

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 9

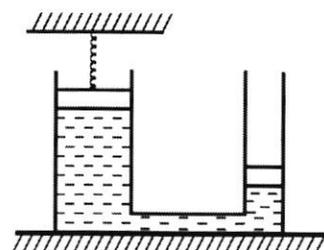
Вариант 09-01

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  $g$ .

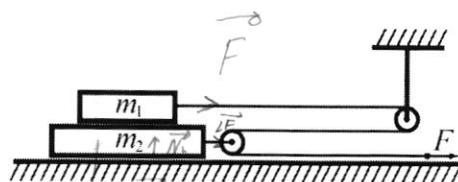


- 1) Найдите деформацию  $x$  пружины.
- 2) Найдите массу  $m$  груза, который следует положить на правый поршень, чтобы пружина стала недеформированной.

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

N1

Дано:

$$v_0 = 12 \text{ м/с}$$

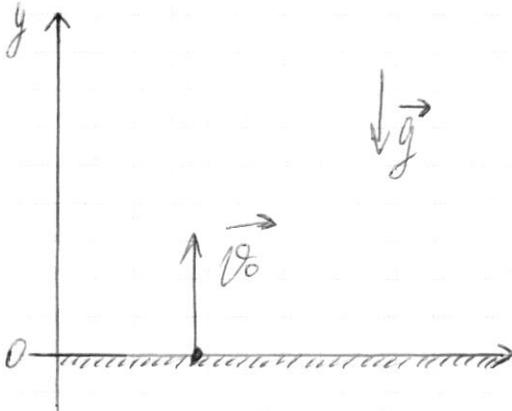
$$v_2 = v_0/3$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

t = ?

h = ?

Ищем:



Камень движется  
прямолинейно равноускоренно  
с начальной скоростью  $v_0$   
и ускорением свободного  
падения  $\vec{g}$  ( $g_y = -g$ )

Запишем уравнение движения камня:

$$y(t) = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2}$$

В проекции на  $Oy$ :  $y(t) = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$  (1)

Запишем закон изменения скорости камня:  $\vec{v}(t) = \vec{v}_0 - \vec{g} t$  В проекции на  $Oy$ :

$$v_y(t) = v_0 - g t$$
 (2)

По условию  $v(t) = \frac{v_0}{3}$   $y(t) = h$

$$\frac{v_0}{3} = v_0 - g t \quad | :s \quad v_0 = 3v_0 - 3gt \Rightarrow \boxed{t = \frac{2v_0}{3g}} \rightarrow \text{в } y(t) = h$$

$$h = v_0 t - \frac{g t^2}{2} \quad \boxed{h = \frac{2v_0^2}{3g} - \frac{1}{2} \cdot \frac{4v_0^2}{9g} = \frac{2v_0^2}{3g} - \frac{2v_0^2}{9g} = \frac{4v_0^2}{9g}}$$

На высоте  $h$  тело поднимается 2 раза, значит, и скорость  $\frac{v_0}{3}$  он приобретет 2 раза. Найдем время  $t_1$ , через которое камень 2 раз пройдет высоту  $h$ . В проекции на ось  $y$  скорость будет равна:

$$v(t) = -\frac{v_0}{3} \quad -\frac{v_0}{3} = v_0 - g t_1 \quad | :s \quad -v_0 = 3v_0 - 3gt_1 \quad \boxed{t_1 = \frac{4v_0}{3g}}$$

№1 продолжение

Плоские образы, падающие:

Скорость камня будет равна  $v_0/3$  2 раза за всё время его движения:

I раз через время  $t = \frac{2v_0}{3g}$ ;  $t = \frac{2 \cdot 12 \cdot \frac{1}{3}}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 0,8 \text{ с}$ ;

II раз через время  $t_1 = \frac{4v_0}{3g}$ ;  $t_1 = \frac{4 \cdot 12 \cdot \frac{1}{3}}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 1,6 \text{ с}$ ;

В обоих случаях высота будет на высоте  $h = \frac{v_0^2}{9g}$ ;  $h = \frac{4 \cdot 12^2 \cdot \frac{1}{9}}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = \frac{4 \cdot 144}{20} = \frac{576}{20} = 28,8 \text{ м}$

Ответ: 1)  $t = 0,8 \text{ с}$ ; 2)  $t = 1,6 \text{ с}$ ; 3)  $h = 28,8 \text{ м}$

