



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

Вариант 1

Место проведения Москва
город

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников «Ломоносов»
наименование олимпиады

по физике
профиль олимпиады

Усенко Рёдора Михайловича
фамилия, имя, отчество участника (в родительном падеже)

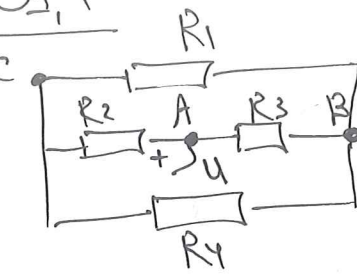
Дата
«14» февраля 2025 года

Подпись участника
Р

68-59-28-59
(5.3)

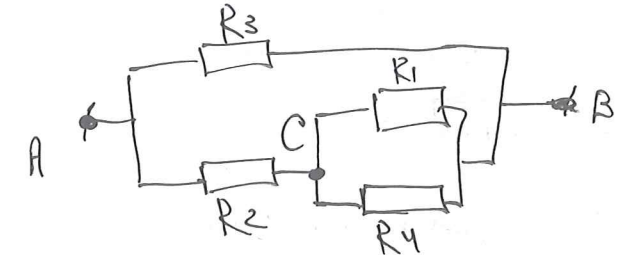
28.4

С



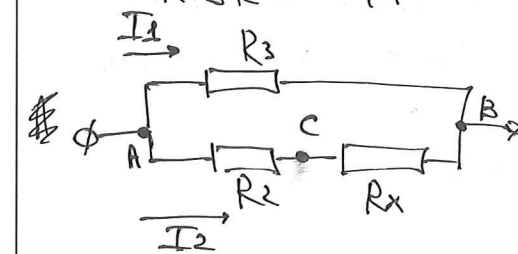
Дано: $R_1 = R$; $R_2 = 1,25R$; $R_3 = R_4 = 3R$
Найти: $U_{AC} = ?$
 $U = 32B$

1. Перерисуем схему:



Заметим, что мы можем заменить фрагмент схемы на эквивалентный резистор: R_x

Тогда: $\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \Rightarrow R_x = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} =$
 $= \frac{R \cdot 3R}{R + 3R} = \frac{3}{4}R$



$\begin{cases} I_1 R_3 = U \\ I_2 R_2 + I_2 R_x = U \end{cases} \Rightarrow I_2 (R_2 + R_x) = U$
 $I_2 = \frac{U}{R_2 + R_x}$

$U_{AC} = I_2 R_2 = \frac{U R_2}{R_2 + R_x} = \frac{U \cdot 1,25R}{1,25R + 0,75R} = \frac{U \cdot 5R}{2R} =$
 $= \frac{5}{8}U$

$U_{AC} = \frac{5}{8} \cdot 32B = \boxed{20B}$

Ответ: $U_{AC} = 20B$

Черновиков нет.

ахуа
93 (двухместно три)
20 20 20 20 20
1 2 3 4 5 6
20 20 20 20 20 20
Каждый лист-вкладыш имеет свой номер

21.1.

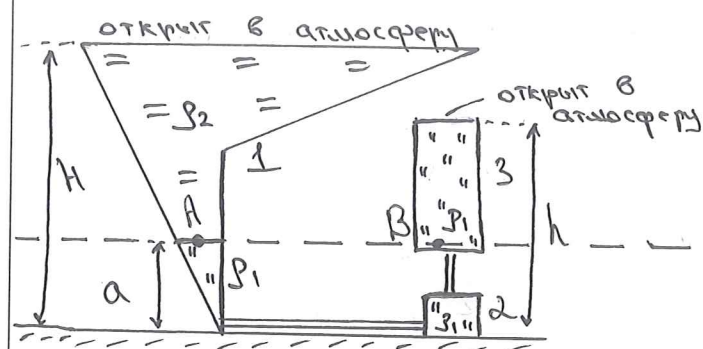
$$\text{Дано: } \rho_2 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_1 = 1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$h = 114 \text{ мм}$$

$$H = 140 \text{ мм}$$

a - ?



1. Пусть P_0 - атмосферное давление.

2. Т.к. система устойчива, а жидкости не вытекают из сосудов, то давления жидкости на одном уровне одинаковы.

