

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 9

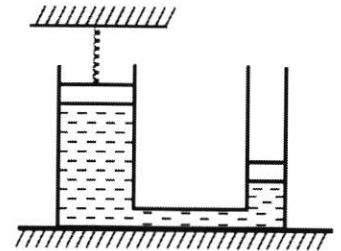
Вариант 09-02

Шифр

(заполняется секретарём)

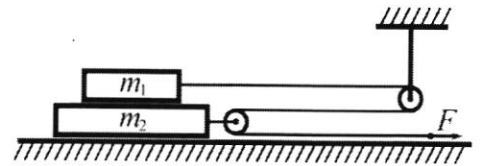
1. Школьник бросает камень вертикально вверх с начальной скоростью  $V_0 = 10$  м/с.
- 1) Через какое время  $t$  после старта скорость камня будет равна по величине  $V_0/2$ ?
  - 2) На какой высоте  $h$ , отсчитанной от точки старта скорость камня будет равна по величине  $V_0/2$ ?
- Ускорение свободного 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. Деформация пружины равна  $x$ . Площадь сечения левого поршня  $S$ , правого  $S/3$ . Трение поршней о стенки сосудов пренебрежимо мало. Ускорение свободного падения  $g$ .



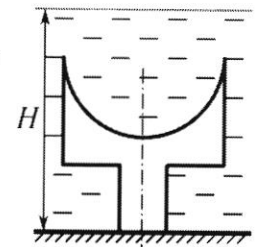
- 1) Найдите разность  $h$  уровней жидкости в сосудах.
  - 2) Найдите массу  $m$  груза, который следует положить на правый поршень, чтобы пружина стала недеформированной.
3. Спутник обращается по круговой орбите вокруг планеты. Высота орбиты  $h = R$ , здесь  $R$  – радиус планеты. Плотность планеты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

4. На горизонтальном столе находятся бруски, соединённые нитью с системой блоков (см. рис.). Массы брусков  $m_1 = 3m$ ,  $m_2 = 5m$ . 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 минимальную силу  $F$ , при которой нижний брусок скользит по столу, а верхний брусок движется влево относительно нижнего бруска.

5. Ко дну бассейна глубиной  $H=3$  м приклеена осесимметричная конструкция (см. рис.). Клей затвердел. Верхняя поверхность конструкции – полусфера. Объём конструкции  $V = 5$  дм<sup>3</sup>, площадь соприкосновения конструкции с дном через клей  $S = 10$  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. 1) Так как  $v(t)$  симметрично отн. подъёма, будет  
2 момента времени со скоростью  $\frac{v_0}{2}$ .

Подъём:  $v(t_1) = v_0 - g t_1 = \frac{v_0}{2} \Rightarrow g t_1 = \frac{v_0}{2}$

$$t_1 = \frac{v_0}{2g} = 0.5 \text{ с}$$

Спуск:  $t_{\text{подъёма}} = \frac{v_0}{g} = 1 \text{ с}$

Далее равноускоренное движение  
с нулевой начальной скоростью:

$$v(t_2) = g(t_2 - t_{\text{подъёма}}) = \frac{v_0}{2}$$

$$t_2 = \frac{v_0}{2g} + t_{\text{подъёма}} = 1.5 \text{ с.}$$

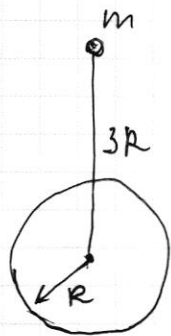
2) Закон сохранения энергии:  $\frac{m v_0^2}{2} + m g \cdot 0 = \frac{m \left(\frac{v_0}{2}\right)^2}{2} + m g h$   
(уровень нулевой потенциальной  
у земли)

$$h = \frac{3 v_0^2}{8g} = \text{~~3.75~~} 3.75 \text{ м}$$

Ответ:  $t_1 = 0.5 \text{ с}$ ,  $t_2 = 1.5 \text{ с}$ ;  $h = 3.75 \text{ м}$

### Задача 3.

1)



Поставим материальную точку ~~точечной~~ массы  $m$  на расстоянии  $3R$  от центра. На неё действует только сила притяжения со стороны планеты,

которая по 3-му Всемируному закону тяготения

равна  $F = \frac{GMm}{(3R)^2}$ , где  $M$  - масса планеты.

~~С другой стороны,  $F = mg$  для точки.~~  $F = mg \Rightarrow g = \frac{GM}{(3R)^2}$

$$= \frac{G \cdot \rho V}{(3R)^2} = \frac{G \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{9R^2} = \frac{4\rho G \pi R}{27}$$

2) Длина орбиты спутника равна  $L = 2\pi(R+h)$ ;

Центростремительное ускорение спутника равно  $\frac{v^2}{R+h} = g$ , где  $g$  - ускор. свобод. пад. для высоты спутника.

