой вариант

$$pV^{-2} = const$$

В таком случае

показатель политропы $n = -2 = \frac{C - C_p}{C - C_v}$, где

C – молярная теплоёмкость

C_p – молярная теплоёмк. при $p = const$

C_v – молярн. теплоём. при $V = const$

$$-2C + 2C_v = C - C_p$$

$$2C_v + C_p = 3C$$

$$2 \cdot \frac{5}{2}R + \frac{5}{2}R + R = 3C$$

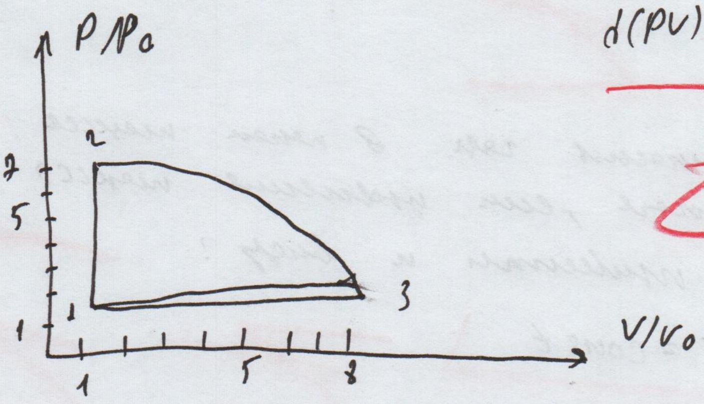
$$6R + 2{,}5R = 3C$$

$$8{,}5R = 3C$$

$$\boxed{C = \frac{17}{6}R}$$

черновик

Задача:



$d(PV) = PdV + VdP = \nu R dT$

Рассмотрим первый процесс:

$$P = \frac{P_0}{6}\left(36 + 5\frac{V}{V_0} - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2\right)$$

Запишем первое начало термодинамики:

$$\cancel{dQ = \frac{5}{2}PdV + \frac{7}{2}VdP}$$

$$dQ = \nu C_V dT + PdV = \frac{5}{2}\nu R dT + PdV =$$

$$= \frac{5}{2}(PdV + VdP) + PdV = \frac{7}{2}PdV + \frac{5}{2}VdP$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{7}{2}P + \frac{5}{2}V \cdot \frac{dP}{dV}$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{7}{2}\cdot\frac{P_0}{6}\left(36 + 5\frac{V}{V_0} - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2\right) +$$

$$+ \frac{5}{2}V \cdot \frac{P_0}{6}\left(\frac{5}{V_0} - \frac{1}{V_0^2}\cdot 2V\right)$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{7}{12}P_0\left(36 + \frac{5}{V_0}V - \frac{1}{V_0^2}V^2\right) +$$

$$+ \frac{5}{12}P_0\left(\frac{5}{V_0}V - \frac{2}{V_0^2}V^2\right)$$

Подписывать лист-вкладыш запрещается! Писать на полях листа-вкладыша запрещается!

шеневик

$$\frac{dQ}{dV} = 21P_0 + \frac{35}{12}P_0\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right) - \frac{7}{12}P_0\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 +$$

$$+ \frac{25}{12}P_0\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right) - \frac{5}{6}\cdot\frac{12}{}\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 =$$

$$\frac{dQ}{dV} = 21P_0 + \frac{60}{12}P_0\left(\frac{V}{V_0}\right) - \frac{17}{12}\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right)^2$$

Тепло в нашем процессе подводится, если

$$\frac{dQ}{dV} > 0$$

и отводится, если

$$\frac{dQ}{dV} < 0$$

Решим квадратное уравнение:

$$21P_0 + 5P_0\cdot\frac{V}{V_0} - \frac{17}{12}\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 = 0$$

$$\begin{array}{r} 21 \\ \times 12 \\ \hline 42 \\ 21 \\ \hline 252 \end{array}$$

$$252\cancel{P_0} + 60\cancel{P_0}\cdot\frac{V}{V_0} - \cancel{17}\,12\cdot\left(\frac{V}{V_0}\right)^2\cancel{P_0} = 0$$