3. Распишем давление в сосудах на высоте a от поверхности:

$$P_A = P_0 + \rho_2 g (H - a)$$

$$P_B = P_0 + \rho_1 g (h - a)$$

Т.к. точки А и В находятся на одном уровне, а жидкости статичны, то:

$$P_A = P_B \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_0 + \rho_2 g (H - a) = P_0 + \rho_1 g (h - a)$$

$$\rho_2 (H - a) = \rho_1 (h - a)$$

$$\rho_2 H - \rho_2 a = \rho_1 h - \rho_1 a$$

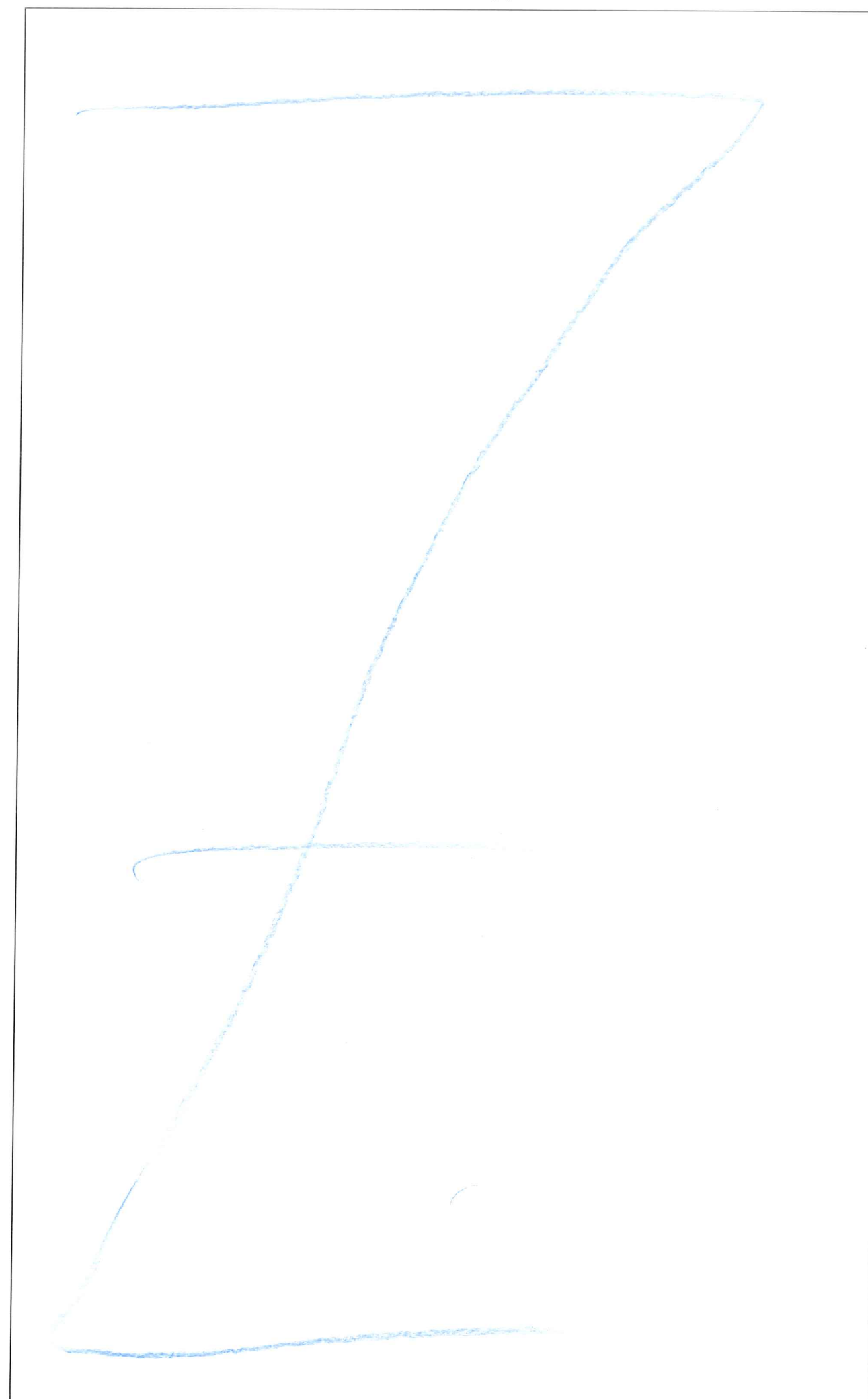
$$a(\rho_1 - \rho_2) = \rho_1 h - \rho_2 H$$

$$a = \frac{\rho_1 h - \rho_2 H}{\rho_1 - \rho_2}$$

$$a = \frac{1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 114 \text{ мм} - 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 140 \text{ мм}}{1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{1260 \cdot 114 - 1000 \cdot 140}{260} \text{ мм}$$

