

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 9

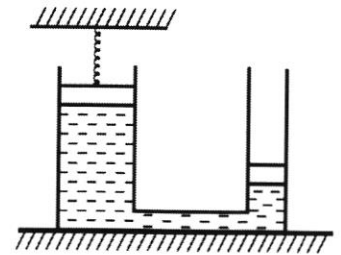
Вариант 09-01

Шифр

(заполняется секретарём)

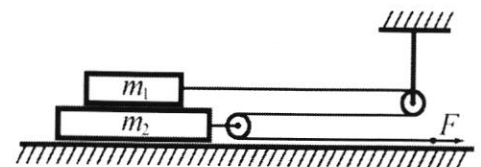
1. Школьник бросает камень вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0 = 12$  м/с.
- 1) Через какое время  $t$  после старта скорость камня будет равна по величине  $V_0/3$ ?
  - 2) На какой высоте  $h$ , отсчитанной от точки старта скорость камня будет равна по величине  $V_0/3$ ?
- Ускорение свободного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

2. На горизонтальной поверхности расположены два цилиндрических сообщающихся сосуда (см. рис.), в которых налита жидкость плотности  $\rho$ . 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  $g$ .



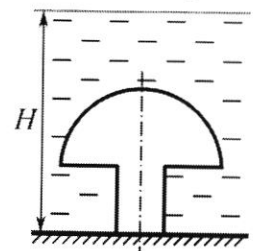
- 1) Найдите деформацию  $x$  пружины.
  - 2) Найдите массу  $m$  груза, который следует положить на правый поршень, чтобы пружина стала недеформированной.
3. Спутник обращается по круговой орбите вокруг планеты. Высота орбиты  $h = 0,5R$ , здесь  $R$  – радиус планеты. Плотность планеты  $\rho$ . Гравитационная 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  $\mu$ . 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  $V = 8$  дм<sup>3</sup>, площадь соприкосновения конструкции с дном через клей  $S = 20$  см<sup>2</sup>. Плотность воды  $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>, атмосферное давление  $P_0 = 100$  кПа. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



- 1) Найдите давление  $P_1$  вблизи дна.
- 2) Найдите величину  $F$  силы (с указанием направления), с которой вода действует на конструкцию.

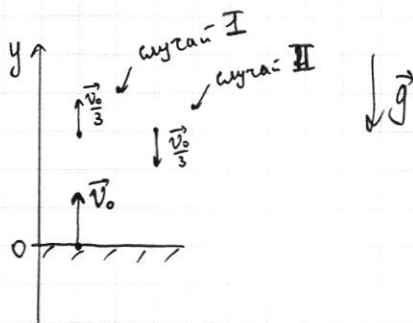
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 1

$$v_0 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t - ?$$

$$h - ?$$



ОУ:

$$v = v_0 - gt$$

$$1) v_y = v_0 - gt$$

$$2) y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2} = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

$$\textcircled{1} v_y = v_0 - gt$$

$$\text{I. } v_y = \frac{v_0}{3}$$

$$\text{II. } v_y = -\frac{v_0}{3}$$

$$\frac{v_0}{3} = v_0 - gt_I$$

$$-\frac{v_0}{3} = v_0 - gt_{II}$$

$$\frac{2}{3}v_0 = gt_I$$

$$\frac{4}{3}v_0 = gt_{II}$$

$$t_I = \frac{2}{3}v_0 : g = \frac{2v_0}{3g}$$

$$t_{II} = \frac{4}{3}v_0 : g = \frac{4v_0}{3g}$$

$$t_I = \frac{2}{3} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} : 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t_{II} = \frac{4}{3} \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} : 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$t_I = 0,8 \text{ с}$$

$$t_{II} = 1,6 \text{ с}$$

$$t_I = \frac{2 \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}$$

$$t_{II} = \frac{4 \cdot 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{3 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}$$

$$t_I = 0,8 \text{ с}$$

$$t_{II} = 1,6 \text{ с}$$

$$\textcircled{2} \text{ I. } h_I = y_I = v_0 \cdot t_I - \frac{gt_I^2}{2}$$

$$h_I = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,8 \text{ с} - \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,8^2 \text{ с}^2}{2}$$

$$h_I = 9,6 \text{ м} - 3,2 \text{ м} = 6,4 \text{ м}$$

$$\text{II. } h_{II} = y_{II} = v_0 \cdot t_{II} - \frac{gt_{II}^2}{2}$$

$$h_{II} = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1,6 \text{ с} - \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1,6^2 \text{ с}^2}{2}$$