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2} = \frac{4\rho G \pi R^3}{3(R+h)^2} = \frac{v^2}{R+h} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \left( \frac{4\rho G \pi R^3}{3(R+h)} \right)^{1/2}$$

$$\text{Период обр. спут. равен } \tau = \frac{L}{v} = 2\pi(R+h) \left( \frac{3(R+h)}{4\rho G \pi R^3} \right)^{1/2}$$

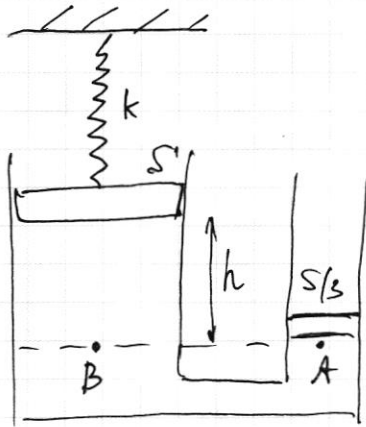
$$\text{Подст. } h=R: \tau = 4\pi R \cdot \left( \frac{6R}{4\rho G \pi R^3} \right)^{1/2}$$

$$= 4\pi \left( \frac{3}{2\rho G \pi} \right)^{1/2} = \left( \frac{24\pi}{\rho G} \right)^{1/2}$$

$$\text{Ответ: } 1) g = \frac{4\rho G \pi R}{27}; \quad \tau = \sqrt{\frac{24\pi}{\rho G}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2.



Очевидно, что пружина растянута.

Пусть  $T, A, B$  находятся на уровне правого поршня. Так как они на одной высоте в одной жидкости, давления в них равны.

Пусть  $p_0$  - атм. давл.

$$\text{Тогда } p_0 = p_A = p_B = p_0 + \rho g h - \frac{kx}{S}.$$

~~Отсюда~~ Отсюда  $\rho g h = \frac{kx}{S};$

$$h = \frac{kx}{\rho g S}.$$

Если мы положим груз массы  $m$  и приведём пружину в недеф. состояние, левый поршень поднимется на  $x$ . ~~З.С. массы~~ Пусть правый поршень опустится на  $y$ . ~~З.С. массы~~ ~~объёмов~~  $S \cdot x = \frac{S}{3} \cdot y \Rightarrow y = 3x.$

Поставим  $T, C, D$  на новом уровне нижнего поршня и приравняем в них давления.

$$p_0 + \frac{mg}{S/3} = p_C = p_D = p_0 + \rho g (h + \underbrace{x}_{L \text{ (к)}}$$

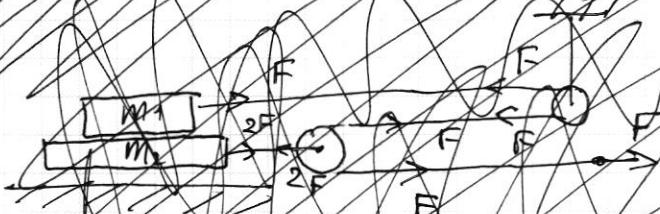
(\*) Разность высот поршней равна  $h + x + 3x = h + 4x$

$$\text{Имеем } m = \rho \frac{S}{3} (h + 4x) = \rho \frac{S}{3} \left( \frac{kx}{\rho g S} + 4x \right)$$

$$x = \frac{kx}{3\rho g} + 4\rho S x = x \left( \frac{k}{3\rho g} + 4\rho S \right).$$

Ответ: 1)  $h = \frac{kx}{\rho g S}$ ; 2)  $m = x \left( \frac{k}{3\rho g} + 4\rho S \right).$

### Задача 4.



Рассчитаем силы на блок, пользуясь невесомостью блоков и нитей, а также отсутствием трения в осях блоков.

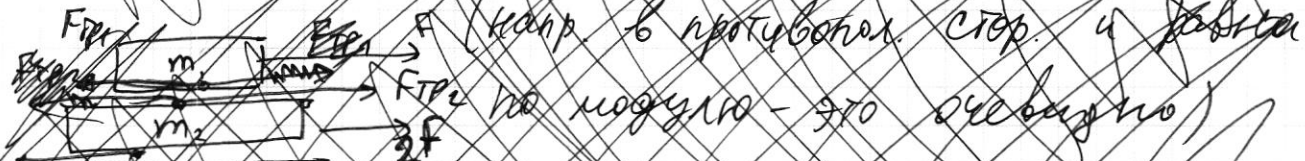
1) трения между узлами нет  $\Rightarrow$  верхний груз неподвижен относительно нитки. Запишем

2 з.н. на систему ~~м1, м2~~ грузов в проекции на горизонт. ось:  $3F_0 - \mu(m_1 + m_2)g = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow F_0 = \frac{\mu(m_1 + m_2)g}{3} = \frac{8\mu mg}{3}.$$