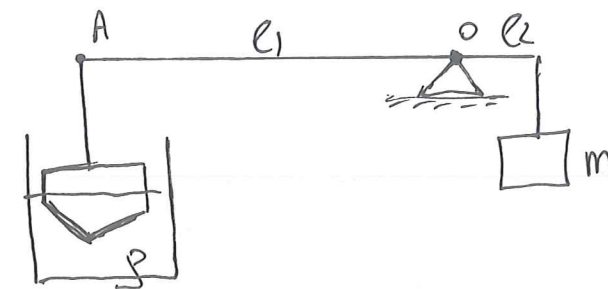
$$= \frac{126 \cdot 114 - 100 \cdot 140}{26} \text{ мм} = \frac{63 \cdot 2 \cdot 114 - 100 \cdot 70 \cdot 2}{2 \cdot 13} \text{ мм} =$$

$$= \frac{63 \cdot 114 - 7000}{13} \text{ мм} = \frac{182}{13} \text{ мм} = 14 \text{ мм}$$



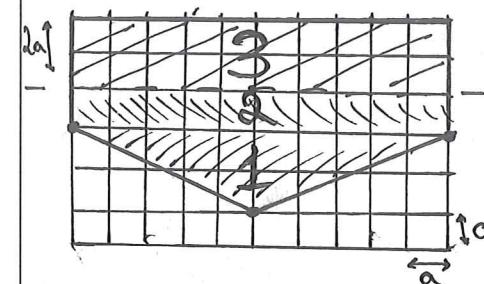
68-59-28-59
(5.3)Ответ: $a = 14 \text{ мм}$.

D12



Дано: профиль поплавка
 $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
 $a = 1 \text{ см}$
 $m = 0,7 \text{ кг}$
 $l_1 = 50 \text{ см}$
 $l_2 = 10 \text{ см}$
 $\rho_{\text{пл}} = ?$

1. С помощью профиля поплавка найдём объём поплавка и его погружённой части:



Т.к. мы знаем, что профиль постоянен по всей длине поплавка, которая равна $d = 10a = 10 \text{ см}$, разделим поплавок на 3 части и найдём их площади:

$$\begin{aligned} S_3 &= 2a \cdot 10a = 20a^2 \\ S_2 &= a \cdot 10a = 10a^2 \\ S_1 &= \frac{2a \cdot 10a}{2} = 10a^2 \end{aligned}$$

$$V_3 = S_3 \cdot d = 20a^2 \cdot 10a = 200a^3$$

$$V_2 = S_2 \cdot d = 10a^2 \cdot 10a = 100a^3$$

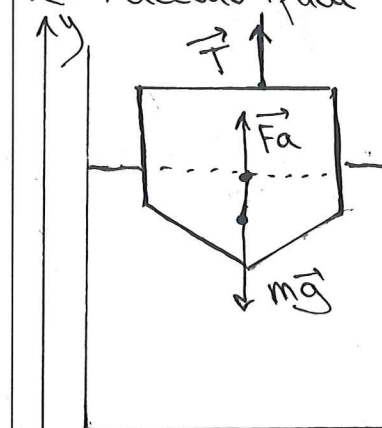
$$V_1 = S_1 \cdot d = 10a^2 \cdot 10a = 100a^3$$

Тогда объём погружённой части $V_{\text{погр}} = V_1 + V_2$

Объём всего поплавка $V_0 = V_1 + V_2 + V_3$

$$V_{\text{погр}} = 200a^3; \quad V_0 = 400a^3$$

2. Рассмотрим



поплавок в жидкости (в воде):

Т.к. система находится в равновесии, то поплавок так же неподвижен

Запишем второй закон Ньютона для поплавка на ось Oy :