$$h_{II} = 19,2 \text{ м} - 12,8 \text{ м} = 6,4 \text{ м}$$

Ответ:  $t_I = 0,8 \text{ с}$ ;  $t_{II} = 1,6 \text{ с}$

$$h = 6,4 \text{ м}$$

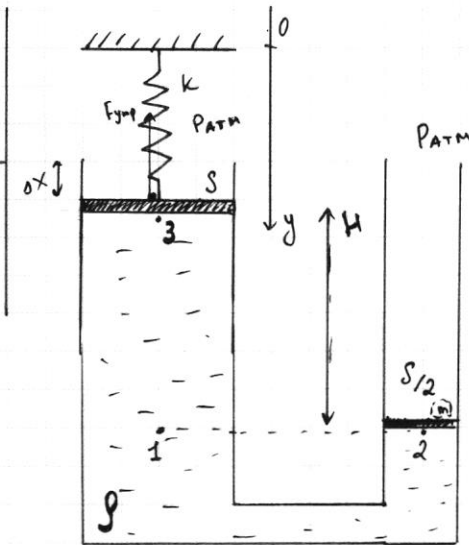
# Задача 2

Дано:

$\rho, k, h, S, g$

$x - ?$

$m - ?$



$\Delta x$  - изменение длины пружины по оси  $Oy$  (может быть  $< 0$ )

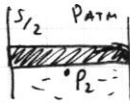
$$F_{упр} = k \Delta x \quad (\text{и.с. } < 0)$$

1.  $P_1 = P_2$  - Закон Паскаля

2.  $P_3 = P_1 - \rho g H = P_2 - \rho g H$

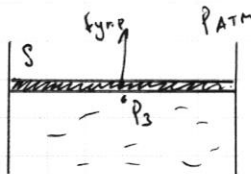
УРТ (поршни не движутся)

справа:



$$1) P_{атм} \cdot \frac{S}{2} = P_2 \cdot \frac{S}{2} \Rightarrow P_{атм} = P_2 \Rightarrow P_3 = P_{атм} - \rho g H$$

слева:



$$2) P_{атм} \cdot S = P_3 \cdot S + F_{упр}$$

$$P_{атм} \cdot S = P_{атм} (P_{атм} - \rho g H) S + k \Delta x$$

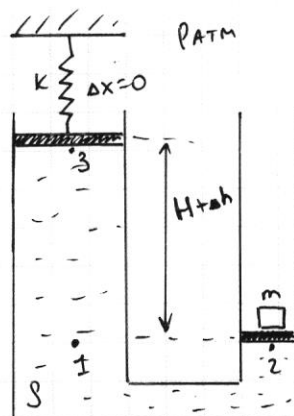
$$k \Delta x = \rho g H \cdot S$$

$$\Delta x = \frac{\rho g H S}{k} > 0 \Rightarrow \text{Пружина удлинилась}$$

$$x = \frac{\rho g H S}{k}$$

С грузом массой  $m$  на правом поршне:  $\Delta x = 0$

УРТ: справа:



1)  $P_1 = P_2$

2)  $P_3 = P_1 - \rho g (H + h)$

3) УРТ (справа):

$$P_{атм} \cdot \frac{S}{2} + mg = P_2 \cdot \frac{S}{2}$$

4) УРТ (слева):

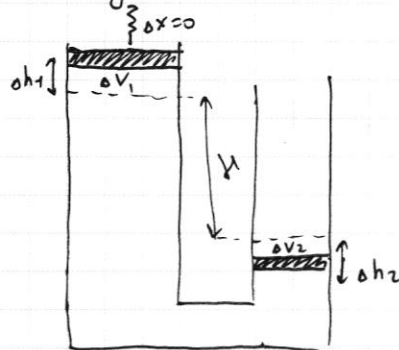
$$P_{атм} \cdot S = P_3 \cdot S$$

$$P_{атм} = P_3$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2

Найдем  $\Delta h$



$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \quad \text{— жидкость несжимаема}$$

$$\Delta h_1 \cdot S = \Delta h_2 \cdot \frac{S}{2}$$

$$\Delta h_2 = 2\Delta h_1$$

$$\Delta h_1 = \Delta x = \frac{\rho g H S}{k}$$

$$\Delta h_2 = 2\Delta x = \frac{2\rho g H S}{k}$$

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 3\Delta x = \frac{3\rho g H S}{k}$$

