

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 9

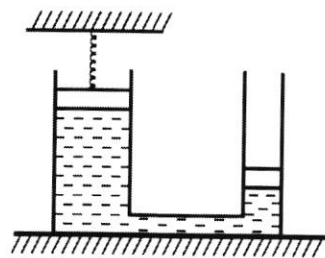
Вариант 09-01

Шифр

(заполняется секретарём)

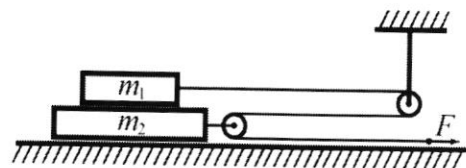
1. Школьник бросает камень вертикально вверх с начальной скоростью $V_0 = 12$ м/с.
- 1) Через какое время t после старта скорость камня будет равна по величине $V_0/3$?
 - 2) На какой высоте h , отсчитанной от точки старта скорость камня будет равна по величине $V_0/3$?
- Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

2. На горизонтальной поверхности расположены два цилиндрических сообщающихся сосуда (см. рис.), в которых налита жидкость плотности ρ . На свободных поверхностях жидкости находятся лёгкие поршни. Зазоров между стенками сосудов и поршнями нет. Левый поршень соединён пружиной жёсткости k с верхней опорой. Разность уровней жидкости в сосудах равна h . Площадь сечения левого поршня S , правого $S/2$. Трение поршней о стенки сосудов пренебрежимо мало. Ускорение свободного падения g .

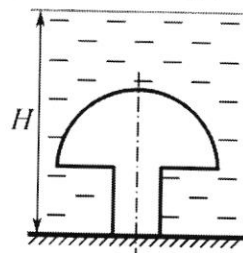


- 1) Найдите деформацию x пружины.
 - 2) Найдите массу m груза, который следует положить на правый поршень, чтобы пружина стала недеформированной.
3. Спутник обращается по круговой орбите вокруг планеты. Высота орбиты $h = 0,5R$, здесь R – радиус планеты. Плотность планеты ρ . Гравитационная постоянная G . Объём шара $V = \frac{4}{3}\pi R^3$.
- 1) Найдите ускорение g свободного падения на расстоянии $2R$ от центра планеты.
 - 2) Найдите период T обращения спутника.

4. На горизонтальном столе находятся бруски, соединённые нитью с системой блоков (см. рис.). Массы брусков $m_1 = 2m$, $m_2 = 3m$. Коэффициент трения скольжения нижнего бруска по столу и верхнего бруска по нижнему равен μ . Массы нити и блоков, а также трение в осях блоков пренебрежимо малы.



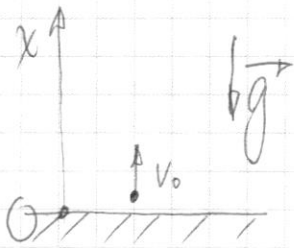
- 1) Найдите величину F_0 горизонтальной силы, которую следует приложить к свободному концу нити, чтобы нижний брусок скользил по столу, а сила трения, действующая на верхний брусок, была равна нулю.
 - 2) Найдите величину F минимальной силы, при которой нижний брусок скользит по столу, а верхний брусок движется влево относительно нижнего бруска.
5. Ко дну бассейна глубиной $H=2,5$ м приклеена осесимметричная конструкция (см. рис.). Клей затвердел. Верхняя поверхность конструкции – полусфера. Объём конструкции $V = 8$ дм³, площадь соприкосновения конструкции с дном через клей $S = 20$ см². Плотность воды $\rho = 1$ г/см³, атмосферное давление $P_0 = 100$ кПа. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².
- 1) Найдите давление P_1 вблизи дна.
 - 2) Найдите величину F силы (с указанием направления), с которой вода действует на конструкцию.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

Дано:
 $V_0 = 12 \text{ м/с}$
 $V_k = \frac{V_0}{3}$
 $g = 10 \text{ м/с}^2$
 $t = ?$
 $h = ?$