3) Если верхний груз движется относительно нитки, на него действует максимальная сила трения, равная

$$F_{тр1} = \mu m_1 g \quad F_{тр2} = F_{тр1} = \mu m_1 g$$



$$F_{тр3} = \mu(m_1 + m_2)g - \text{напр. против движения действующие силы } F.$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

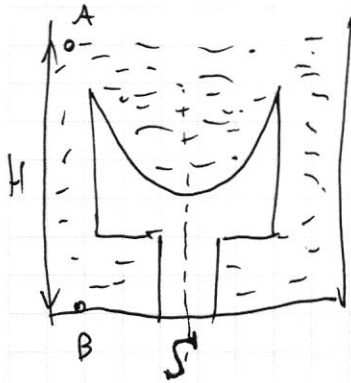
Задача 5.

$$1) P_1 = \rho g H + P_0 = 100 \text{ кПа} + 1000 \cdot 10 \cdot 3 = 130 \text{ кПа}$$

3-к. Паскаля для точек А, В

$$(P_A = P_0, P_B - P_A = \rho g H),$$

2) Заметим, что ~~из-за~~ отсутствия подтекания ~~этого~~ влияния атмосферного давления <sup>на фигурку</sup> компенсировано везде, кроме вертикальной столба шириной  $S$ ,



т.е. атмосфера давит вниз на фигурку с силой  $P_0 S = 10^5 \text{ Па} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 1 \text{ Н}$ .

Мысленно заменим фигурку на воду. Из-за этого сила давления окруж. воды на фигурку не изменится. "Вода" будет находиться в равновесии  $\Rightarrow$  сила давл. будет компенсировать силу тяжести "воды", направлена вверх и равна по модулю

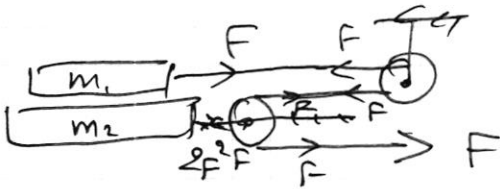
$$\rho g V = 1000 \cdot 10 \cdot 0,001 = 10 \text{ Н}$$

Полная сила давления воды равна  $(P_0 S - \rho g V) = 9 \text{ Н}$  и направлена вверх.

Ответ:  $P_1 = 130 \text{ кПа}$ ;  $F = 9 \text{ Н}$  (вверх).

### Задача 4.

Расставим силы вдоль нитей, пользуясь невесомостью нитей и блоков и отсутствием трения.



1) Пусть грузики едут вправо с ускорением  $a$ .

2 зк:  $m_1: F_0 = m_1 a$

$m_2: 2F_0 - \underbrace{(m_1 + m_2) \mu g}_{\text{общая сила тр. сист. об стол.}} = m_2 a$

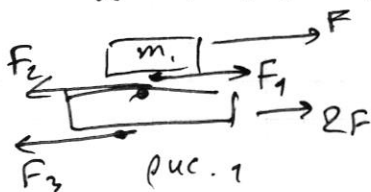
$$2m_1 a = m_2 a + (m_1 + m_2) \mu g$$

$$(2m_1 - m_2) a = \mu g (m_1 + m_2)$$

$$a = \mu g \frac{m_1 + m_2}{2m_1 - m_2}; \quad F_0 = \mu g m_1 \frac{m_1 + m_2}{2m_1 - m_2} = 24 \mu m g.$$

2) Пусть верхний грузик едет с ускор.  $a_1$  вправо,

а нижний — с  $a_2 > a_1$ .



на рис. 1:  
силы трения направ. против движения;

$$F_1 = \mu m_1 g$$

$$F_2 = \mu m_1 g$$

$$F_3 = \mu (m_1 + m_2) g$$

2 з. к.:  $m_1: F + \mu m_1 g = m_1 a_1$

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

Предел. случай:  $a_1 = a_2 = a$ .

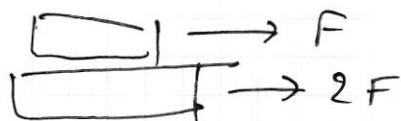
$$m_2 (F + \mu m_1 g) = m_1 (2F - \mu g (2m_1 + m_2))$$