$$\textcircled{3} \text{ в } \textcircled{1}: \quad P_1 = P_2 = P_{\text{АТМ}} + \frac{2mg}{S} \quad \left| \rightarrow \text{ в } \textcircled{2} \right.$$

$$P_3 = P_{\text{АТМ}}$$

$$P_3 = P_1 - \rho g (H + \Delta h)$$

$$P_{\text{АТМ}} = P_{\text{АТМ}} + \frac{2mg}{S} - \rho g \left( H + \frac{3\rho g H S}{k} \right)$$

$$\frac{2mg}{S} = \rho g \left( H + \frac{3\rho g H S}{k} \right)$$

$$m = \frac{\rho g H \left( 1 + \frac{3\rho g S}{k} \right)}{2g} \cdot S = \frac{\rho g H S}{2g} + \frac{3}{2} \cdot \frac{\rho^2 g^2 S^2 \cdot H}{kg} = \frac{1}{2} \rho H S + \frac{3}{2} \frac{\rho^2 S^2 \cdot g H}{k}$$

Ответ:  $X = \frac{\rho g H S}{k}$

$$m = \frac{1}{2} \rho H S + \frac{3}{2} \frac{\rho^2 S^2 \cdot g H}{k}$$

Задача 3

$$h = 0,5R$$

$$R, \rho, G$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

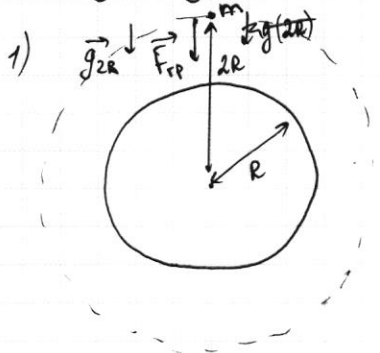
$$g_{2R} = ?$$

$$T = ?$$

$$1) g_{2R} = ?$$

$$2) T = ?$$

$$M = \rho V = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi \rho R^3$$



$$F_{gp} = mg_{2R}$$

$$F_{gp} = mg_{2R} \text{ - II 3-й Ньютона}$$

$$F_{gp} = G \frac{Mm}{(2R)^2} = G \frac{Mm}{4R^2}$$

$$mg_{2R} = G \frac{Mm}{4R^2} \quad | : m$$

$$\boxed{g_{2R} = \frac{GM}{4R^2}} \quad ; \quad M = \frac{4}{3}\pi \rho R^3$$

$$g_{2R} = \frac{G}{4R^2} \cdot \frac{4}{3}\pi \rho R^3 = \frac{1}{3} G \pi \rho R$$

2) Найдем  $g_{R+h}$  - ускорение спутника

$F_{cn}$  - сила (гравитационная), действующая на спутник

$$F_{cn} = m_{cn} \cdot g_{R+h}$$

$$F_{cn} = G \frac{Mm_{cn}}{(R+h)^2} = G \frac{Mm_{cn}}{(1,5R)^2} = G \frac{Mm_{cn}}{\frac{9}{4}R^2}$$

$$m_{cn} \cdot g_{R+h} = G \frac{Mm_{cn}}{\frac{9}{4}R^2} \quad | : m_{cn}$$

$$g_{R+h} = G \cdot \frac{4M}{9R^2} = G \cdot \frac{4}{9R^2} \cdot \frac{4}{3}\pi \rho R^3 = \frac{16}{27} G \pi \rho R$$

$g_{R+h} = \omega$  - угловая скорость спутника

$$1. g_{R+h} = \omega^2 (R+h) = \omega^2 \cdot 1,5R = \frac{3}{2}\omega^2 R$$

$$2. \omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \text{в 1.}$$

$$\frac{16}{27} G \pi \rho R = \frac{3}{2} \cdot \frac{(2\pi)^2}{T^2} R \quad | : R \pi$$

$$\frac{16}{27} \frac{2^4}{3^3} G \rho = \frac{3}{2} \cdot \frac{4\pi}{T^2}$$

$$T^2 = \frac{3 \cdot 2^2 \cdot 3^3}{2 \cdot 2^4} \frac{\pi}{G \rho} = \frac{3^4}{2^3} \frac{\pi}{G \rho}$$

$$T = \sqrt{\frac{3^4 \pi}{2^3 G \rho}} = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G \rho}}$$

$$T = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G \rho}} = \frac{9}{2\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{G \rho}} \approx 3,2 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{G \rho}}$$