Решение:

V_k - скорость камня в
 меньшее время t .
 $V_k = \frac{V_0}{3}$

1). $\vec{V}(t) = \vec{V}_0 + \vec{g}t$

Спроецируем данное ур-е
 на Ox , которая направлена
 по направлению начальной скорости
 камня.
 (начало системы - в (·) броска)

$V(t) = V_0 - gt$

$V_k = V_0 - gt \Leftrightarrow \frac{V_0}{3} = V_0 - gt \Leftrightarrow gt = \frac{2}{3}V_0 \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow t = \frac{2V_0}{3g} \Rightarrow t = \frac{2 \cdot 12}{3 \cdot 10} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ с}$

2). $S = V_0 t - \frac{gt^2}{2}$ (S - пройденный путь, $S = h$)

$Ox: S = V_0 t - \frac{gt^2}{2} = V_0 \cdot \frac{2V_0}{3g} - g \cdot \frac{4V_0^2}{9g^2 \cdot 2} =$

$= \frac{2V_0^2}{3g} - \frac{4V_0^2}{9g} = \frac{2V_0^2}{3g} - \frac{2V_0^2}{9g} = \frac{4V_0^2}{9g}$

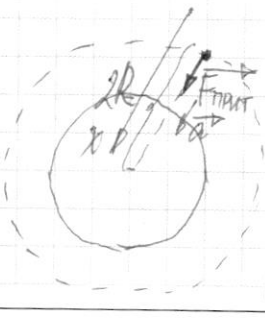
$\Rightarrow h = \frac{4 \cdot 12^2}{9 \cdot 10} = \frac{4 \cdot 144}{90} = \frac{4 \cdot 16}{10} = 6,4 \text{ м}$

Ответ: 1). 0,8 с

2). 6,4 м.

№3

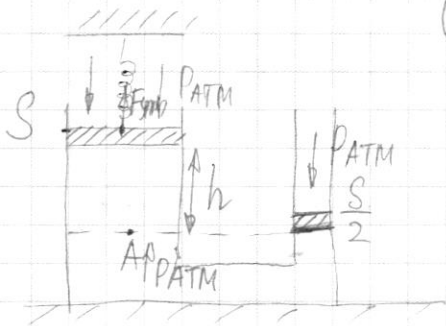
Дано: $h = \frac{1}{2}R$, R , ρ , G , $V = \frac{4}{3}\pi R^3$



1). Запишем II З.Н. для тела,
 находящегося на высоте h с ва-
 ежом $2R$. На него действуют только сила
 притяжения планеты $F_{плант}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\Rightarrow T = \frac{g}{2} \sqrt{\frac{\pi}{G \cdot 2\rho}}$$



Ответ: 1) $g = \frac{G \pi R \rho}{3 \sqrt{2}}$ 2) $T = \frac{g}{2} \sqrt{\frac{\pi}{G \cdot 2\rho}}$

Дано: $\rho, k, h, S, \frac{S}{2}, g$

1). Рассмотрим (.) А в

левом сосуде, находящуюся

на такой же высоте, что и уровень воды в правом сосуде. С одной стороны на неё действует атмосферное давление $P_{атм}$.

(Т.к. система находится в равновесии, \Rightarrow

давление на дно в обоих сосудах одинаково \Rightarrow и давление в точках, находящихся на одном уровне одинаково. \Rightarrow давл. в (.) А равно давлению на поверхности искривости правой сосуда, а оно равно $P_{атм}$)

С другой стороны, на (.) А действует давление столба искривости $\rho g h$ и давление поршня: $P_{атм} - \frac{F_{упр}}{S}$