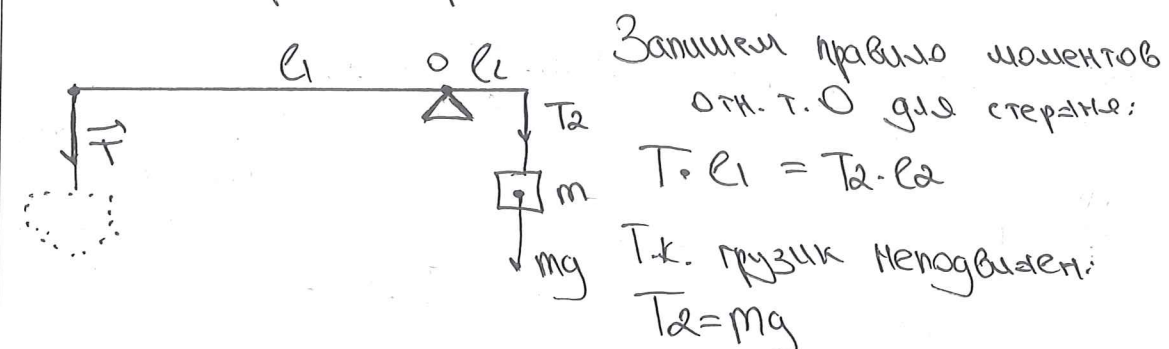
$$T + Fa - mg = m \cdot ay$$

$$T + Fa = mg$$

$$T = mg - Fa = \rho_n \cdot V_0 \cdot g - \rho \cdot V_{\text{погр}} \cdot g =$$

$$= \rho_n \cdot 400a^3 \cdot g - \rho \cdot 200a^3 \cdot g = 200a^3 \cdot g \cdot (2\rho_n - \rho)$$

3. Рассмотрим стержень:



$$200a^3 \cdot g \cdot (2\rho_n - \rho) \cdot l_1 = mg \cdot l_2$$

$$2\rho_n - \rho = \frac{mg \cdot l_2}{200a^3 \cdot g \cdot l_1}$$

$$2\rho_n = \frac{mg \cdot l_2}{200a^3 \cdot g \cdot l_1} + \rho$$

$$\rho_n = \frac{mg \cdot l_2}{400a^3 \cdot g \cdot l_1} + \frac{\rho}{2}$$

$$\rho_n = \frac{0,7 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ см}}{400 \cdot 1 \text{ см}^3 \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 50 \text{ см}} + \frac{1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{2} =$$

$$= \frac{700 \text{ г}}{2000 \text{ см}^3} + \frac{1}{2} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \left(\frac{7}{20} + \frac{1}{2} \right) \frac{\text{г}}{\text{см}^3} =$$

$$= \left(\frac{7}{20} + \frac{10}{20} \right) \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{17}{20} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{85}{100} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 0,85 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} =$$

$$= \boxed{850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}$$

Ответ: $\rho_n = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

(+) 20

$a_{\text{кон}}$ — ускорение бусинок в финальный момент времени.

Тогда среднее ускорение на всем участке:

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_{\text{кон}}}{2} = \frac{k \Delta \phi_0 \sqrt{3}}{20m}$$

$$L\sqrt{3} = \frac{v_0^2}{2a_{\text{ср}}} = \frac{v_0^2}{a_{\text{кон}}}$$

$$a_{\text{кон}} L\sqrt{3} = v_0^2$$

$$\frac{k \Delta \phi_0 \sqrt{3}}{10m} \cdot L\sqrt{3} = (0,8 \sqrt{2gh})^2$$

$$\frac{3k \Delta \phi_0 L}{10m} = \left(\frac{4}{5} \cdot \sqrt{2gh} \right)^2$$

$$\frac{3k \Delta \phi_0 L}{2 \cdot 10m} = \frac{16}{5 \cdot 25} \cdot 2gh$$

$$\frac{3k \Delta \phi_0 L}{2m} = \frac{16}{5} \cdot 2gh \Rightarrow h = \frac{3k \Delta \phi_0 L}{2m} \cdot \frac{5}{32g}$$

$$h = \frac{3 \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,1 \text{ м} \cdot 0,1 \text{ м}}{2 \cdot 0,01 \text{ кг}} \cdot \frac{5}{32 \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 10 \cdot 0,01}{2 \cdot 0,01} \cdot \frac{5}{32 \cdot 10} \text{ м} = \boxed{\frac{15}{64} \text{ м}}$$

Ответ: $h = \frac{15}{64} \text{ м}$.

$$\sin \alpha_{\text{кон.}} = \frac{1}{2} \quad \left| \Rightarrow \alpha_{\text{кон.}} = 30^\circ \right.$$