Ответ:  $g_{2R} = \frac{1}{3} G \pi \rho R$   
 $T = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G \rho}} \approx 3,2 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{G \rho}}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 4

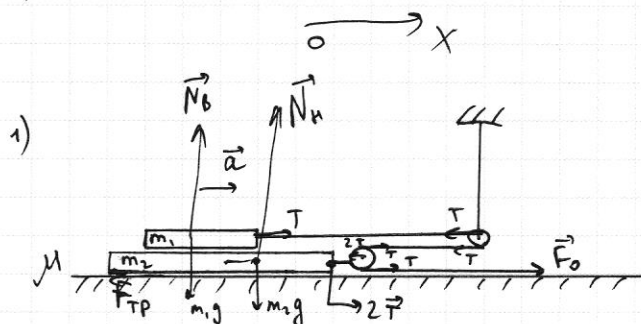
$$m_1 = 2m$$

$$m_2 = 3m$$

$\mu$

1)  $F_0 = ?$

2)  $F = ?$



Если  $F_{тр} = 0$ , то  
верхний брусок движется с  
той же скоростью, что и  
нижний.  $\Rightarrow$  ускорения  
одинаковые

$T$  — сила натяжения нити

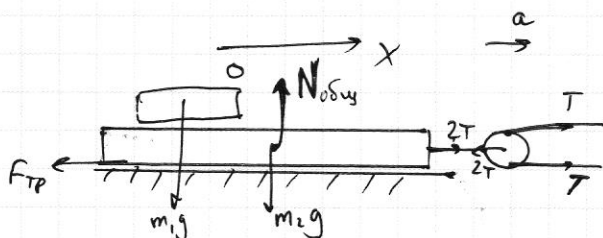
$$T = F_0$$

Верхний брусок:

ОХ:  $m_1 a = T$  — II 3-и Ньютона

$$a = \frac{T}{m_1} = \frac{F_0}{2m}$$

Нижний брусок имеет то же самое ускорение  $a$



$$N_{общ} = m_1 g + m_2 g = 5mg \quad (\text{урт})$$

$$F_{тр} = \mu N_{общ} = 5\mu mg$$

ОХ:

$$m_2 a = 2T - F_{тр} = 2F_0 - 5\mu mg$$

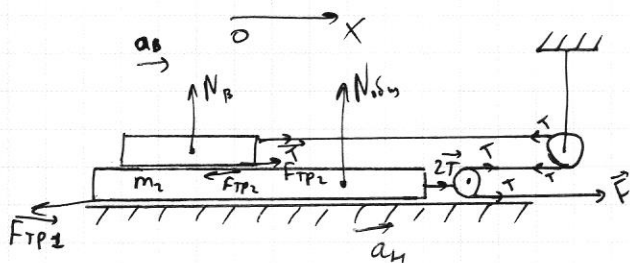
$$a = \frac{2F_0 - 5\mu mg}{m_2} = \frac{2F_0 - 5\mu mg}{3m}$$

$$\frac{F_0}{2m} = \frac{2F_0 - 5\mu mg}{3m} \quad | \cdot 6m$$

$$3F_0 = 4F_0 - 10\mu mg$$

$$F_0 = 10\mu mg$$

2)  $F \rightarrow \min$



$$F_{\text{тр}1} = \mu N_{\text{обш}} = \mu \cdot 5mg = 5\mu mg$$

$$F_{\text{тр}2} = \mu N_B = \mu \cdot m_1 g = 2\mu mg$$

$a_H$  - ускорение нижнего бруска

$a_B$  - ускорение верхнего бруска

Ох:

$$1. m_2 a_H = 2T - F_{\text{тр}1} - F_{\text{тр}2} = 2F - 7\mu mg$$

$$2. m_1 a_B = T + F_{\text{тр}2} = F + 2\mu mg$$

$$a_H = \frac{2F - 7\mu mg}{m_2} = \frac{2F - 7\mu mg}{3m}$$

$$a_B = \frac{F + 2\mu mg}{m_1} = \frac{F + 2\mu mg}{2m}$$

$a_H > a_B$  - верхний движется влево относительно нижнего  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  абсолютная скорость верхнего ~~меньше~~ <sup>меньше</sup> ~~меньше~~  $\Rightarrow$  и ускорение меньше