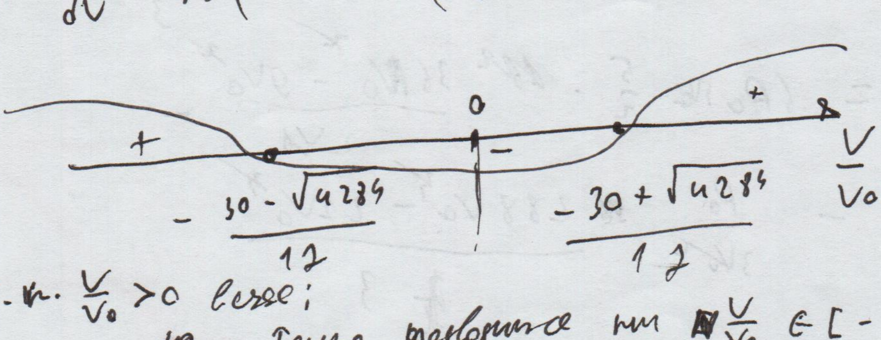
$$\begin{array}{r} 252 \\ \times 17 \\ \hline 1764 \\ 252 \\ \hline 4284 \end{array}$$

$$\frac{D}{4} = 900 + 17\cdot 252 \cancel{= 4284} + 900$$

арифм. ошибка

$$\frac{V}{V_0} = \frac{-30 \pm \cancel{\sqrt{4284}}}{12}$$

$$\frac{dQ}{dV} = \cancel{P_0}\,12P_0\left(\frac{V}{V_0} + \frac{30+\sqrt{\cancel{4284}}}{12}\right)\left(\frac{V}{V_0} + \frac{30-\sqrt{\cancel{4284}}}{12}\right)$$



Т.к. $\frac{V}{V_0} > 0$ всегда;

Тепло подводится при $\frac{V}{V_0} \in \left[-\frac{30+\sqrt{4284}}{12}; +\infty\right)$

лист.

$-\frac{30+\sqrt{4284}}{12} < 3$, значит тепло в процессе 2 - 3 подводится

Температура в процессе 1 - 2 растёт, а $A_{12} = 0$, значит в процессе 1-2 тепло подводится

в процессе 3 - 1 температура уменьшается, а $Q_{31} \sim \Delta T_{31}$, значит тепло отводится

$$Q_{12} = \nu \cdot \frac{5}{2} R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

$$Q_{12} = \frac{5}{2} \cdot (21 p_0 V_0 - 6 p_0 V_0) = \frac{5}{2} \cdot 15 p_0 V_0 =$$

$$Q_{12} = \frac{75}{2} p_0 V_0$$

$$Q_{31} = \frac{7}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{7}{2}(6 p_0 V_0 - 16 p_0 V_0) =$$

$$Q_{31} = -35 p_0 V_0$$

36
× 8
288

$$\eta = \frac{Q_н + Q_х}{Q_н}$$, где $Q_н$ – теплота, подведённая к газу (>0), а $Q_х$ – теплота, отведённая от газа (<0)

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \int_2^3 p\,dV$$

$$\int_2^3 p\,dV = \int_{V_2}^{V_3} \frac{p_0}{6}\left(36 + 5\frac{V}{V_0} - \left(\frac{V}{V_0}\right)^2\right) dV =$$

$$= 6 p_0 (V_3 - V_2) + \frac{5}{V_0} \cdot \frac{V_3^2 - V_2^2}{2} p_0 - \frac{p_0}{V_0^2} \cdot \frac{V_3^3 - V_2^3}{3} =$$

