МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Физика**

ФИО участника олимпиады: **Кунц Максим Сергеевич**

Класс: 11

Технический балл: **91**

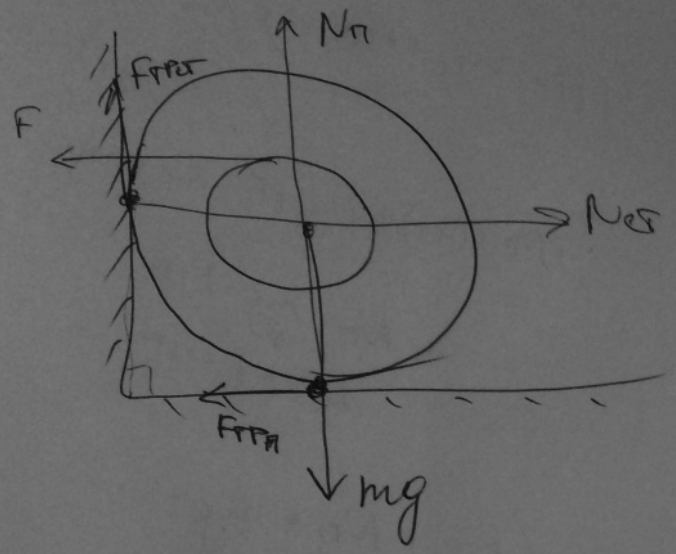
Дата проведения: **27 февраля 2021 года**

ШИФР РАБОТЫ 4646442

	1	2	3	4	∑
Вопрос	*10*	*2*	*9*	*10*	*91*
Задача	*15*	*15*	*15*	*15*	

4646442

Черновик



$N_п + F_{тр ст} = mg$

$N_{ст} = F_{тр п} + F$

$$\boxed{\begin{aligned} F_{тр ст} &= mg - N_п \\ F_{тр п} &= F - N_{ст} \end{aligned}}$$

$F = 2F_{тр ст} + F_{тр п}$

$N_п = mg - F_{тр ст} \geq mg - \mu N_{ст}$

$N_{ст} = F - F_{тр п} \geq F - \mu N_п$

$2(F - \mu N_п)(1-\mu)$

$mg \cdot 2\cancel{R} + F_{тр} \cdot 2\cancel{R} = F \cdot \cancel{R} + N_п \cdot 2\cancel{R}$

$2mg + 2F_{тр п} = F + 2N_п$

$$\boxed{T(V) = -\frac{p_0}{V_0 \lambda_R} V^2 + \frac{4p_0}{\lambda_R} V}$$

$$\begin{cases} F_{тр ст} = mg - N_п \\ F_{тр п} = F - N_{ст} \\ F = 2F_{тр ст} + 2F_{тр п} = 2mg - 2N_п + 2F - 2N_{ст} \end{cases}$$

$pV = \left(-\frac{p_0}{V_0} V + 4p_0\right) V = \frac{\lambda}{\lambda_R} T$

$F = \underbrace{2N_п + 2N_{ст} - 2mg} = 2\underbrace{(N_п + N_{ст})}_{\geq} - 2mg =$

$\geq 2\cancel{mg} - 2\mu N_{ст} + 2N_{ст} \cancel{-2mg} = 2N_{ст}(1-\mu)$

$$\begin{cases} N_{ст} = mg - N_п \\ \mu N_п = F - N_{ст} \\ F = 2\mu(N_{ст} + N_п) \end{cases}$$

$\boxed{\alpha = -\frac{p_0}{V_0}}$

$2p_0 = -2\alpha V_0$

$p_0 = \alpha \cdot 3V_0 + \beta$

$3p_0 = \alpha V_0 + \beta$

$p = \alpha V + \beta$

$p(V_0) =$

$p(V) =$

$\boxed{\beta = 4p_0}$

$3p_0 = -\frac{p_0}{V_0} \cdot V_0 + \beta$

1

(Чистовик)

Т.О. $p(V) = -\frac{p_0}{V_0}V + 4p_0$

по закону Мен-Кл:

$pV = \nu RT$

$\left(-\frac{p_0}{V_0}V + 4p_0\right)V = \nu RT$

$T = T(V) = \frac{-p_0}{\nu R V_0}V^2 + \frac{4p_0}{\nu R}V$

$\boxed{T(V) = \frac{-p_0}{\nu R V_0}V^2 + \frac{4p_0}{\nu R}V}$ – квадратичная зависимость, максимум в вершине параболы