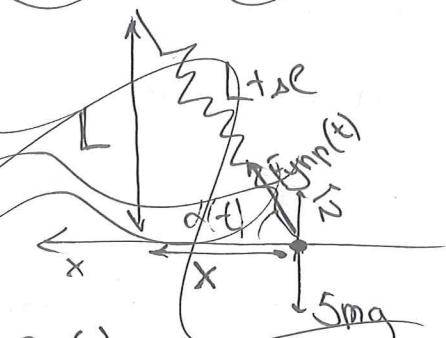
$$\cos \alpha_{\text{кон.}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

В произвольный момент времени ускорение

$$a_x(t) =$$

2-й закон Ньютона на

$$Ox: F_{\text{упр}}(t) \cdot \cos(\alpha(t)) =$$

$$= 5m \cdot a_x(t)$$


$$k \Delta l(t) \cdot \cos(\alpha(t)) = 5m \cdot a_x(t)$$

$$x^2 + L^2 = (L + \Delta l)^2$$

$$x^2 = (L + \Delta l - L)(2L + \Delta l) = (2L + \Delta l) \Delta l$$

$$x = \sqrt{(2L + \Delta l) \Delta l}$$

$$\cos(\alpha(t)) = \frac{\sqrt{(2L + \Delta l) \Delta l}}{L + \Delta l}$$

$$k \Delta l \cdot \frac{\sqrt{(2L + \Delta l) \Delta l}}{L + \Delta l} = 5m \cdot a_x(t)$$

$$a_x = \frac{dx}{dt} \quad \frac{k \Delta l \cdot x}{L + \Delta l}$$

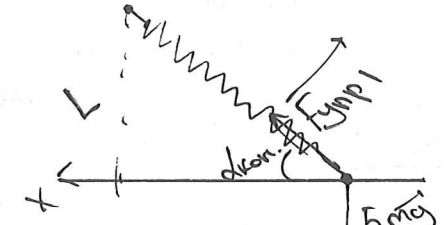
$$k \Delta l \cdot \cos(\alpha(t)) = 5m \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$k \Delta l \cdot \cos(\alpha(t)) dt = 5m \cdot dx$$

Для финального момента времени (момента остановки):

$$Ox: F_{\text{упр.1}} \cdot \cos(\alpha_{\text{кон.}}) = 5m \cdot a_{\text{кон.}}$$

$$k \Delta l_0 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 5m \cdot a_{\text{кон.}}$$

$$a_{\text{кон.}} = \frac{k \Delta l_0 \sqrt{3}}{10m}$$


201.3.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг.}$$

$$t_0 = 20^\circ \text{C}$$

$$t_1 = 60^\circ \text{C}$$

$$\tau_1 = 2,5 \text{ мин.}$$

$$\tau_2 = 10 \text{ мин.}$$

$$P_2 = 2P_1 = 2P$$

$$\tau_3 = 2 \text{ мин.}$$

$$q = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{C}}$$

$$\eta_1 = 0,8$$

$$t_{100} = 100^\circ \text{C}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$\eta_2 = ?$$

1. Нагревание воды в старом чайнике:

$$Q_1 = c \cdot m \cdot (t_1 - t_0) = \eta_1 \cdot P \cdot \tau_1$$

2. Остывание воды в чайнике:

$$\Delta Q = q \cdot \tau_2 = c \cdot m \cdot (t_1 - t_k)$$

t_k - температура, до которой остыла вода в чайнике

3. Нагревание воды в новом чайнике:

$$Q_2 = c \cdot m \cdot (t_{100} - t_k) = \eta_2 \cdot 2P \cdot \tau_3$$

4. Составим систему уравнений:

$$\begin{cases} c \cdot m \cdot (t_1 - t_0) = \eta_1 \cdot P \cdot \tau_1 & (1) \\ q \cdot \tau_2 = c \cdot m \cdot (t_1 - t_k) & (2) \\ c \cdot m \cdot (t_{100} - t_k) = \eta_2 \cdot 2P \cdot \tau_3 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} c \cdot m \cdot (t_1 - t_0) = \eta_1 \cdot P \cdot \tau_1 & (1) \\ q \cdot \tau_2 = c \cdot m \cdot (t_1 - t_k) & (2) \\ c \cdot m \cdot (t_{100} - t_k) = \eta_2 \cdot 2P \cdot \tau_3 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} c \cdot m \cdot (t_1 - t_0) = \eta_1 \cdot P \cdot \tau_1 & (1) \\ q \cdot \tau_2 = c \cdot m \cdot (t_1 - t_k) & (2) \\ c \cdot m \cdot (t_{100} - t_k) = \eta_2 \cdot 2P \cdot \tau_3 & (3) \end{cases}$$