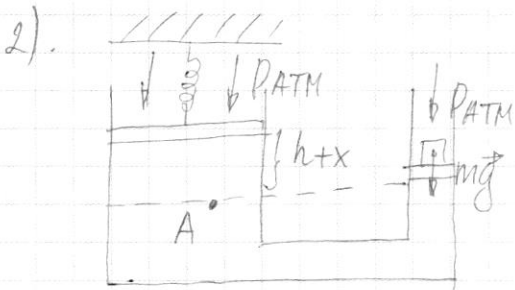
($F_{упр}$ - сила упругости пружины, она препятствует движению поршня вниз)

\Rightarrow Условие равновесия системы:

$$P_{атм} - \frac{F_{упр}}{S} + \rho g h = P_{атм} \Leftrightarrow \rho g h = \frac{F_{упр}}{S}$$

По 3-му закону Ньютона: $F_{упр} = kx$

$$\Rightarrow \frac{kx}{S} = \rho gh \Leftrightarrow x = \frac{\rho gh S}{k}$$



Пружина недеформирована \Rightarrow уровень воды в левом сосуде превышает на x .

Рассм. (1) А, наход. в левом сосуде на высоте, равной уровню воды в правом сосуде.

Аналогично и с другой стороны на нее действуют P_{ATM} и давление столба жидкости $\rho g(h+x)$, с другой стороны она давит давлением маленького поршня, ком. эквивалентная су цилиндрической и давлением груза: $P_{ATM} + \frac{mg}{S}$

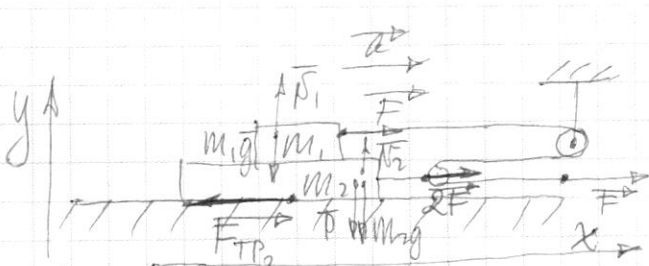
Условие равновесия: $P_{ATM} + \frac{mg}{S} = P_{ATM} + \rho g(h+x)$

$$\Leftrightarrow mg = \rho g S (h + \frac{\rho g h S}{k}) \Leftrightarrow$$

$$mg = \rho g S h (1 + \frac{\rho g S}{k}) \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{\rho g S h (1 + \frac{\rho g S}{k})}{g} = \frac{\rho g S h (k+1)}{gk}$$

Ответ: 1) $x = \frac{\rho g h S}{k}$ 2) $m = \frac{\rho g S h (k+1)}{gk}$



Дано: $m_1 = 2m$; $m_2 = 3m$

μ

1). Сила трения на m_1 равна 0 \Leftrightarrow брусок m_1 не движется относительно $m_2 \Rightarrow$ оба бруска движ. с одинак.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

новыми ускорением a относительно земли.

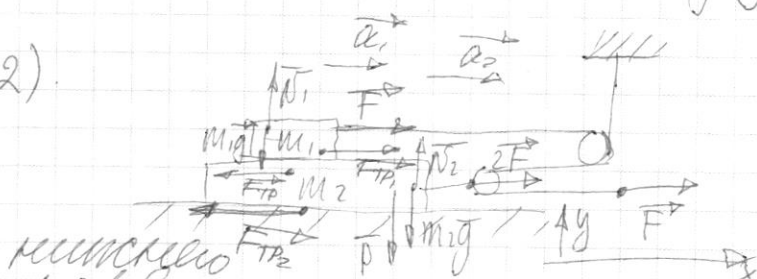
□ Ох — координата в ту же сторону, что и F .
 На $[m_2]$ действует сила $2F_0$, т.к. брусок сдвигается только через подвижный блок. На $[m_1]$ действует сила F_0 .