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

$$F = \frac{2\mu g m_1 (m_1 + m_2)}{2m_1 - m_2} = 48 \mu m g.$$

Ответ: 1)  $F_0 = 24 \mu m g$ ; 2)  $F = 48 \mu m g$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$F = 3ma$$

$$2F - 8\text{ мкг} = 5ma$$

$$6ma - 8\text{ мкг} = 5ma$$

$$a = 8\text{ мкг}$$

$$F_0 = 24\text{ мкг}$$



$$F + 3\text{ мкг} = 3ma_1$$

$$2F - 11\text{ мкг} = 5ma_2$$

$$a_1 = a_2$$

$$5F + 15\text{ мкг} = 6F - 33\text{ мкг}$$

$$F = 48\text{ мкг}$$

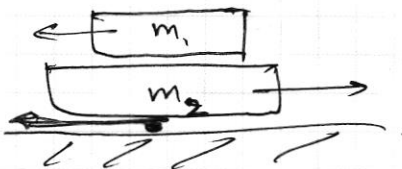




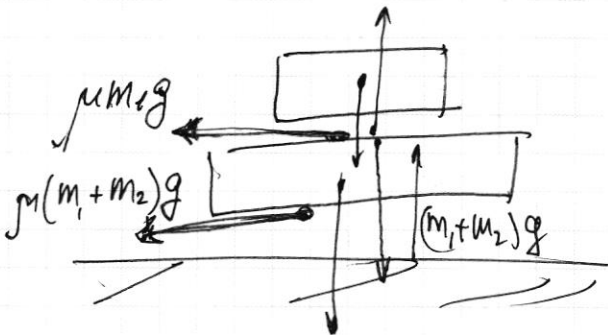
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{\mu(2m_1 + m_2)g}{2}$$



$$F = 24m_1mg$$

$$a = 8mg$$

$$6ma - 8m_1mg = 5ma$$

$$2F - 8m_1mg = 5ma$$

$$F = 3ma$$

$$F = 8m(a + mg)$$

$$3F = 8m(a + mg)$$

~~$F = 5m_1mg$~~

$$F = 14m_1mg$$

$$F = 38m_1mg$$

$$ma = 11m_1mg$$

$$6ma - 11m_1mg = 5ma$$

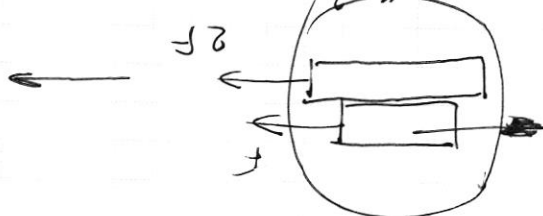
$$2F = 11m_1mg = 5ma$$

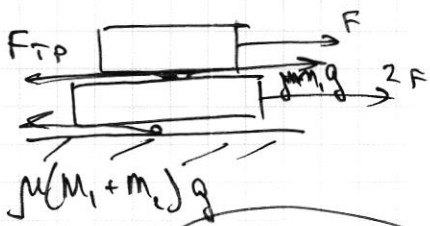
$$F = 3ma$$

$$2F - 11m_1mg = F + 3m_1mg$$

$$2F - 11m_1mg = ma$$

$$F + 11m_1mg = ma$$





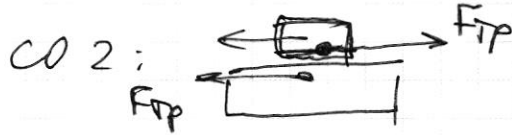
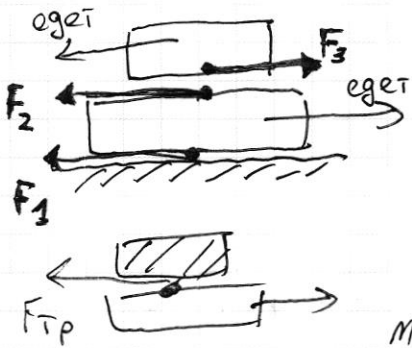
$$F \geq 3\mu mg.$$

$$F_{тр} = \mu m_1 g$$

$$F \geq \mu m_1 g = 3\mu mg$$

$$\Rightarrow 2F \geq \mu m_2 g = 5\mu mg$$

$$F \geq \frac{5}{2} \mu mg.$$

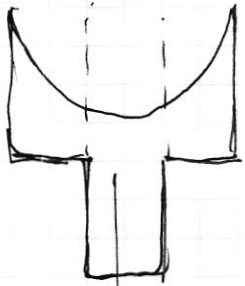


$$2F \geq \mu(2m_1 + m_2)g = 11\mu mg$$

$$F \geq \frac{11}{2} \mu mg.$$

$$m_1 = 0: F = \frac{\mu m_2 g}{2}$$

$$m_2 = 0: F = \mu m_1 g \quad 1 \text{ gm} = 0.1$$



$$\rho g V = 1000 \cdot 10 \cdot 0.001 = 10 \text{ N}$$

$$p_0 S = 100 \cdot 10^3 \text{ Pa} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 1 \text{ N}$$

$$p_0 S - \rho g V$$

$$\rho g V = 1000 \cdot 10 \cdot 3 = 30 \text{ kN}$$

~~$$F = \mu m_2 g$$~~