Из 1-го ур-ия: $P = \frac{c \cdot m \cdot (t_1 - t_0)}{\eta_1 \cdot \tau_1}$

Из 2-го ур-ия: $q \cdot \tau_2 = c \cdot m \cdot t_1 - c \cdot m \cdot t_k$

$$c \cdot m \cdot t_k = c \cdot m \cdot t_1 - q \tau_2$$

$$t_k = t_1 - \frac{q \tau_2}{c m}$$

Подставим в третье:

$$c \cdot m \cdot (t_{100} - t_1 + \frac{q \tau_2}{c m}) = 2 \eta_2 \cdot \tau_3 \cdot \frac{c \cdot m \cdot (t_1 - t_0)}{\eta_1 \tau_1}$$

$$t_{100} - t_1 + \frac{q \tau_2}{c m} = \frac{2 \tau_3 (t_1 - t_0)}{\eta_1 \tau_1} \cdot \eta_2$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1 \tau_1}{2 \tau_3 \cdot (t_1 - t_0)} \cdot \left(t_{100} - t_1 + \frac{q \tau_2}{c m} \right)$$

$$\begin{cases} \tau_1 = 2,5 \text{ мин.} \\ \tau_2 = 10 \text{ мин.} = 600 \text{ с.} \\ \tau_3 = 2 \text{ мин.} \end{cases}$$

$$\eta_2 = \frac{0,8 \cdot 2,5 \text{ мин.}}{2 \cdot 2 \text{ мин.} \cdot 40^\circ \text{C}} \cdot \left(40^\circ \text{C} + \frac{400 \frac{\text{Дж}}{\text{C}} \cdot 600 \text{ с}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot 2 \text{ кг}} \right) =$$

$$= \frac{\frac{4}{5} \cdot \frac{5}{2} \text{ мин.}}{4 \text{ мин.} \cdot 40^\circ \text{с}} \cdot \left(40^\circ \text{с} + \frac{400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 600 \text{ кг}}{8400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \right) =$$

$$= \frac{1}{80^\circ \text{с}} \cdot \left(40^\circ \text{с} + \frac{400 \cdot 600}{8400}^\circ \text{с} \right) =$$

$$= \frac{1}{80^\circ \text{с}} \cdot \left(40^\circ \text{с} + \frac{4 \cdot 600}{21 \cdot 4}^\circ \text{с} \right) = \frac{1}{80^\circ \text{с}} \left(40^\circ \text{с} + \frac{600}{21}^\circ \text{с} \right) =$$

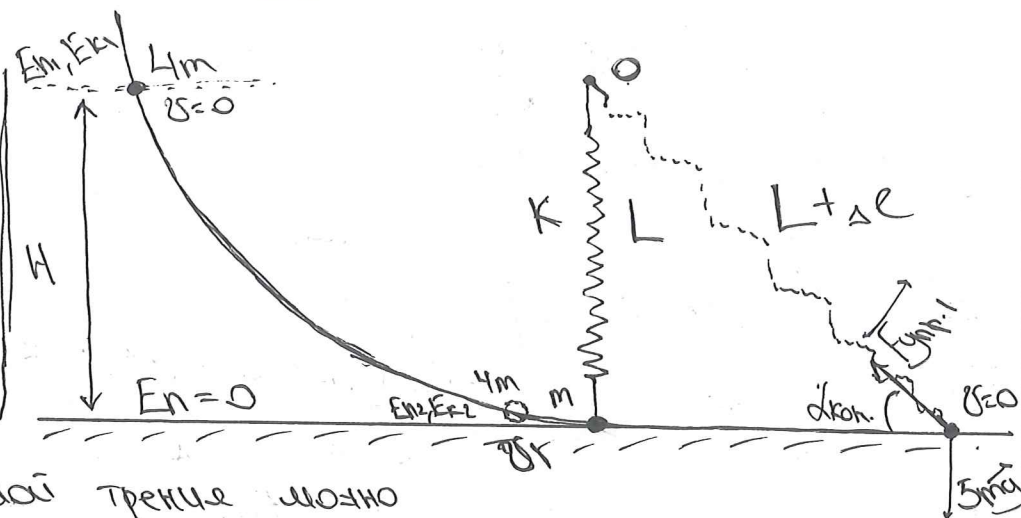
$$= \frac{1}{2} + \frac{600}{21 \cdot 80} = \frac{1}{2} + \frac{4 \cdot 15}{21 \cdot 2 \cdot 4} = \frac{1}{2} + \frac{15}{42} = \frac{21}{42} + \frac{15}{42} =$$

$$= \frac{36}{42} = \boxed{\frac{6}{7}}$$

Ответ: $\frac{1}{2} = \frac{6}{7}$ **+** **20**

21.5.