$$= 6 p_0 \cdot 3V_0 + \frac{5}{2} \cdot \frac{36 V_0^2 - 9 V_0^2}{2 V_0} -$$

$$- \frac{p_0}{3 V_0^2} \cdot \frac{288 V_0^3 - 27 V_0^3}{3}$$

лист

$$Q_{23} = 30 P_0V_0 + \frac{5 \cdot 27}{4} pV_0 + \cancel{\frac{P_0}{V_0}} \frac{261}{9} P_0V_0$$

$$Q_{23} = 30 P_0V_0 + \frac{135}{4} P_0V_0 + \frac{261}{9} P_0V_0$$

$$\boxed{\eta = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12} + Q_{23}} = \frac{\frac{75}{2} + 30 + \frac{135}{4} + \frac{261}{9} - 35}{\frac{75}{2} + 30 + \frac{135}{4} + \frac{261}{9}}}$$

№ 3

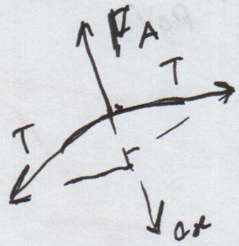
Вопрос 1

Отрезок провода примет форму дуги окружности, т.к. ~~[illegible]~~ при натяжении провода только такое расположение будет позволять каждому малому кусочку провода находиться в равновесии.

Объясним:

Положим, что при ~~[illegible]~~ помещении провода в поле, он как-то натянется, чтобы компенсировать действующую на него силу ~~[illegible]~~ Ампера. Также ~~[illegible]~~ мы знаем, что провод лёгкий и никаких внешних сил, кроме силы Ампера на него не действует (сила натяжения равна в любой точке провода)

В конце концов такое положение равновесия будет достигнуто ~~[illegible]~~ при равных ~~[illegible]~~ значениях силы натяжения на концах действия силы Ампера для каждого малого участка провода.

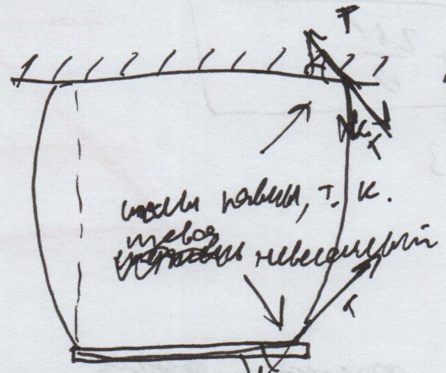


$F_A = 2T_\alpha$

мс

А значит возможно только если провод — дуга окружности. +

Задача



Заметим, что при его вытягивании в поле, провод примет вид дуг окружностей.

Запишем второй з-н Ньютона для ~~одного~~ одного из проводов:

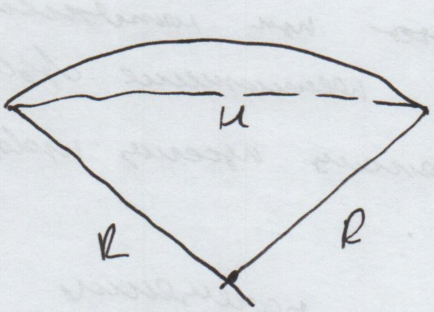
−

R-?

α-?

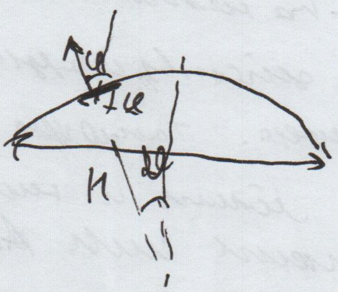
условие равновесие-?

ответ-?



$Ox: \; 2T\cos\alpha = F_{A.рез}$

Рассмотрим силу Ампера, действующую на провод:



$dF_{A.рез} = BIdL \cdot \cos\alpha$

$dF_{A.рез} = BIdL_H$

$\cancel{dF_{A.рез} =}$

$F_{A.рез} = BIH$

$$2T\cos\alpha = BIH$$

Силы натяжения нижнего провода равны (из симметрии системы) T.

Запишем ~~второй~~ второй з-н Ньютона для стержня:

$$mg = 2T\sin\alpha$$