$$\frac{2F - 7\mu mg}{3m} > \frac{F + 2\mu mg}{2m} \quad | \cdot 6m > 0$$

$$4F - 14\mu mg > 3F + 6\mu mg$$

$$F > 20\mu mg \Rightarrow$$

$\Rightarrow (F \rightarrow \min)$

$$F = 20\mu mg$$

Ответ:  $F_0 = 10\mu mg$

$$F = 20\mu mg$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5

$$H = 2,5 \text{ м}$$

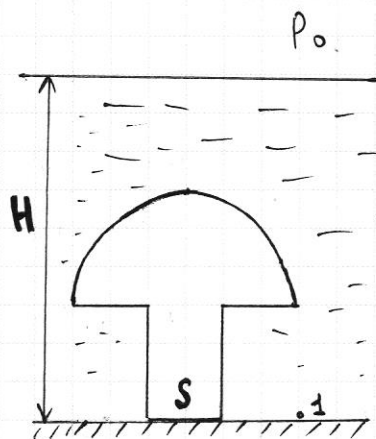
$$V = 8 \text{ дм}^3$$

$$S = 20 \text{ см}^2$$

$$\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$P_0 = 100 \text{ кПа}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



$$P_1 = \rho g H = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2,5 \text{ м} = 25000 \text{ Па} = 25$$

$$1) P_1 = P_0 + P_x = P_0 + \rho g H$$

$$P_1 = 100 \text{ кПа} + 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2,5 \text{ м}$$

$$P_1 = 100 \text{ кПа} + 25 \text{ кПа} = 125 \text{ кПа}$$

1)  $P_1$  - ?

2)  $F$  - ?

2) Если бы клея не было и вода просачивалась под конструкцию:

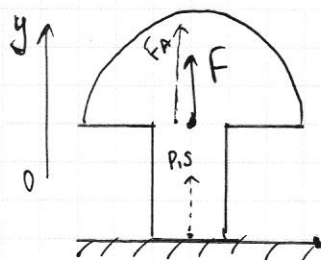


$$F_B = F_A = \rho g V \quad \text{— сила, с которой вода бы взаимодействовала}$$

$F_A$  складывается из всех взаимодействующих давлений воды на каждый участок площади конструкции

~~Но на пахну~~

Но нижняя площадь приклеена к дну и на неё не действует сила давления воды (действовавшая ~~вверх~~ вверх): сила  $P_1 S$