$V_B = \frac{\left(\frac{-4p_0}{\nu R}\right)}{2 \cdot \left(\frac{-p_0}{\nu R V_0}\right)} = \frac{4p_0 \cdot \nu R V_0}{2p_0 \cdot \nu R} = 2V_0$

$V_B = 2V_0 \Rightarrow$ т.к. $V_0 < 2V_0 < 3V_0$, в процессе 1-2 это знач. достиг. $\Rightarrow$

$T_{max} = \frac{-p_0}{\nu R V_0} \cdot 4V_0^2 + \frac{4p_0}{\nu R} \cdot 2V_0 = \frac{-4p_0V_0}{\nu R} + \frac{8p_0V_0}{\nu R} = \frac{4p_0V_0}{\nu R}$

$\boxed{T_{max} = \frac{4p_0V_0}{\nu R}}$

$\Rightarrow U_{max} = \frac{3}{2} \cdot \nu R T_{max} = \frac{3}{2} \cdot \nu R \cdot \frac{4p_0V_0}{\nu R} = 6p_0V_0$

$\boxed{U_{max} = 6p_0V_0}$

$U_{max} = 6 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0{,}1 = 30 \cdot 10^4 \cdot 0{,}1 = 3 \cdot 10^4$ Дж $= 30$ кДж

Ответ: 30 кДж

10

Вопрос к задаче: (Учеловик)

Внутренняя энергия термодинамической системы - суммарная полная энергия молекул, входящих в систему. В модели идеального газа пренебрегается взаимодействие между молекулами, ⇒ во внутреннюю энергию будут входить кинетические энергии молекул (полные, а не только поступательного движения!!!). Т.к. разные молекулы обладают разными степенями свободы, формулу внутренней энергии можно обобщить:

$U = \frac{i}{2}\nu RT$, где i - степень свободы, T - абс. температура газа

эта формула была выведена в предположении (доказанном экспериментально), что $U \sim T$.

Из этого так же следует, что энергию газа можно получить, измеряя его температуру и зная количественные характеристики (кол-во вещ-ва, массу и т.д.), т.е. при помощи термометра или других приборов, измеряющих температуру.

№3.в.2

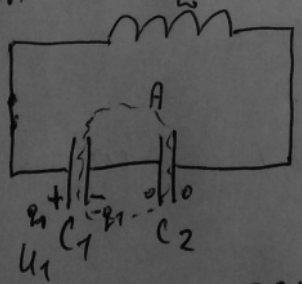
$C_1 = 10^{-5}$ Ф

$C_2 = 10^{-6}$ Ф

$U_{1max} = 36$ В

$U_1 - ?$

1) Рассмотрим момент сразу после замыкания ключа:



ток в катушке скачком не меняется ⇒ равен нулю, а т.к. все элементы подключены посл-но, то и во всей цепи ток не идёт.

Напряжение на конденсаторах так же скачком не меняется ⇒ энергия цепи в этот момент времени равна $W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} + \frac{C_2 U_2^2}{2}^{=0} + \frac{LI^2}{2}^{=0}$

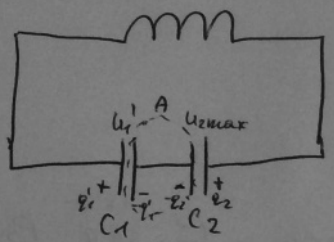
$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2}$

11

(Чистовик)

Не умаляя общности, предположим, что полярность конденсатора была такой, как на представленном рисунке (иначе просто изменится направление тока), тогда в системе «А' изначально был заряд: $q_1 = C_1 U_1$

2) Рассмотрим момент, когда напряжение на конденсаторе в первый раз достигнуло амплитудного значения:



Т.к. $U_2 = U_{2max}$, то ток через конденсатор ёмкостью C_2 равен нулю, а значит и во всей цепи тока нет.