II ЗН, где $[m_1]$: $N_1 + m_1 g + F_0 = m_1 a$
 Оу: $N_1 = m_1 g$ $N_1 = P = m_1 g$ (по III ЗН.)
 Ох: $F_0 = m_1 a \Leftrightarrow a = \frac{F_0}{m_1}$

II ЗН где $[m_2]$: $P + N_2 + m_2 g + 2F_0 = m_2 a + F_{TP2} = m_2 a$
 (F_{TP2} — сила трения бруска о шкив, P — вес бруска)
 Оу: $N_2 = P + m_2 g = g(m_1 + m_2)$
 Ох: $2F_0 - F_{TP2} = m_2 a \Leftrightarrow 2F_0 - \mu g(m_1 + m_2) = m_2 a$
 $\Rightarrow 2F_0 - \mu g(m_1 + m_2) = \frac{m_2 F_0}{m_1} \Leftrightarrow 2F_0 m_1 - F_0 m_2 = \mu g(m_1 + m_2) m_2$
 $\Leftrightarrow F_0 (2m_1 - m_2) = \mu m_1 g (m_1 + m_2) \Leftrightarrow F_0 = \frac{\mu m_1 g (m_1 + m_2)}{2m_1 - m_2}$

$\Leftrightarrow F_0 = \frac{\mu 2mg \cdot 5m}{m} = \mu g 10m$

2)



Верхний брусок будет двигаться влево относительно первого, если его ускорение a_1 будет меньше a_2 (a_2 — ускорение нижнего бруска)

На брусок $[m_1]$ действует еще трение по верх-му блоку F_{TP1} , по III ЗН на

Для бруска действует сила $F_{TP} = F_{TP1}$ и пружинной по направлению.

II ЗМ. для $[m_1]$: $N_1 + m_1 g + F + F_{TP1} = m_1 a_1$

Ox: $m_1 a_1 = F + F_{TP1} \Rightarrow m_1 a_1 = F + \mu m_1 g \Leftrightarrow a_1 = \frac{F + \mu m_1 g}{m_1}$

Oy: $N_1 = m_1 g$

II ЗМ. для $[m_2]$: $N_2 + P + m_2 g + 2F + F_{TP2} + F_{TP} = m_2 a_2$

Oy: $N_2 = P + m_2 g = g(m_1 + m_2)$

Ox: $m_2 a_2 = 2F - F_{TP} - F_{TP2} \Leftrightarrow$

$m_2 a_2 = 2F - \mu g(m_1 + m_2) - \mu m_1 g \Leftrightarrow$

$a_2 = \frac{2F - \mu g(2m_1 + m_2)}{m_2}$

$a_1 < a_2 \Leftrightarrow \frac{F + \mu m_1 g}{m_1} < \frac{2F - \mu g(2m_1 + m_2)}{m_2} \Leftrightarrow$

$F m_2 + \mu m_1 m_2 g < 2F m_1 - \mu g m_1 (2m_1 + m_2) \Leftrightarrow$

$F(2m_1 - m_2) > \mu m_1 m_2 g + \mu g m_1 (2m_1 + m_2) \Leftrightarrow$

$F > \frac{\mu g m_1 (2m_2 + 2m_1)}{2m_1 - m_2} = \frac{\mu g 2m_1 \cdot 2 \cdot 5m}{m} \Leftrightarrow$

$F > \mu g 20m$

Ответ: 1) $F_0 = \mu g 10m$ 2) $F = \mu g 20m$

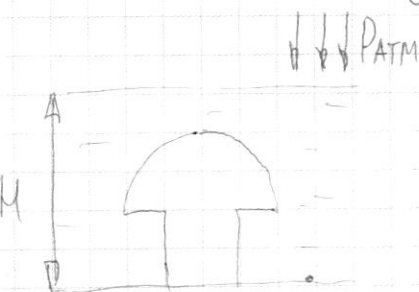
≈ 5

Дано: $M = 2,5 \text{ м}$, $V = 8 \text{ м}^3 =$

$= 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $S = 20 \text{ см}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $P_0 = 100 \cdot 10^3 \text{ Па}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$



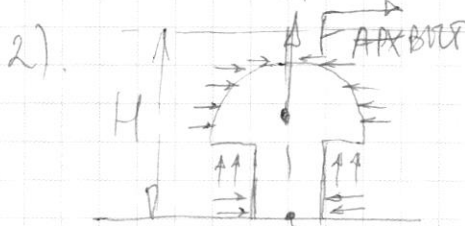
1). На дно действует атмосферное давление P_0 и давление столба жидкости высотой H .