$$F_y = F_A - P_1 S = \rho g V - P_1 S =$$

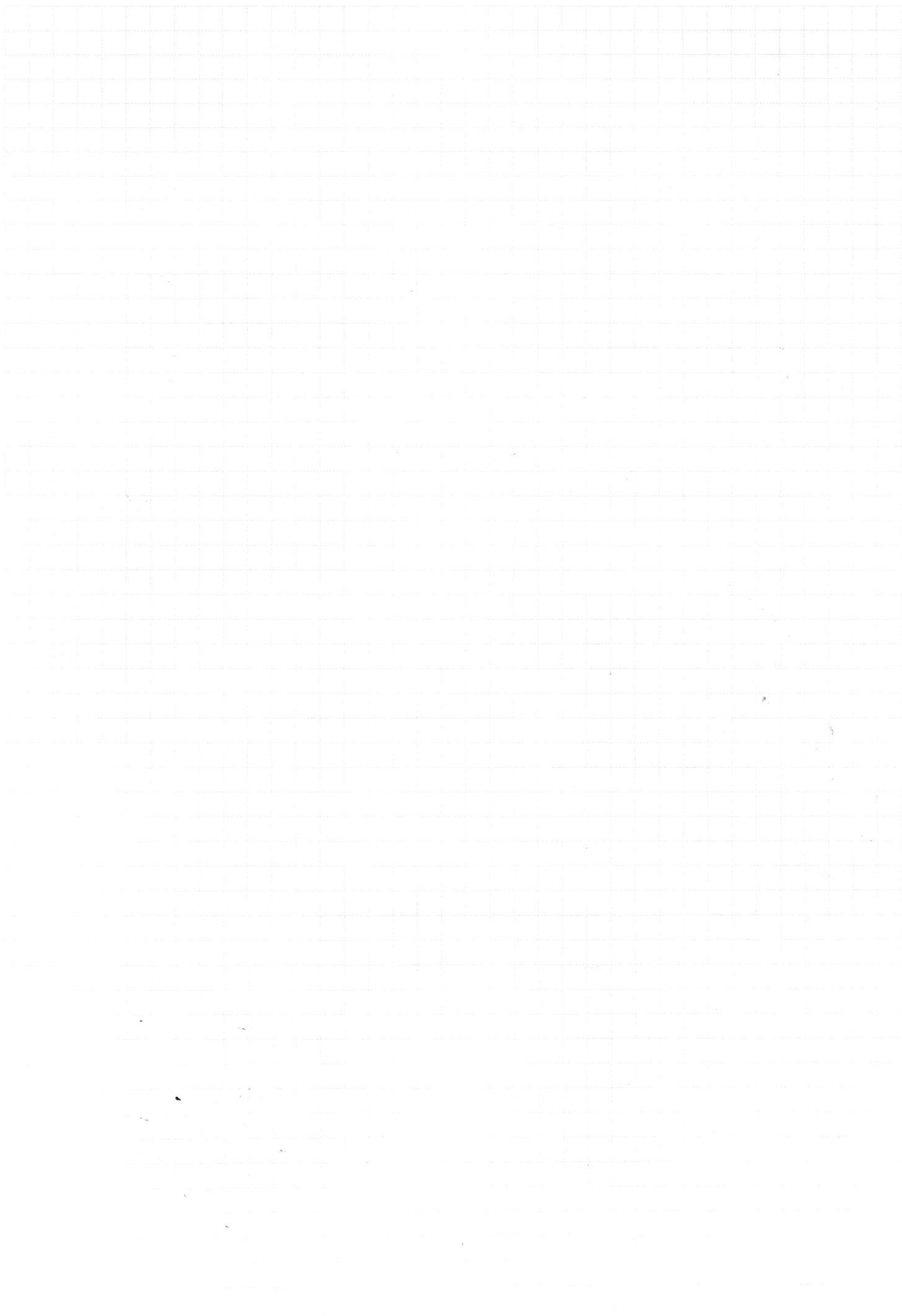
$$= 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 125 \text{ кПа} \cdot 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 =$$

$$= 80 \text{ Н} - 125 \text{ Па} \cdot 2 \text{ м}^2 = 80 \text{ Н} - 250 \text{ Н} = -170 \text{ Н} \Rightarrow$$

$F_y < 0 \Rightarrow F$  действует вниз

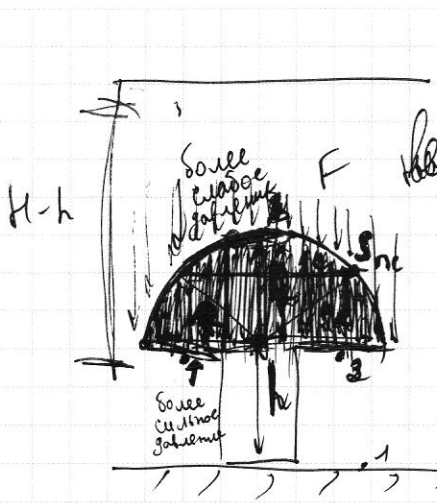
Ответ:  $F = 170 \text{ Н}$ , действует вниз





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 8  
(Нумеровать только чистовики)



Сила тяжести  $S$   $U_{CM} = 0?$   $1,5 = \frac{3}{2}$

$$\frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{2} + Sh = V \left(\frac{3}{2}\right)^2 \cdot \frac{2^2}{3^2}$$