№3

Дано:

$h = 0,5 R$

$R$  - радиус планеты

$\rho$ ;  $G$

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

$2R$

$g(2R) = ?$

$T = ?$

Решение:

1)  $F = G \frac{m \cdot M}{4R^2}$  - закон всемирного тяготения

$F = m g$  - II закон Ньютона

$F$  - сила притяжения тела массой  $m$  к планете массой  $M$  на расстоянии от её центра  $2R$

$G = \frac{mM}{4R^2} = mg \Rightarrow g = G \frac{M}{4R^2}$ , где  $M = \rho V = \frac{4}{3} \rho \pi R^3$

$g = G \frac{\frac{4}{3} \rho \pi R^3}{4R^2} = G \frac{\rho \pi R}{3}$

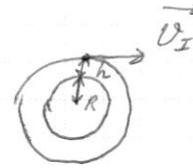
Ускорение свободного падения на расстоянии  $2R$  от центра планеты равно:

$g = G \frac{\rho \pi R}{3}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3 продолжение

$$2) T = \frac{2\pi(R+h)}{v_I} = \frac{2\pi \cdot 1,5R}{v_I} = \frac{3\pi R}{v_I} \quad (1)$$



$v_I$  - I космическая скорость -  $v_I = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}$  - скорость с которой спутник вращается по радиусу  $(R+h)$  от центра планеты

$$v_I = \sqrt{G \frac{\rho V}{1,5R}} = \left( G \sqrt{\frac{\rho \cdot 4\pi R^2}{4,5R}} \right)$$

$$v_I = \sqrt{G \rho \frac{4\pi R^2}{4,5R}} = 2R \sqrt{G \rho \frac{4\pi}{4,5}} = \left( \frac{2R}{\sqrt{4,5}} \right) \sqrt{4\pi G \rho}$$

$$v_I = 2R \sqrt{\frac{\pi}{4,5}} \quad v_I = \frac{2R}{\sqrt{4,5}} \sqrt{4\pi G \rho} \rightarrow v(1)$$

$$T = \frac{3 \cdot 1,5R}{2R \sqrt{2G\rho\pi}} = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G\rho}}$$

Период обращения спутника по радиусу от центра планеты, равный  $(R+h)$ :

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

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

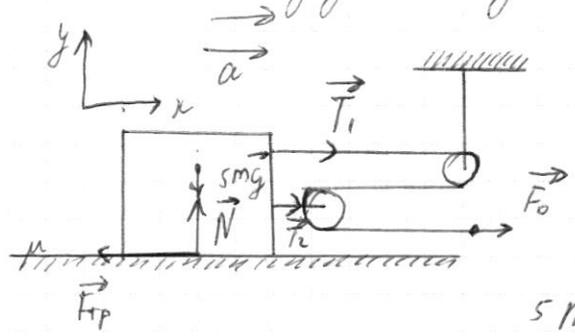
2)  $T = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G\rho}}$

Дано:  
 $m_1 = 2m$   
 $m_2 = 3m$   
 $\mu$   


---

 $F_0 = ?$   
 $F = ?$

Решение:  
 1) Чтобы нижний брусок скользил по ступе, а сила трения действующая на верхний была равна 0, они должны двигаться как одно целое, то есть, один брусок относительно другого должен быть неподвижен.  
 значит, мы можем рассматривать оба бруска как одну систему массой  $m_1 + m_2 = 5m$ :  
 ИД: Земле



Так как нить невесомая,  $T_1 = F_0$   
 $T_2 = 2F_0$

По II закону Ньютона:  
 $5m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + 3\vec{F}_0 + \vec{N} + 5m\vec{g}$   
 $\vec{a}$  - ускорение, с которым движется система

В проекции на  $Ox$ :

$$5ma = -F_{тр} + 3F_0 \quad (1) \quad 3F_0 = m(a + 5\mu g) \quad 3F_0 = 5m(a + \mu g) \quad (2)$$

На  $Oy$ :

$$0 = N - 5mg \Rightarrow N = 5mg \quad F_{тр} = \mu N = 5\mu mg \rightarrow b(1)$$

или рассматривать отдельно верхний брусок:

он движется с ускорением  $\vec{a}$  вправо; на него действует сила  $F_0$  вправо. Поэтому по II закону Ньютона:  $2ma = F_0 \Rightarrow a = \frac{F_0}{2m} \rightarrow b(2)$