$P_1 = P_0 + \rho g H \Rightarrow P_1 = 100 \cdot 10^3 \text{ Па} + 1000 \cdot 10 \cdot 2,5 =$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$= 10^3 (100 + 2500) = 10^3 \cdot 2600 = 2600 = 2,6 \cdot 10^3 \text{ кПа}$$

Ответ: $P_1 = 125 \text{ кПа}$.



Так как схема конструкции симметрична, силы действующие на полусферу

и на нижнюю часть, направленные горизонтально, компенсируются друг друга.

Влияние оказываемой только сила, действующая перпендикулярно дну.

Рассмотрим точку A, находящуюся на дне и являющуюся центром приклеенной части конструкции. На неё действует сила, равная выталкивающей силе ($F_{\text{Арх}}$) и сила давления.

$$F_{\text{Арх}} - \rho g V = F_{\text{Давл.}} \Leftrightarrow$$

$$F_{\text{Арх}} - \rho g V = \rho \cdot S \cdot h \Leftrightarrow$$

$$F_{\text{Арх}} - \rho g V = \rho g h \cdot S \Leftrightarrow$$

На конструкцию действует сила Архимеда ($F_{\text{Арх}}$), направленная вверх.

$$\text{Она равна } \rho g V - \rho \cdot S \cdot h = \rho g V - \rho g h \cdot S$$


Т.к. на нижнюю часть вода не действует, т.к. она приклеена.

$$\begin{aligned} \text{Т.е. } F &= \rho g V - \rho g h \cdot S = \rho g (V - h \cdot S) = \\ &= 1000 \cdot 10 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}) = \end{aligned}$$

$$z = 10(8 - 2,5 \cdot 20 \cdot 10^{-1}) = 10(8 - 5) = 30 \text{ М}$$

Ответ: 30 М, наверх перпендикулярно оси.

2).



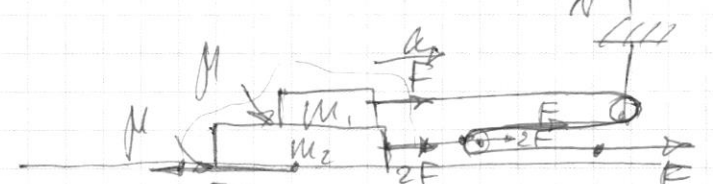
$$ma = \frac{GMm}{(\frac{3R}{2})^2} \Leftrightarrow a_{\text{с.м.}} = \frac{GM \cdot 4}{9R^2}$$

$$V = \omega R \quad \omega = \frac{V}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi \nu R$$

$$\frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{GM \cdot 4}{9R^2} \Leftrightarrow GMT^2 = 9\pi^2 R^3 \Leftrightarrow T = \sqrt{\frac{9\pi^2 R^3}{G \cdot 4\pi^2 R^3}} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{3\pi}{G \rho}}$$

$F = G \frac{mM}{R^2}$
 $G = \frac{F \cdot D^2}{mM} = \frac{M \cdot \omega^2}{\kappa^2}$
 $\frac{M \cdot \omega^2}{\kappa^2} = c^2$