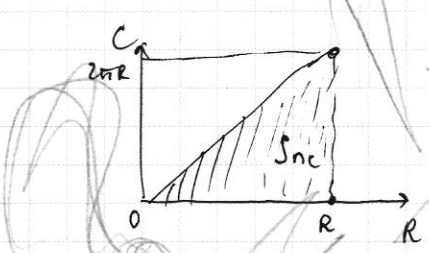
1)  $\frac{4}{3}\pi R^3 + Sh = V$

2)  $P_2 = P_1 - \rho gh$

3)  $F_{BB} = P_2 \cdot (\pi R^2 - S) = (P_1 - \rho gh) (\pi R^2 - S)$

4)  $F_{on} = \rho g \cdot \left( (H-h)\pi R^2 - \frac{4}{3}\pi R^3 \right)$

$S = C = 2\pi R$



$S_{nc} = \frac{2\pi R \cdot R}{2} = \pi R^2$

$\frac{2^2}{3^2} \cdot \frac{4}{3} = \frac{2^4}{3^3}$

$\frac{4}{3}\pi R^3$   
 $\frac{3 \cdot 4}{2} =$



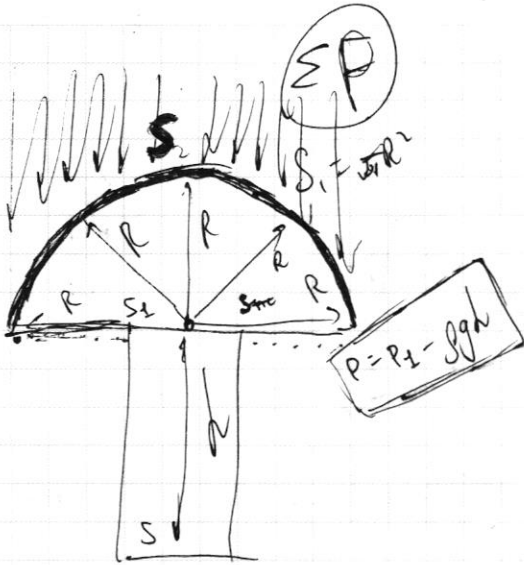
$h \cdot S = \text{объем}$   
 $\rho g$

1)  $F = (P_1 - \rho gh) (\pi R^2 - S) - \rho g \left( (H-h)\pi R^2 - \frac{4}{3}\pi R^3 \right)$

$S_{nc}$  ограниченное  
 $= \frac{9}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}$

$\frac{3^4 \cdot 2^2}{2 \cdot 2^4} =$   
 $= \frac{3^4}{2^3} = \frac{3^2}{2} \sqrt{\frac{1}{2}} \rightarrow$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Сила снизу:

$$p \cdot (S_1 - S_2)$$

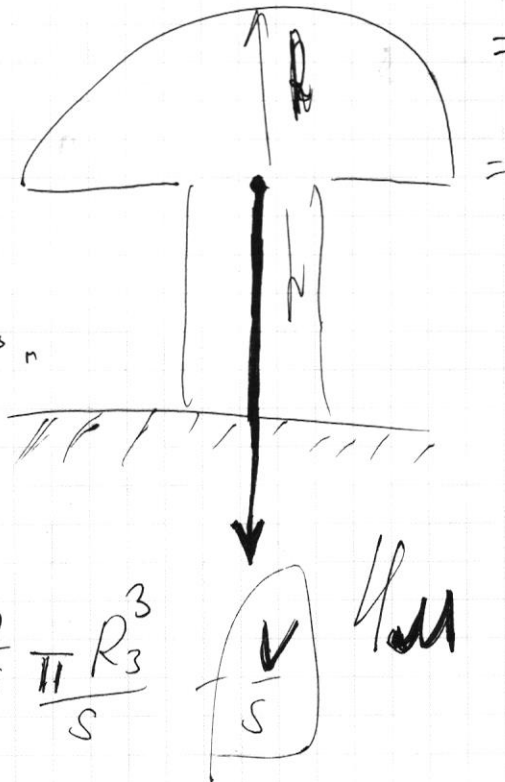
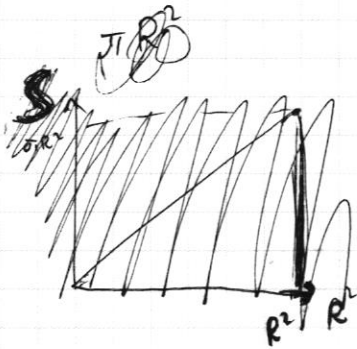
Сила сверху:

$$\Sigma p \cdot S_2$$

$$\frac{4}{3} \pi R^3 + S_2 h = V$$

$$\frac{4}{6} \pi R^3 - V = S_2 h$$

$$R = 1 \text{ м} \quad \frac{2}{3} \cdot \frac{3,14}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ м}^3 = \frac{1000 \pi}{3} \text{ м} =$$



$$V = 89 \text{ м}^3 =$$

$$= 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$S = 20 \text{ м}^2 =$$

$$= 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{8}{2} \text{ м} = 4 \text{ м}$$