Предположим, что полярность конденсаторов такие, как на схеме, тогда:

по закону сохр. заряда: $-q_1' + (-q_2) = C_1 U_1$ (в сис. «А')

$$-C_1 U_1' - C_2 U_{2max} = C_1 U_1$$

$$C_1 U_1' = C_1 U_1 - C_2 U_{2max}$$

$$U_1' = U_1 - \frac{C_2}{C_1} U_{2max}$$

!!! *если полярность конденсатора 1 изменилась, на модуль напряжения это не повлияет

Энергия цепи: $W_2 = \frac{C_1 U_1'^2}{2} + \frac{C_2 U_{2max}^2}{2} + \frac{L I_2^2}{2}$ ($I_2 \to 0$)

$$W_2 = \frac{C_1 U_1'^2}{2} + \frac{C_2 U_{2max}^2}{2}$$

ЗСЭ:

$$W_1 = W_2$$

$$\frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{C_1 U_1'^2}{2} + \frac{C_2 U_{2max}^2}{2}$$

$$\frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{C_1 \left(U_1 - \frac{C_2}{C_1} U_{2max}\right)^2}{2} + \frac{C_2 U_{2max}^2}{2}$$

12

Цветовик

$C_1 U_1^2 = C_1 U_1'^2 + C_2 U_{2max}^2$

$C_1 U_1^2 = C_1 \left(U_1 - \frac{C_2}{C_1} U_{2max}\right)^2 + C_2 U_{2max}^2$

$C_1 U_1^2 = C_1 \left(U_1^2 - 2U_1 \cdot \frac{C_2}{C_1} U_{2max} + \left(\frac{C_2}{C_1}\right)^2 U_{2max}^2\right) + C_2 U_{2max}^2$

$C_1 U_1^2 = C_1 U_1^2 - 2U_1 \cdot C_2 U_{2max} + \frac{C_2^2}{C_1} U_{2max}^2 + C_2 U_{2max}^2$

$2 C_2 U_1 \cdot U_{2max} = C_2 U_{2max}^2 \left(\frac{C_2}{C_1} + 1\right)$

$2 U_1 U_{2max} = U_{2max}^2 \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1}$

$\left(U_1 = \frac{C_1 + C_2}{2C_1} U_{2max}\right)$

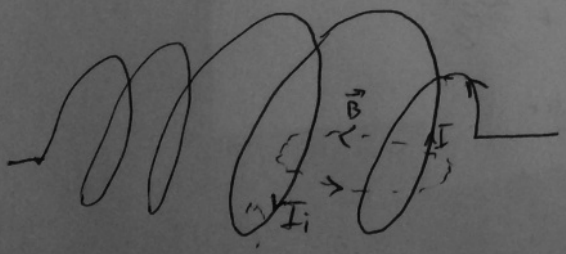
$U_1 = \frac{10^{-5} + 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-6}} \cdot 364 = \frac{10+1}{2} \cdot 364 = \frac{11}{2} \cdot \overset{182}{\cancel{364}}$ В

$U_1 = 11 \cdot 182 = 2002$ В

Ответ: 2002 В

Ответ на вопрос к задаче:

Покажем явление самоиндукции на примере катушки:

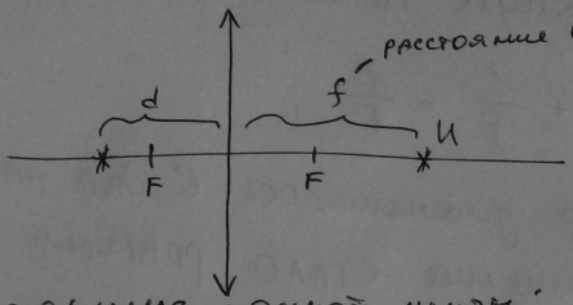


Допустим, через катушку только начинает течь ток, тогда вокруг рассматриваемого витка возникает магнитное поле, что ведёт к изменению магнитного потока в соседнем витке ⇨ появлению индукционного тока, который будет препятствовать увеличению тока в катушке. Возникновение этого индукционного тока благодаря воздействию на проводник магнитного поля другого элемента в контуре, и является явлением самоиндукции. (L – коэффициент пропорциональности (индуктивность) между потоком, пронизывающим контур, и током в нём: $\Phi = LI$)

Чистовик

№4.10.1

$k = 5$ раз $h = 2$ раза $h = 1$ см	Пусть расстояние от предмета до линзы было $d > F$ (т.к. изображение действительное), тогда:
$F - ?$	1) До того, как передвинули предмет:

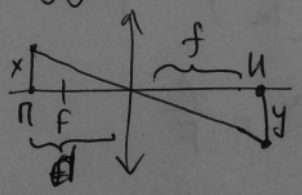


по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$$

Т.к. по усл. поперечное увеличение $\Gamma = k$, то

$$\frac{f}{d} = k$$ (это следует из подобия:



$\Gamma = \frac{y}{x} = \frac{f}{d}$)

$\Rightarrow f = kd$

тогда:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{kd} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{d}\left(1 + \frac{1}{k}\right) = \frac{1}{F}$$

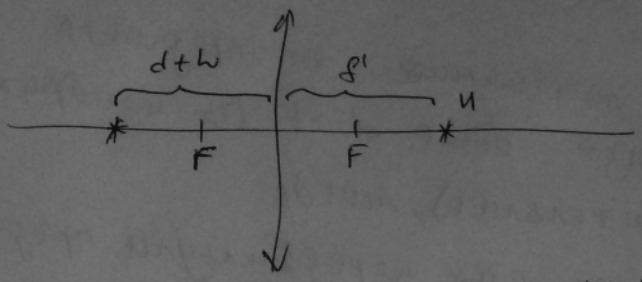
$$\frac{1}{d} \cdot \frac{k+1}{k} = \frac{1}{F} \Rightarrow \boxed{d = \frac{k+1}{k} \cdot F}$$

14

4646442

(Чистовик)

2) после увеличения расстояние от предмета до линзы:



по формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d+h} + \frac{1}{f'} = \frac{1}{F}$$

т.к. изобр. уменьшилось в два раза, увеличение стало равным $\Gamma' = \frac{f'}{h} = \frac{k}{h}$

т.е. $\frac{f'}{d+h} = \frac{k}{h} \Rightarrow f' = \frac{k}{h}(d+h) \Rightarrow$

$$\frac{1}{d+h} + \frac{1}{\frac{k}{h}(d+h)} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{d+h}\left(1 + \frac{h}{k}\right) = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{d+h} \cdot \frac{k+h}{k} = \frac{1}{F}$$

$$\Rightarrow d+h = F \cdot \frac{k+h}{k}$$

Подставим d:

$$\frac{k+h}{k}F + h = \frac{k+h}{k}F$$

$$F\left(\frac{k+h}{k} - \frac{k+h}{k}\right) = h$$

$$F \cdot \frac{h-1}{k} = h$$

$$\boxed{F = \frac{k}{h-1}h} \Rightarrow F = \frac{5}{2-1} \cdot 1\text{см} = \underline{5\text{см}}$$

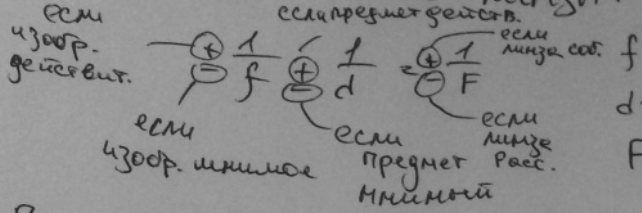
Ответ: 5см

15

Чистовик

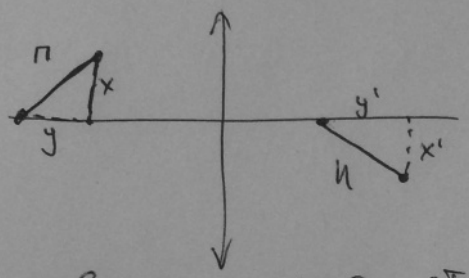
Ответ на вопрос к задаче

Формула тонкой линзы:



f – расстояние от линзы до изобр.
d – расст. от предмета до линзы
F – фокусное расстояние линзы

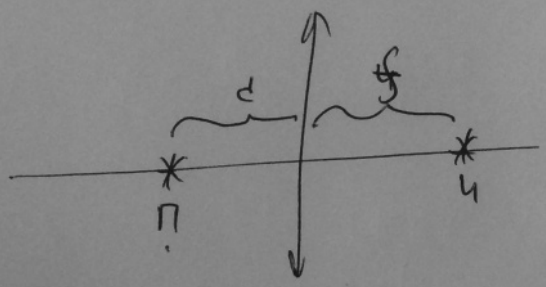
Поперечное увеличение предмета: отношение составляющих длин изобр. и предмета, перпендикулярных главной оптической оси:



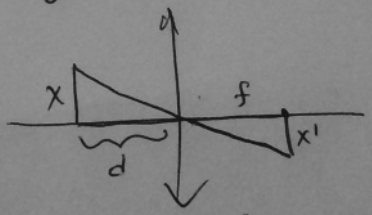
Поперечное увеличение:

$$\Gamma = \frac{x'}{x}$$

Т.к. Г зависит только от расстояния предмета до линзы, его можно ввести для точечного предмета:

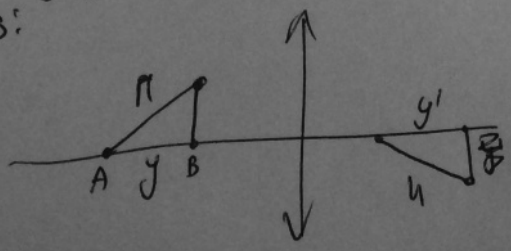


При этом $\Gamma = \frac{f}{d}$, что доказывается из подобия треугольников:



$$\Gamma = \frac{x'}{x} = \frac{f}{d}$$

Так же удобно ввести продольные увеличения предметов:

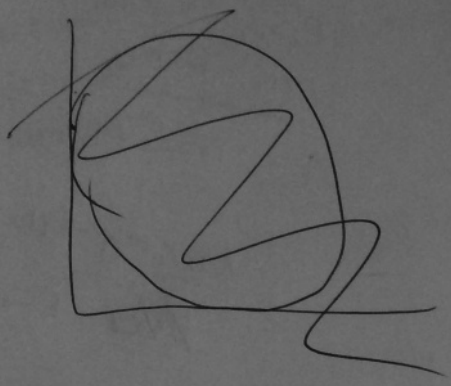


$$\beta = \frac{y'}{y}$$

при этом можно доказать, что $\beta_{AB} = \Gamma_A \cdot \Gamma_B$

16

Чернобак



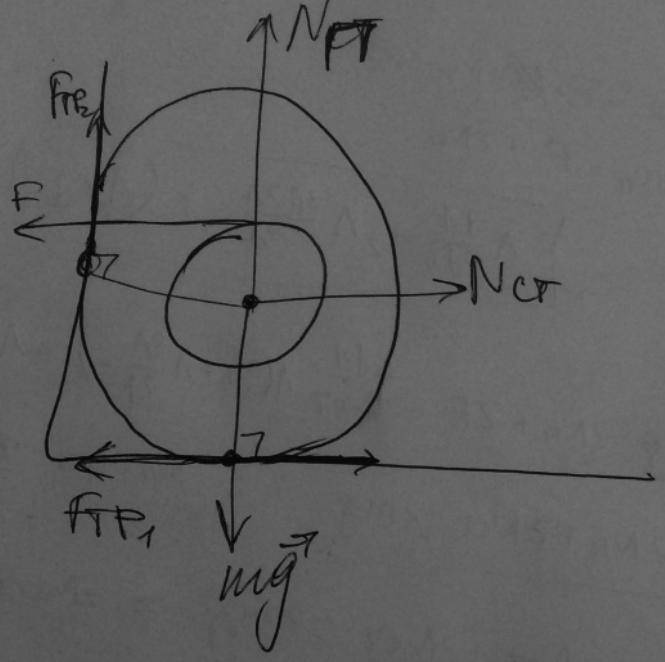
$F = F_{тр1} + F_{тр2} \geq \mu N_п + \mu N_{ст}$

$\mu(N_п + N_{ст})$

$(N_п + N_{ст}) \geq (mg + F - F_{тр2} + F_{тр1})$

$N_п = mg - F_{тр2}$

$N_{ст} = F + F_{тр1}$



$\begin{cases} F_{тр2} + N_п = mg \\ N_{ст} = F + F_{тр1} \end{cases}$

$F_{тр2} = mg - N_п$

$F_{тр}$

$N_{ст} = mg - F_{тр2} \geq mg - \mu N_{ст}$

$N_{ст}(1+\mu) \geq mg$

$N_{ст} \geq$

$N_{ст} = mg - F_{тр2} \geq mg - \mu N_{ст}$

$N_п + \mu N_{ст} \geq mg$

$N_{ст} = 2N_{ст} + 2N_п - 2mg$

$N_{ст} = 2mg - 2N_п$

$F_{тр} \cdot R = (F_{тр1} + F_{тр2}) \cdot 2R$

$F = 2(F_{тр1} + F_{тр2})$

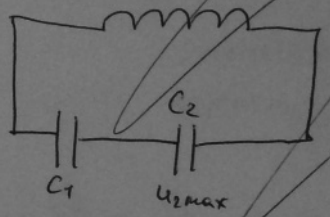
$F - N_{ст} + mg - N_п$

$F = 2F - 2N_{ст} + 2mg - 2N_п$

$F = 2N_{ст} + 2N_п - 2mg$

2

г) Рассмотрим момент, когда напряжение на конденсаторе ёмкостью C_2 достигло амплитудного значения:



ЧЕРНОВИК

182
+ 11
182
182
2002

$-C_1U_1 = C_1 \cdot U_1' + C_2U_{2max}$

$U_1' = \frac{C_2U_{2max} + C_1U_1}{C_1} =$

$= \left(\frac{C_2}{C_1}U_{2max} - U_1\right)$

$\frac{C_1U_1^2}{2} = \frac{C_1\left(\frac{C_2}{C_1}U_{2max} - U_1\right)^2}{2} + \frac{C_2U_{2max}^2}{2}$

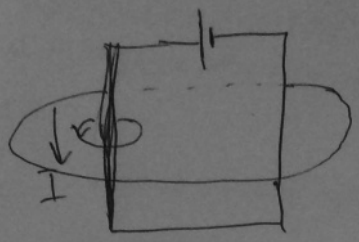
$\frac{C_1U_1^2}{2} = \frac{C_1\left(\left(\frac{C_2}{C_1}\right)^2U_{2max}^2 - 2\frac{C_2}{C_1}U_{2max}U_1 + U_1^2\right)}{2} + \frac{C_2U_{2max}^2}{2}$

$\frac{C_1U_1^2}{2} = \frac{C_2^2}{C_1}U_{2max}^2 - 2\frac{C_2}{C_1}U_{2max}U_1 + C_1U_1^2 + C_2U_{2max}^2$

3

4646442

Черновик

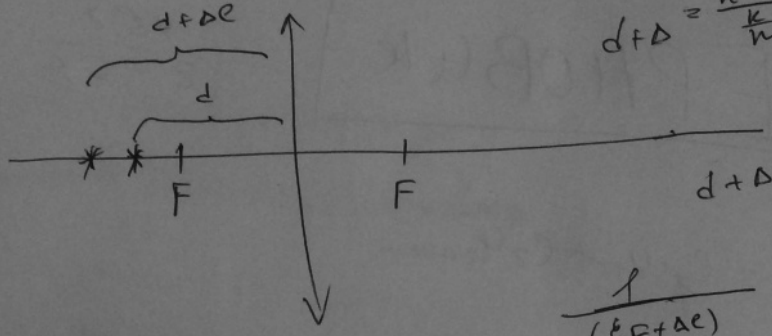


$\frac{k}{n}$

d

$\frac{1}{\frac{k}{n}(d+\Delta)} + \frac{1}{d+\Delta} = \frac{1}{F}$

$d+\Delta = \frac{\frac{k}{n}+1}{\frac{k}{n}} F$



$d+\Delta = \frac{k+n}{k} F$

$\frac{1}{(\frac{k}{5}F+\Delta e)}$

$\frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{kd} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$

$\Gamma = \frac{f}{d} = k$

$\frac{1}{d}\left(\frac{k+1}{k}\right) = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$