$m_1 = 2m, m_2 = 3m$

1). $F_0 = ?$

m_2 - скользит $F_{\text{тр}} = 0 \Rightarrow m_1$ покоится, митъ ме математика
т.е. бруски движ. с одинак. а $\text{т.н. } m_2$

$$F = m_1 a \quad \Rightarrow \quad F = m_1 a$$

$$2F - F_{\text{тр}} = m_2 a \Leftrightarrow 2F - \mu m_2 g = m_2 a$$

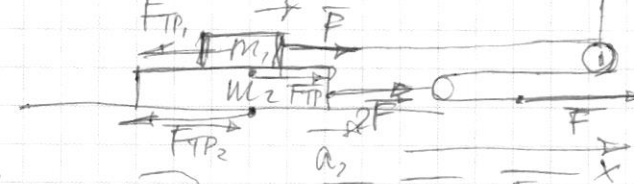
$$a = \frac{2F - \mu m_2 g}{m_2}$$

$$F = m_1 \cdot \frac{2F - \mu m_2 g}{m_2} \Leftrightarrow F m_2 = 2F m_1 - \mu m_2 g m_1$$

$$F(m_2 - 2m_1) = -\mu m_2 g m_1$$

$$F = \frac{\mu m_2 g m_1}{2m_1 - m_2} = \frac{\mu \cdot 3m \cdot 2m \cdot g}{4m - 3m} = \mu g 6m$$

2).



~~т.н. с.м. m_1 скользит~~
~~бруско движ. с одинак. а~~
 $(m_2) \Rightarrow a_1 < a_2$

т.н. г.м. (m_2) : $2F + F_{\text{тр}} + F_{\text{пр}2} = m_2 a_2$

Ох: $m_2 a_2 = 2F + F_{\text{тр}} - F_{\text{пр}2} \Leftrightarrow m_2 a_2 = 2F + F_{\text{тр}} - \mu m_2 g$

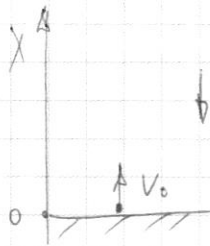
т.н. г.м. (m_1) : $F + F_{\text{тр}1} = m_1 a_1$ Ох: $m_1 a_1 = F - F_{\text{тр}1} = F - \mu m_1 g$

$$\Rightarrow m_2 a_2 = 2F + \mu m_1 g - \mu m_2 g \Leftrightarrow a_2 = \frac{2F + \mu g (m_1/m_2)}{m_2}$$

$$m_1 a_1 = F - \mu m_1 g \Leftrightarrow a_1 = \frac{F - \mu m_1 g}{m_1}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1



$v_0 = 12 \text{ м/с}$

1). $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$

Ox: $v = v_0 - gt$ $v = \frac{v_0}{3}$

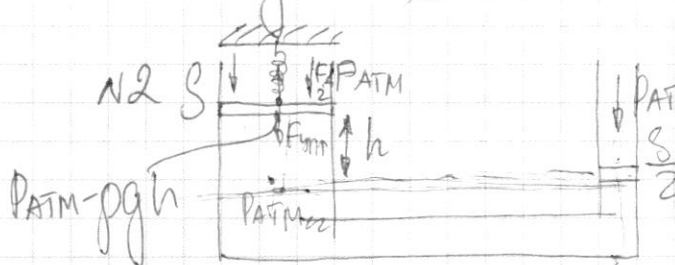
$\frac{v_0}{3} = v_0 - gt \Leftrightarrow gt = \frac{2}{3}v_0 \Leftrightarrow$

$t = \frac{2v_0}{3g} = \frac{2 \cdot 12}{3 \cdot 10} = 0.8 \text{ с}$

2). $\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{g t^2}{2}$

Ox: $S = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$

$= \frac{4}{9g} v_0^2 = \frac{4}{9 \cdot 10} \cdot 12 \cdot 12 = 6.4 \text{ м}$



ρ, k, S, h, g

1). $x = ?$

$\pi 3H$ гме пружиной:

$F_A = F_{упр} \Leftrightarrow kx = (P_{атм} - \rho gh)S$

$\rho = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$

$F_{упр} + F_{A2} = F_{A1} \Leftrightarrow kx + S \cdot P_{атм} = (P_{атм} - \rho gh)S_2$

$\Leftrightarrow kx = -\rho gh S_2 \Leftrightarrow x = \frac{\rho gh S_2}{k}$

2). Усл. равновесия поршня: $\text{перастаете пружиной.}$

$F_{A2} + \vec{F}_A + m\vec{g} = 0 \Leftrightarrow P_{атм} S_2 + mg - (P_{атм} - \rho gh)S_2 = 0 \Leftrightarrow$

$\rho_1 S_1 = \rho_2 S_2 \Leftrightarrow \frac{S_1}{S_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{F_2}{S_2} \cdot \frac{S_1}{F_1}$

N3

$h = 0.5R, \rho, V = \frac{4}{3}\pi R^3, G$

1). $g = 2R^{-2}$

$a = \frac{G \cdot M}{4R^2} = \frac{G \cdot \rho \frac{4}{3}\pi R^3}{4R^2} = \frac{G \rho \pi R}{3} \Leftrightarrow a = \frac{GM}{(R+h)^2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

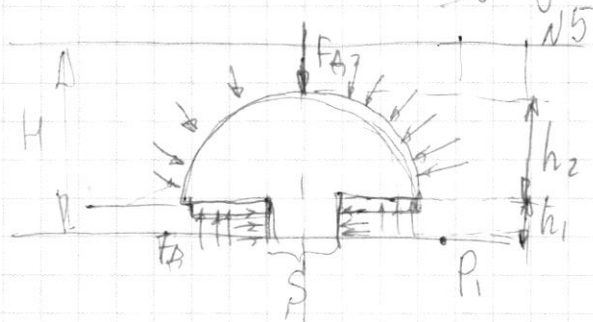
$$a_1 < a_2 \Rightarrow \frac{F - \mu m_1 g}{m_1} \leq \frac{2F + \mu g (m_1 - m_2)}{m_2} \Leftrightarrow$$

$$m_2 F - \mu m_1 m_2 g \leq m_1 (2F + \mu g (m_1 - m_2)) \Leftrightarrow$$

$$F (2m_1 - m_2) \geq -\mu m_1 m_2 g + \mu g m_1 (m_2 - m_1) \Leftrightarrow$$

$$F m \geq \mu g 2m_1 m - \mu 2m_1 m g \Leftrightarrow$$

$$F \geq \mu g 2m_1 - \mu 2m_1 g$$



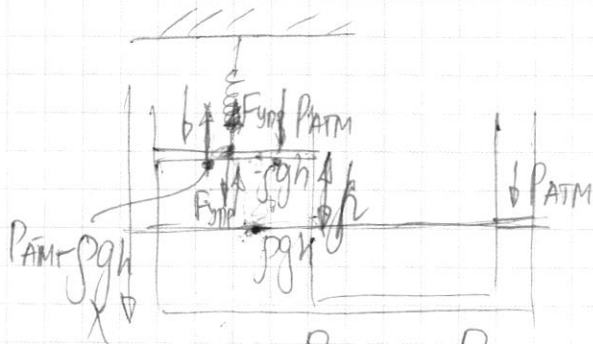
1) давление в центре дна
 $P_1 = \rho g H + P_0$