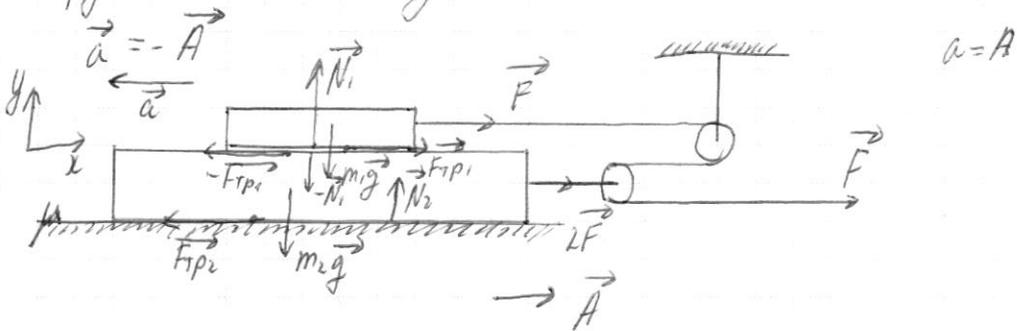
$$3F_0 = 5m\left(\frac{F_0}{2m} + \mu g\right) \quad 3F_0 = \frac{5}{2}F_0 + 5\mu mg \quad | \cdot 2 \quad 6F_0 = 5F_0 + 10\mu mg \Rightarrow \boxed{F_0 = 10\mu mg}$$

- 2) Пусть теперь  
 $a_0$  - ускорение верхнего бруска относительно земли  
 $a$  - ускорение верхнего бруска относительно нижнего  
 $A$  - ускорение нижнего бруска относительно земли

№4 (прогалтерие)

Тогда  $\vec{a} = \vec{a}_0 - \vec{A}$

Максимальная сила  $F$  соответствует ситуации, когда верхний брусок остается неподвижным относительно земли, то есть  $a_0 = 0$ :



Запишем уравнение II закона Ньютона для верхнего бруска (УО: внешний брусок)

$$m_1 \vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{тр1} + \vec{N}_1 + m_1 \vec{g} \quad m_1 \vec{A} = \vec{F} + \vec{F}_{тр1}$$

$$O_x: -m_1 a = F + F_{тр1} \quad F = 2m(A - \mu g)$$

$$m_1 A = F + F_{тр1} \quad 2m A = F + 2\mu m g \Rightarrow F = 2m(\mu g - A) \leftarrow$$

$$O_y: 0 = N_1 - m_1 g \Rightarrow N_1 = m_1 g \quad F_{тр1} = \mu N_1 = \mu m_1 g = 2\mu m g$$

Запишем II закон Ньютона для нижнего бруска (УО: Земля):

$$m_2 \vec{A} = 2\vec{F} + \vec{F}_{тр2} - \vec{F}_{тр1} + m_2 \vec{g} - \vec{N}_1 + \vec{N}_2$$

$$O_x: m_2 A = 2F - F_{тр2} - F_{тр1} \quad 3m A = 2F - 5\mu m g - 2\mu m g \quad A = \frac{2F - 7\mu m g}{3m}$$

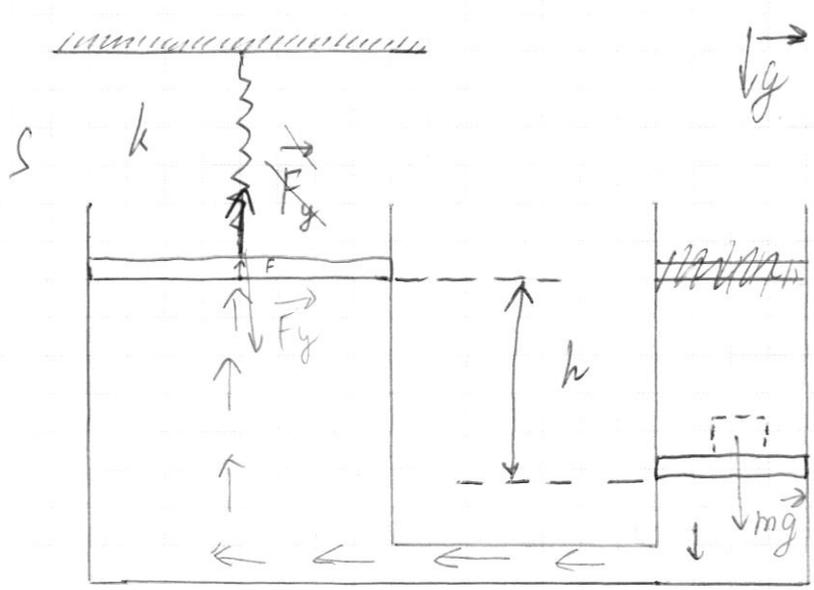
$$O_y: 0 = -m_2 g - N_1 + N_2 \quad N_2 = m_2 g + N_1 = (m_1 + m_2)g = 5m g \quad F_{тр2} = \mu N_2 = 5\mu m g$$