$$h = \frac{2}{3} \frac{\pi R^3}{S} \quad 4 \text{ м}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{12 \cdot 8}{10} = \frac{80+16}{10} = \frac{96}{10} = 9,6$$

$$v = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{10 \cdot \frac{8^2}{10^2}}{2} = \frac{8^2}{10 \cdot 2} = \frac{8 \cdot 4}{10} = \frac{32}{10} = 3,2$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\frac{12 \cdot 16}{10} = \frac{m}{c^2} \cdot \frac{2\pi^2}{R}$$

$$a_y = \omega^2 R$$

$$12 \cdot 16 = 120 + 12 \cdot 6 = 120 + 72 = 192$$

$$\frac{10 \cdot \frac{16^2}{10^2}}{2} = \frac{16^2}{10 \cdot 2} = \frac{16 \cdot 8}{10} = \frac{80+48}{10} = \frac{128}{10} = 12,8$$

$$\frac{192}{12,8}$$

$$192 - 12,8 = 6,2 + 0,2 = 6,4$$

$$\frac{4,5}{\sqrt{2}} \approx 3,2$$

$$3,2 \approx \pi$$

$$sgh = \frac{1}{2} g h^2$$

$$\frac{H \cdot M^2}{kg^2} \cdot \frac{H}{M^3} \cdot M = \frac{H}{kg}$$

$$k = \frac{H}{kg}$$

$$\frac{kg}{M^3} \cdot \frac{H}{kg} \cdot M \cdot M = \frac{H}{kg} \cdot M^2$$

$$H = kg \cdot \frac{M}{c^2}$$

(F)



$$\frac{kg}{M^3} \cdot \frac{H}{kg} \cdot M \cdot M = \frac{H}{kg} \cdot M^2$$

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

$$G = \frac{FR^2}{Mm} = \frac{H \cdot M^2}{kg^2}$$

$$[T] = c$$

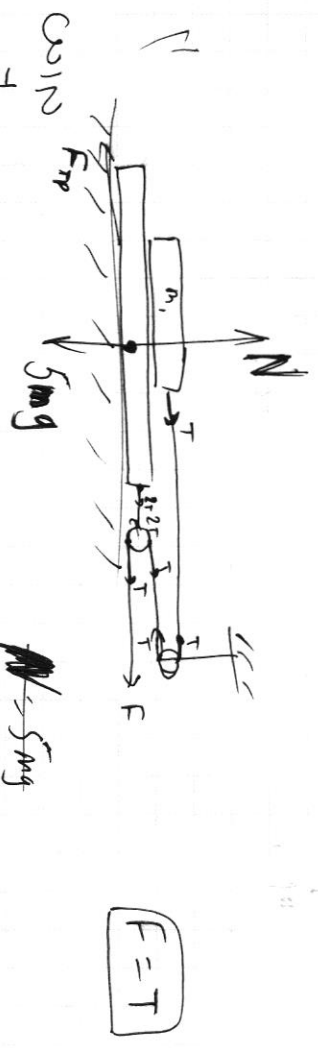
$$[G] = \frac{kg}{M^3}$$

$$\frac{H \cdot M^2}{kg^2} \cdot \frac{kg}{M^3} = \frac{H}{kg \cdot M}$$

$$\frac{kg \cdot M}{H \cdot M^2 \cdot kg} = \frac{kg \cdot M}{H}$$

$$= \frac{kg \cdot M}{kg \cdot \frac{M}{c^2}} = \sqrt{c^2} = c$$

~~Сверху нет~~



$$F_{np} = \mu N = 5 \mu mg$$

$$F_H = 2T = 2F = F_{np} = 5 \mu mg$$

$$F = \frac{5}{2} \mu mg$$

$$R^2 > H > H$$

$$R^2 > H = H$$

$$R^2 > 6 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 64 \cdot 10^{-5}$$

$$R^2 > 0.64 = \frac{200}{314} = \frac{100}{157} \approx \frac{3}{2}$$

$$R^2 > \frac{2 \cdot 10^3 \mu}{314} = \frac{20000}{314}$$

$$10000 = 3140000$$



$$R^2 = 2 \cdot 10^3 = \frac{2000}{314} + \frac{2000}{314} = \frac{4000}{314}$$

$$R = \sqrt{\frac{4000}{314}}$$

$$R + \frac{1}{5} = 6.5 \text{ m}$$

$$\frac{8 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{10^{-1}}}{3}$$