2) Взаг д. на к. вогланк.
винт

$$F_{\text{взаг}} = F_{A1} - F_{A2}$$

$$F_{A1} =$$

№2



Условие равновесия на ма поршне
д. примак. давл.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2} \quad P = \frac{F}{S}$$

$$P_{ATM} = \rho g h \quad P_{ATM} = P_{ATM} - \rho g h - P_{ATM} = P_{ATM} + F_{упр} S - P_{ATM} - \rho g h$$

$$F_{упр} S = P_{ATM} - \rho g h$$

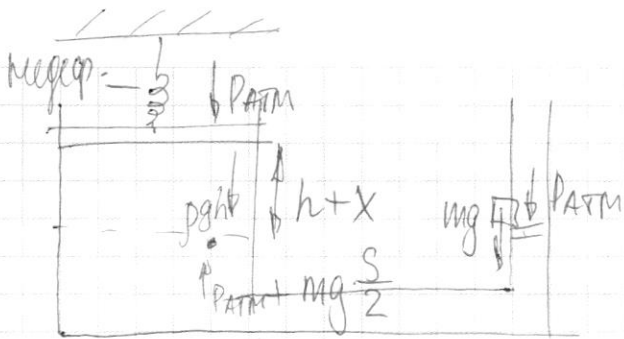
$$-\rho g h + F_{упр} S = 0$$

Ма поршень: $P_{ATM} - F_{упр} S = 0 \Leftrightarrow \frac{F_{упр} S}{S} = \rho g h \Leftrightarrow$
 $F_{упр} k x = \frac{\rho g h \cdot S}{k}$

$$P_{ATM} + \rho g h - F_{упр} S = P_{ATM}$$

$$\frac{kx}{S} = \frac{\rho g h \cdot S}{k} \Rightarrow x = \frac{\rho g h \cdot S}{k}$$

$$x = \frac{\rho g h \cdot S}{k}$$



Прим. мегелл. =>

$$F_{удр} = 0$$

$$P_{ATM} + mg \frac{S}{2} = P_{ATM} + \rho g(h+x)$$

$$mg \frac{S}{2} = \rho g \left(h + \frac{\rho g h}{S k} \right) \cdot S$$

$$= \frac{m S}{2} = \rho h + \frac{\rho^2 g h}{S k} \Leftrightarrow m S = 2 \rho h + \frac{2 \rho^2 g h}{S k} \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{2 \rho h}{S} + \frac{2 \rho^2 g h}{S^2 k}$$

$$\frac{\rho g h}{S k} = \frac{\frac{k}{u^3} \cdot u \cdot \frac{u}{c^2} \cdot u \cdot H \cdot u}{u^2 \cdot H} = \frac{u \cdot k}{c^2}$$

$$\frac{mg \cdot 2}{S} = \rho g \left(h + \frac{\rho g S h}{k} \right) \Leftrightarrow$$

$$mg \cdot 2 = \rho g S h \left(1 + \frac{\rho g S}{k} \right) \Leftrightarrow$$

$$m = \frac{\rho g S h \left(1 + \frac{\rho g S}{k} \right)}{g} = \frac{\rho g S h k + \rho g S^2 h}{k g} = \frac{\rho g S h (kH)}{k g}$$

$$\frac{\frac{k}{u^3} \cdot u \cdot \frac{u}{c^2} \cdot u^2 \cdot u \left(1 + \frac{\frac{k}{u^3} \cdot u \cdot \frac{u}{c^2} \cdot u^2 \cdot u}{\frac{H}{u}} \right)}{\frac{u}{c^2}} =$$

$$= \frac{H \cdot c^2}{u} = \frac{k u \cdot c^2}{c^2 u} = k$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 \rho = 8 \Leftrightarrow \frac{4}{3} \pi R^3 + S \cdot h_0 = 8$$

$$\text{Именно: } (\pi R^2 - S) \cdot h_0 \cdot \rho g =$$

R =

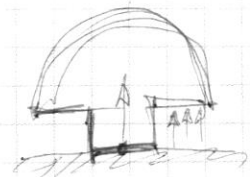
$$R = \left(a + \frac{b}{2} \right)$$

$$F_{бул} - F_{нес} = 0 \Leftrightarrow$$

$$F_{бул} = \frac{\rho}{g} \cdot S \Leftrightarrow$$

$$\rho =$$

$$\frac{\rho g V}{S}$$



Снос