$d\frac{k}{k+1} = F$

$d = \frac{k+1}{k} F$

$F = \frac{k\Delta}{n-1}$

$\frac{1}{5d} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F}$

$\frac{6}{5d} = \frac{1}{F}$

$d = \frac{6}{5} F$

$\frac{k+1}{k} F + \Delta = \frac{k+n}{k} F$

$F\left(\frac{k+n}{k} - \frac{k+1}{k}\right) = \Delta$

$F\frac{n-1}{k} = \Delta$

4

Чернобыль

$$V_B = \frac{-\frac{4P_0}{VR}}{-\frac{2P_0}{V_0 V}} = 2V_0$$

$$-x^2 +$$

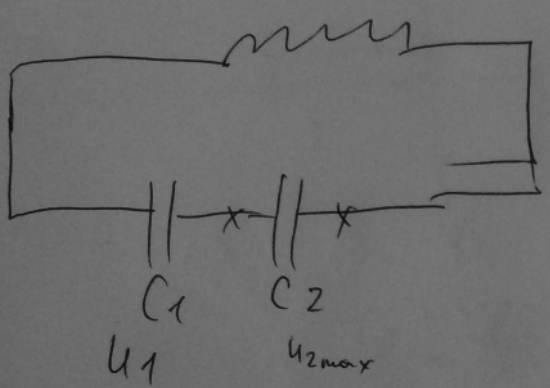
$$-\frac{4}{V_0}x^2 + 4x =$$

$$= -\frac{1}{V_0}x^2 + 4x$$

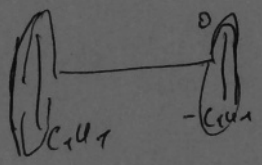
$$V_B = \frac{-4}{-\frac{2}{V_0}} = 2V_0$$

$$-\frac{1}{V_0} \cdot 4V_0^2 +$$

$I = 0$



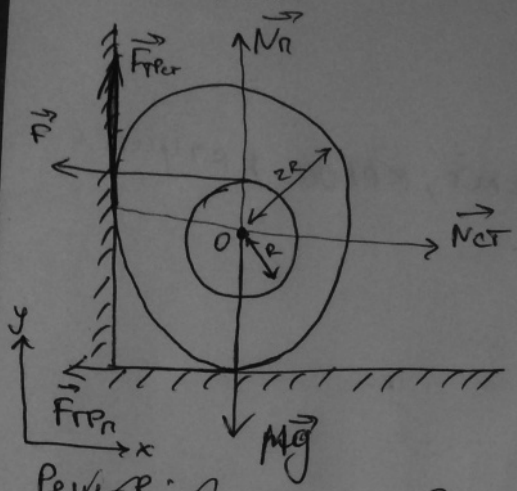
C_1



I

Чистовик | ВАРИАНТ №2

№ 1.10.2



Дано:
$M = 720г$
$\mu = 0{,}2$

Найти: F_{min} - ?

Реш-е:

~~Рассмотрим критический момент, когда катушка~~

Реш-е:

до того, как катушка начала вращаться:

1 у.р.: $\vec{F} + \vec{N_П} + \vec{N_{CT}} + M\vec{g} + \vec{F_{TPП}} + \vec{F_{TPCT}} = \vec{0}$

(условие равновесия) X: $N_{CT} - F_{TPП} - F = 0$

y: $N_П + F_{TPCT} - Mg = 0$

2. у.р. т. O - полюс:

~~$M_F + M_{F_{TPCT}} + M_{N_П} + M_{N_{CT}} + M_{Mg} = 0$~~

$M_F = F \cdot R$

$M_{F_{TPCT}} = F_{TPCT} \cdot 2R$

$M_{F_{TPП}} = F_{TPП} \cdot 2R$

$M_{Mg} = M_{N_П} = M_{N_{CT}} = 0$

$\Rightarrow F \cdot R = F_{TPCT} \cdot 2R + F_{TPП} \cdot 2R$

$F = 2(F_{TPCT} + F_{TPП})$

↓

Чистовик

Получаем сист. уравнений:

$$\begin{cases} N_{ст} - F_{тр_п} - F = 0 \\ N_п + F_{тр_{ст}} - Mg = 0 \\ F = 2(F_{тр_{ст}} + F_{тр_п}) \end{cases}$$

Рассмотрим критический момент, когда катушка только начнёт вращаться, тогда:

- $F = F_{min}$
- $F_{тр_п} = F_{тр_п\ скольж} = \mu N_п$
- $F_{тр_{ст}} = F_{тр_{ст}\ скольж} = \mu N_{ст}$

$\Rightarrow$

$$\begin{cases} N_{ст} - \mu N_п - F_{min} = 0 & (1) \\ N_п + \mu N_{ст} - Mg = 0 & (3) \\ F_{min} = 2\mu(N_п + N_{ст}) & (2) \end{cases}$$