$$F = \cancel{2m} \frac{2F + 7\mu m g - 5\mu m g}{3\cancel{m}} = \frac{2}{3} \cdot (2F + 4\mu m g)$$

$$4F + 8\mu m g = 3F \quad 4F + 20\mu m g = 3F \Rightarrow \boxed{F = 10m g}$$

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

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$\rho_g$

$(N_2) ?$

$s/2$

$F_g = kx$   
 $F_g = ?$

$F_g = F = -\rho g h$

$x = -\frac{\rho g h}{k}$

Пружина растянута

$$F_0 = \frac{2mg}{s} \quad \rho_0 = \rho = \frac{2mg}{s} \quad F_0 = \frac{2mg}{s}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

Дано:

$$H = 2,5 \text{ м}$$

$$V = 8 \text{ м}^3$$

$$S = 10 \text{ м}^2$$

$$\rho = 1 \text{ т/м}^3$$

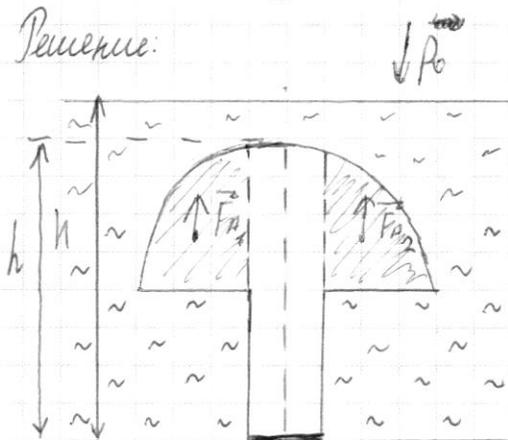
$$P_0 = 100 \text{ кПа}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$P_1 = ?$$

$$F = ?$$

Решение:



$$P_1 = P_0 + \rho g H \text{ - гидростатическое давление}$$

$$P_1 = 100 \cdot 10^3 + 1000 \cdot 10 \cdot 2,5 =$$

$$= 10^5 (100 + 10 \cdot 2,5) = 12,5 \cdot 10^5 \text{ (Па)} =$$

$$= 125 \text{ (кПа)}$$

Поскольку тело затоплено, то сила Архимеда действует только на «уши» конструкции, то есть под ней вода не подтекает.

$$F = 2F_A \quad F_{A1} = F_{A2} \text{ - так как конструкция осесимметричная}$$

$$F_A = \rho g V_y, \quad 2V_y \text{ - объём ушей}$$

$$V_y = V - HS, \quad \text{где } h \text{ - высота конструкции}$$

$$F = 2\rho g V_y$$

$$F = 2\rho g (V - hS)$$

Ответ: 1)  $P_1 = 125 \text{ кПа}$

(N2)

Дано:

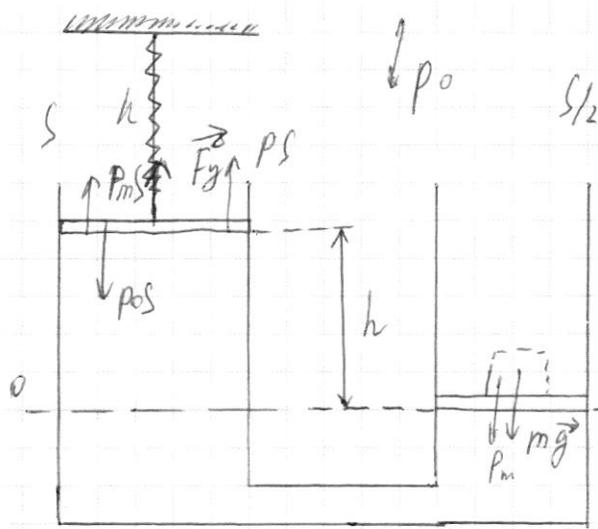
$\rho$   
 $k$   
 $h$   
 $S$   
 $S/2$