Дано:
 $m = 0,01 \text{ кг}$
 $k = 10 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
 $L = 0,1 \text{ м}$
 $H = ?$ $N = 0$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$



1. Т.к. сила трения можно

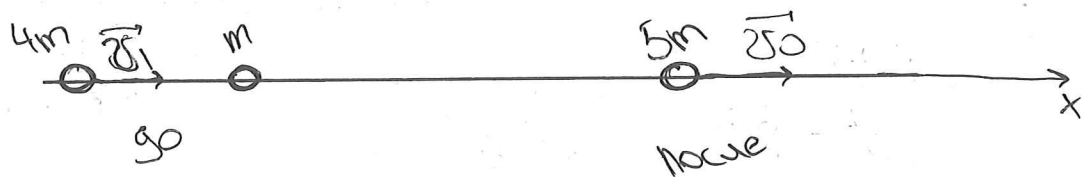
пренебречь, запишем закон сохранения

энергии для бусинки массой 4m: $E_{n1} + E_{k1} = E_{n2} + E_{k2}$

$$4mgH + 0 = 0 + 4m \frac{v_1^2}{2}$$

$$4mgH = 4m \frac{v_1^2}{2} \Rightarrow v_1^2 = 2gH \Rightarrow v_1 = \sqrt{2gH}$$

2. Рассмотрим моменты до удара двух бусинок и сразу после:



Т.к. происходит абсолютно неупругое соударение, то две бусинки "слипаются", превращаясь в одно тело, массой 5m

Запишем закон сохранения импульса системы из двух бусинок (на ось OX):

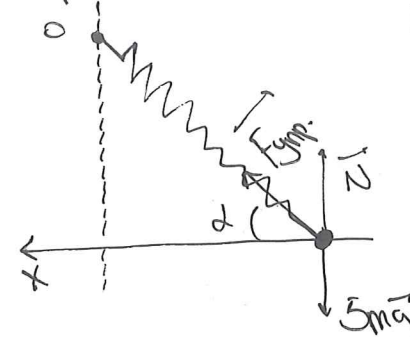
$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

$$\text{OX: } 4m \cdot v_1 + m \cdot 0 = 5m \cdot v_0$$

$$4m v_1 = 5m v_0 \Rightarrow v_0 = 0,8 v_1 = 0,8 \sqrt{2gH} = v_0$$

3. Рассмотрим пружинку и бусинку в произвольный момент времени:

$$F_{\text{упр}} \cdot \cos \alpha = 5m \cdot a_x$$



Для конечного момента времени:

$$5mg = F_{\text{упр}} \cdot \sin(\alpha_{\text{кон}})$$

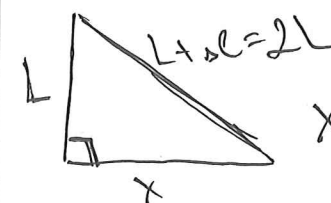
$$5mg = k \Delta L_0 \cdot \frac{L}{L + \Delta L_0} \Rightarrow 5mgL + 5mg \Delta L_0 = kL \Delta L_0$$

$$5mgL = \Delta L_0 (kL - 5mg)$$

$$\Delta L_0 = \frac{5mgL}{kL - 5mg}$$

$$\Delta L_0 = \frac{5 \cdot 0,01 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,1 \text{ м} - 5 \cdot 0,01 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{0,05 \text{ Н} \cdot \text{м}}{1 \text{ Н} - 0,5 \text{ Н}} =$$

$$= \frac{0,05 \text{ Н} \cdot \text{м}}{\frac{1}{2} \text{ Н}} = 2 \cdot 0,05 \text{ м} = 0,1 \text{ м} - \text{на сколько растянется пружина}$$



$$x^2 + L^2 = 4L^2$$

$$x^2 = 3L^2 \Rightarrow x = L\sqrt{3}$$

В момент, когда бусинки перестанут взаимодействовать со стержнем