(2) $\to$ (1) $N_{ст} - \mu N_п - 2\mu N_п - 2\mu N_{ст} = 0$

$N_{ст}(1 - 2\mu) = 3\mu N_п$

$N_п = N_{ст} \cdot \frac{1-2\mu}{3\mu}$ $\Rightarrow$

(3) $N_{ст} \cdot \frac{1-2\mu}{3\mu} + \mu N_{ст} - Mg = 0$

$N_{ст}\left(\frac{1-2\mu}{3\mu} + \mu\right) = Mg$

$N_{ст} \cdot \frac{1-2\mu+3\mu^2}{3\mu} = Mg$

$N_{ст} = Mg \cdot \frac{3\mu}{1-2\mu+3\mu^2}$

Человек

(2) $F_{min} = 2\mu\left(N_{ст} \cdot \frac{1-2\mu}{3\mu} + N_{ст}\right) =$

$= 2\mu N_{ст}\left(\frac{1-2\mu}{3\mu} + 1\right) = 2\mu N_{ст} \cdot \frac{1-2\mu+3\mu}{3\mu} = 2\mu N_{ст} \cdot \frac{1+\mu}{3\mu}$

$F_{min} = \frac{2(1+\mu)}{3\mu} \cdot \mu N_{ст}$

$F_{min} = \frac{2}{3}(1+\mu) N_{ст} = \frac{2}{3}(1+\mu) \cdot \frac{3\mu}{1-2\mu+3\mu^2} \cdot Mg$ ($N_{ст}$)

$\left(F_{min} = \frac{2(1+\mu)\mu}{3\mu^2-2\mu+1} \cdot Mg\right)$

$F_{min} = \frac{2 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}2}{3 \cdot 0{,}04 - 2 \cdot 0{,}2 + 1} \cdot 0{,}72 \cdot 10$ (Н)

$F_{min} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 2}{3 \cdot 4 - 2 \cdot 20 + 100} \cdot 7{,}2 = \frac{2 \cdot 12 \cdot 2}{12 - 40 + 100} \cdot 7{,}2 =$

$= \frac{2 \cdot 12 \cdot 2}{72} \cdot 7{,}2 = \frac{2 \cdot 12 \cdot 2}{10} = \frac{12 \cdot 4}{10} = \frac{48}{10} = \boxed{4{,}8\ Н}$

Ответ: 4,8 Н

~~Вопрос~~

~~сила трения (сухого) – сила взаимо~~

Вопрос к ЗАДАЧЕ:

Сила сухого трения – сила, вызванная шероховатостью, неровностью поверхности, на которой находится тело

Сила трения покоя определяется из 2ЗН, т.к. не имеет связи с нормальной реакцией опоры, однако известно, что она всегда меньше или равна

(Источник)

своего критического значения, которое принимает как только тело начнёт двигаться по поверхности. Силу трения скольжения можно определить по формуле $F_{тр} = \mu N$, где μ - коэф. трения, N - норм. реакция опоры.

Т.о. μ - коэф. пропорциональности м/д $F_{тр\ скольж}$ и N

Также $\mu = \operatorname{tg}\alpha$, где α - угол наклонной плоскости, при котором тело только только начинает (по ней) скользать.

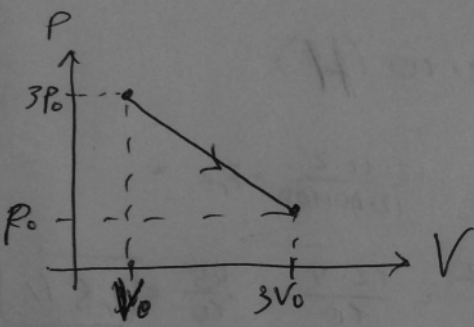
Также стоит отметить, что $F_{тр\ покоя} \leq \mu N$, хотя в реальной жизни, как только тело начинает своё движение, сила трения может на малое время превышать это значение.

№2.4.1

$V_0 = 0{,}1\ м^3$

$P_0 = 5 \cdot 10^4\ Па$

$U_{max} - ?$



$$U = \frac{3}{2}\nu RT$$

$$\Rightarrow U_{max} = \frac{3}{2}\nu RT_{max}$$

Из графика: $P(V)$ - линейная зависимость, получим её

Пусть $P(V) = \alpha V + \beta$

тогда:

$$\begin{cases} 3P_0 = \alpha V_0 + \beta \\ P_0 = \alpha \cdot 3V_0 + \beta \end{cases} \Rightarrow 3P_0 - P_0 = \alpha V_0 - \alpha \cdot 3V_0$$

$$2P_0 = -2\alpha V_0$$

$$\boxed{\alpha = -\frac{P_0}{V_0}}$$

$$3P_0 = \left(-\frac{P_0}{V_0}\right) \cdot V_0 + \beta$$

$$3P_0 = -P_0 + \beta \Rightarrow \boxed{\beta = 4P_0}$$