$g$

$x=?$

$m=?$

Решение:



Пусть пружина  
растянута  
на  $x$ , тогда  
сила упругости  $F_y$   
направлена вверх

нулевой уровень

$P$  - давление воды на верхний поршень  
Запишем условие равновесия верхнего поршня:

$F_y + PS = P_0 S$      $P = P_0 - \rho g h$

$F_y + P_0 S - \rho g h S = P_0 S$

$F_y = \rho g h S$      $F_y = kx$ , по закону Гука     $x = \frac{F_y}{k}$ ,  $x = \frac{\rho g h S}{k}$  пружина  
растянута  
т.к.  $x > 0$

2) Если пружина не деформирована, то сила упругости  
на неё не действует

Давление воды на нижний поршень:  $P_m = \frac{2mg}{S}$

По закону Паскаля давление в жидкости передаётся без изменений  
во все точки:

Условие равн. верхнего поршня:

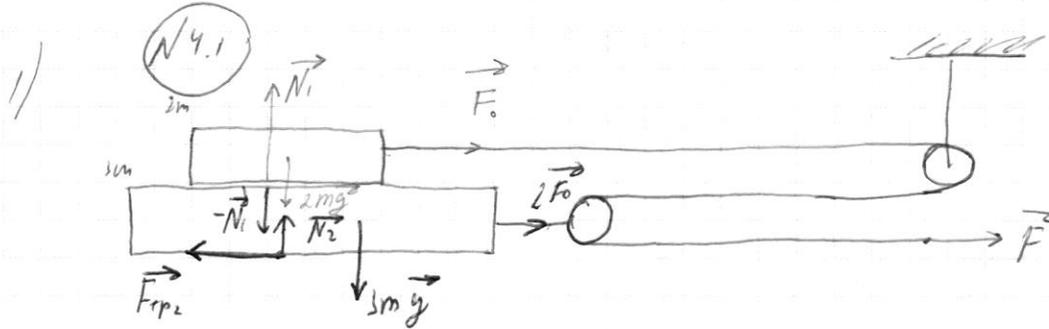
$P_m S + PS = P_0 S$

$\frac{2mg}{S} + P_0 S - \rho g h S = P_0 S$

$2mg - \rho g h S = 0$      $2m = \rho h S$      $m = \frac{\rho h S}{2}$

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$N_1 = 2mg$$

$$F_{\text{тр макс}} = 2 \mu mg$$

$$3mA = 2F_0 + N_2 - N_1 + F_{\text{тр2}} + 3mg$$

$$3mA = 2F_0 + F_{\text{тр2}}$$

$$0 = N_2 - N_1 - 3mg \quad N_2 = 5mg$$

$$2mA = F_0$$

$$N_1 = 2mg$$

$$3mA = 2F_0 - F_{\text{тр2}}$$

$$N_2 = N_1 + 3mg = 5mg$$

$$5mA = 3F_0 - F_{\text{тр2}}$$

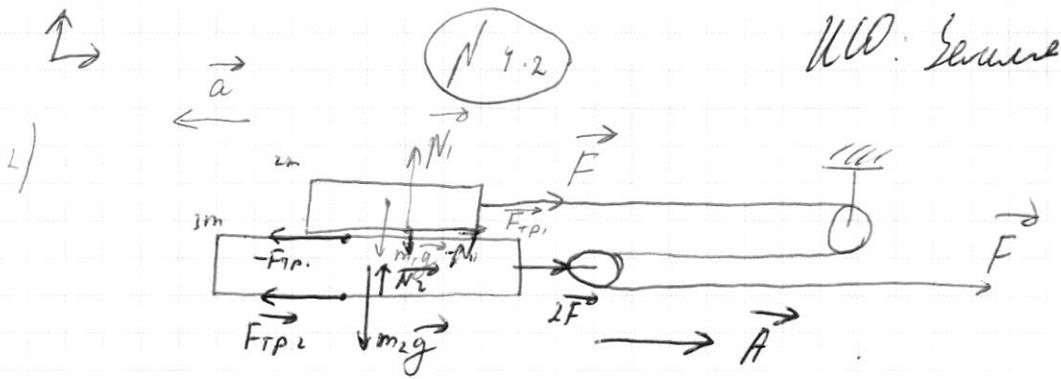
$$N_2 = 5mg \quad F_{\text{тр2}} = 5\mu mg$$

$$5mA = 3F_0 - 5\mu mg \quad A = \frac{F_0}{2m}$$

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

$$5F_0 = 6F_0 - 10\mu mg \Rightarrow \boxed{F_0 = 10\mu mg}$$

Ответ:  $F_0 = 10\mu mg$



УО: Земле

~~$$m \cdot \vec{a} = \vec{F}_{fp1} + \vec{N}_1 + m \cdot \vec{g} + \vec{F}$$

$$-ma = \vec{F}_{fp1} + \vec{F}$$

$$0 = N_1 - mg \quad N_1 = mg$$~~

$a_0$  - ускорение верхнего отн. Земли  
 $a$  - ускорение верхнего отн. нижнего  
 $A$  - ускорение нижнего отн. Земли

$$\vec{a} = \vec{a}_0 - \vec{A}$$

Минимальная  $F$  соответствует  $a_0 = 0$  !!

~~$$m \cdot \vec{a}_0 = \vec{F} + \vec{N}_1 + m \cdot \vec{g} + \vec{F}_{fp1}$$~~

$$a_0 = 0 \quad \boxed{a = -A}$$

$$0 = F + F_{fp1}$$

УО: нижний брусок

$$m \cdot \vec{a} = \vec{N}_1 + m \cdot \vec{g} + \vec{F} + \vec{F}_{fp1}$$

$$-ma = F + F_{fp1}$$

$$m \cdot A = F + F_{fp1} \quad 2mA = F + F_{fp1} \quad 0 = N_1 - mg \quad N_1 = 2mg \quad F_{fp1} = 2\mu mg$$
~~$$F = 2m(A - g)$$~~

$$F = 2mA - 2m\mu g = 2m(A - \mu g)$$

УО: Земле:

$$3m \vec{A} = 2\vec{F} + \vec{F}_{fp2} - \vec{F}_{fp1} + \vec{N}_2 - \vec{N}_1$$

$$F = 2m \cdot \left( \frac{2F - 7\mu mg - 3\mu mg}{3m} \right) \cdot 1.3$$

$$3F = 4F - 14\mu mg - 6\mu mg$$

$$3mA = 2F - F_{fp2} - F_{fp1} \quad 3mA = 2F - 5\mu mg - 2\mu mg \quad 3mA = 2F - 7\mu mg$$

$$N_2 = 0 = N_2 - N_1 - 3mg \quad N_2 = 5mg$$

~~$$A = \frac{2F - 7\mu mg}{3m}$$~~

Ответ:  $F = 20 \mu mg$

$$\boxed{F = 20 \mu mg}$$

$$H = 2,5 \text{ м}$$

$$V = 8 \text{ г/см}^3$$

$$S = 20 \text{ см}^2$$

$$\rho = 12 \text{ г/см}^3$$

$$P_0 = 100 \text{ кПа}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$P_1 = \rho g H + P_0 \quad (N5)$$

$$P_1 = 1000 \cdot 10 \cdot 2,5 + 100 \cdot 10^3 = 10^4 (2,5 + 100) = 125 \text{ кПа}$$

$$\vec{F}_B = 2\vec{F}_A + \vec{F}_0 \quad F_B = F_0 - 2F_A$$

$$F_0 = \rho g (H-h) + P_0 \quad h - \text{высота уровня}$$

$$2V_n = V - Sh \quad V = S \cdot h + 2V_n \quad V_n - \text{объем воды на поверхности}$$

$$F_A = \rho g V_n$$

$$F_B = \rho g (H-h) + P_0 - 2\rho g V_n = \rho g (H-h-2V_n) + P_0$$

$$= \rho g (H-h-V+Sh) = \rho g (h(S-1)+H-V) + P_0$$

$$h = ?$$

$$\vec{F} = \vec{N} + \vec{F}_0 + 2\vec{F}_A$$

$$0 = -N + F_0 - 2F_A \quad F_0 = N - 2F_A \quad N = F_B$$

$$N =$$

$$F_B = F_0 - 2F_A$$

$$F_0 = 2F_A ?$$

$$N - 2F_A = F_0 \Rightarrow N = F_0 + 2F_A \Rightarrow N = F_B \quad N + 2F_A = mg + F_0 \quad N = F_0 - 2F_A + mg = F_B + mg$$

$$F_B = N - mg$$

$$F_0 \quad F_A = \rho g V_n$$

$$F_0 - 2F_A = N - mg$$

$$F_A =$$

$$2V_n = V - hS$$

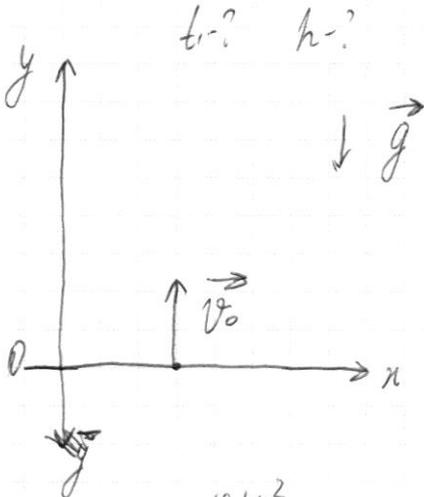
$$2F_A = 2\rho g V_n$$

$$2F_A = 2\rho g (V - hS)$$

$$F_A = \rho g (V - hS)$$

$$h = ?$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$y(t) = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t$$

$$v(t) = v_0 - g t$$

$$y(t_1) = h \quad v(t_1) = \frac{v_0}{3}$$

$$12 \cdot 16 - \frac{10 \cdot 16^2}{2} = 16(12 - \frac{16}{2}) = 16(12 - 8) = \frac{v_0^2}{5} = v_0 - g t \quad | \cdot 5 \quad v_0 = 5v_0 - 5g t$$

$$h = 12 \cdot 0,8 - \frac{10 \cdot 0,8^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$2h = 24 \cdot 0,8 - 8 \cdot 0,8$$

$$\frac{2 \cdot 16}{1 \cdot 5} = \frac{32}{5} = 6,4$$

$$t = \frac{2v_0}{3g}$$

$$t = \frac{2 \cdot 16}{3 \cdot 10} = 0,8$$

$$h = 0,8(12 - 4) = 0,8 \cdot 8 = 6,4 \text{ м}$$

Ответ:  $t = 0,8 \text{ с}; h = 6,4 \text{ м}$

$$\frac{m}{m \cdot s^2} = \frac{1}{s^2}$$

$$\frac{m}{s^2} = x \frac{m}{m^2} \quad h = 0,5 R$$

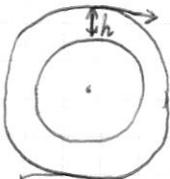
$$\rho \quad G \quad V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

$$M = \rho V$$

$$g = G \frac{M}{4R^2} = G \frac{\rho V}{4R^2} = G \frac{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{4R^2} =$$

$$= G \frac{\pi \rho R}{3} \quad \frac{m^3}{m^2 \cdot s^2} \cdot \frac{m \cdot m^3}{m^2}$$

(N/S)



$$x = \frac{\frac{m}{m \cdot s^2}}{\frac{m}{m^2}} = \frac{m^2}{m \cdot s^2}$$

$$r = 1,5 R$$

$$v = \sqrt{G \frac{M}{1,5R}} = \sqrt{G \frac{\rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{1,5R}} =$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{\frac{GM}{R^2} \cdot R} \quad g =$$

$$= 2R \sqrt{G \frac{\rho \pi}{1,5}} = 2R \sqrt{\frac{10^2 G \rho \pi}{15}} = \frac{2}{3} R \sqrt{2G \rho \pi} \quad m \sqrt{\frac{m^3}{m^2 \cdot s^2} \cdot \frac{m^3}{m^2}} =$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{3R\pi \cdot 3}{2R \sqrt{2G \rho \pi}} = \frac{9\sqrt{\pi}}{2\sqrt{2G \rho}} = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G \rho}}$$

Ответ:  $g = G \frac{\pi \rho R}{3} \quad T = \frac{9}{2} \sqrt{\frac{\pi}{2G \rho}}$

$$\sqrt{\frac{1}{\frac{m^3}{m^2 \cdot s^2} \cdot \frac{m^3}{m^2}}} = c$$