

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

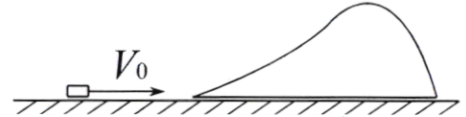
Шифр 8-009

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарик, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

2. Небольшая монета массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $4m$  (см. рис.). Монета въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

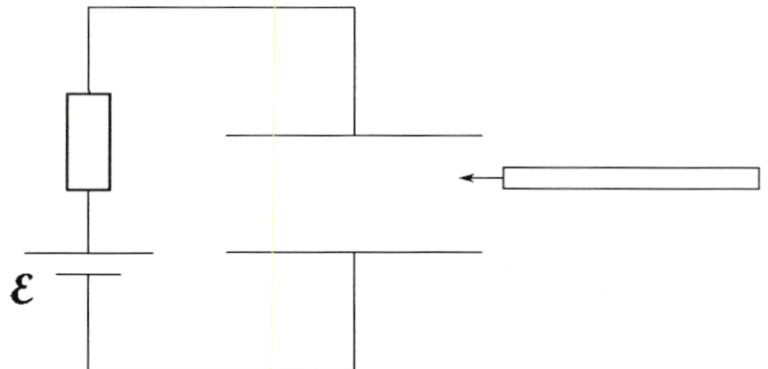


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

3. Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре  $127 \text{ }^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,1$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,4$  моль. Перегородка прорывается.

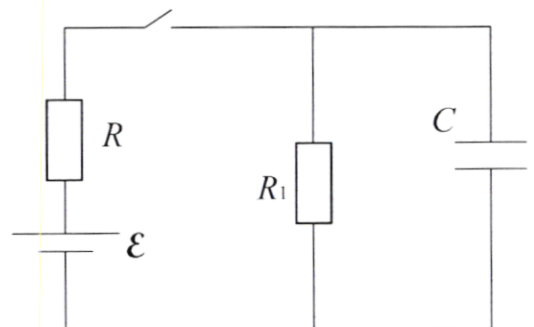
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина пластины в 3 раза меньше расстояния между обкладками.



- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=4R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$ .



- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

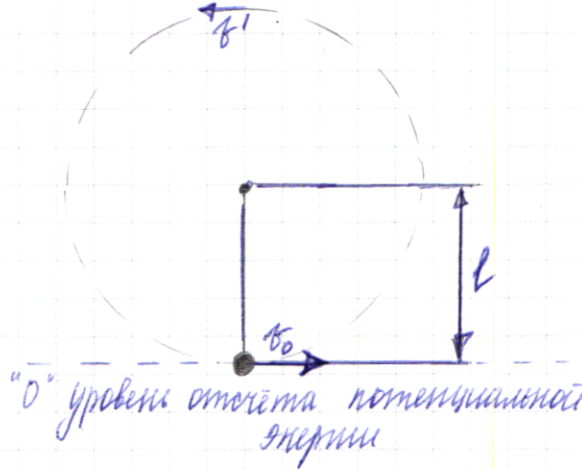


## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①. Дано:  
 $l = 18 \text{ см} = 0,18 \text{ м}$

$v_0 = ?$

$g = 10 \text{ м/с}^2$



$h_1$  - высота (в направлении движения шарика) над уровнем отсчёта потенциальной энергии  
 $h_2$  - высота над уровнем отсчёта потенциальной энергии при прохождении высшей точки траектории

Законом сохранения энергии  $E_k + E_n = E_k' + E_n'$

$$mgh_1 + \frac{mv_0^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_1^2}{2} \quad (1)$$

(2)  $h_1 = 0$  (т.к. траектория - окружность)

(3)  $h_2 = 2l$  (т.к. траектория - окружность)

(4)  $v_1 = 0$  (т.к. необходимо найти минимальную горизонтальную скорость)

$$\Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} = mg2l$$

$$v_0 = 2\sqrt{gl}$$

$$v_0 = 2\sqrt{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,18 \text{ м}}$$

$$v_0 = 6\sqrt{0,2} \text{ м/с}$$

Ответ:  $v_0 = 6\sqrt{0,2} \text{ м/с}$

$v_1$  - скорости шарика при прохождении высшей точки траектории



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3. Дано: He

$$V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$T_1 = 127^\circ\text{C} = 400^\circ\text{K}$$

$$\gamma_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$T_2 = 7^\circ\text{C} = 280^\circ\text{K}$$

$$\gamma_2 = 0,4 \text{ моль}$$

1)  $T = ?$   
2)  $p = ?$

$$\mu \approx 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$$

1) уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \quad (1)$$

$$Q_1 = c m_1 (T - T_1) \quad (2)$$

$$Q_2 = c m_2 (T - T_2) \quad (3) \Rightarrow$$

$$m_1 = M \cdot \gamma_1 \quad (4)$$

$$m_2 = M \cdot \gamma_2 \quad (5)$$

$Q_1$  - кал-во теплоты, отпущенное первой порцией газа  
 $Q_2$  - кал-во теплоты, отпущенное второй порцией газа  
 $c$  - удельная теплоемкость газа  
 $M$  - молярная масса газа  
 $m_1$  - масса газа первой порции  
 $m_2$  - масса газа второй порции.

$$\Rightarrow c \cdot M \cdot \gamma_1 (T - T_1) + c M \cdot \gamma_2 (T - T_2) = 0$$

$$\gamma_1 (T - T_1) + \gamma_2 (T - T_2) = 0$$

$$\gamma_1 T - \gamma_1 T_1 + \gamma_2 T - \gamma_2 T_2 = 0$$

$$T = \frac{\gamma_1 T_1 + \gamma_2 T_2}{\gamma_1 + \gamma_2}$$

$$T = \frac{0,1 \text{ моль} \cdot 400^\circ\text{K} + 0,4 \text{ моль} \cdot 280^\circ\text{K}}{0,1 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль}}$$

$$T = 364^\circ\text{K} = 91^\circ\text{C}$$

$T$  - температура установившаяся в сосуде после короткого термодинамического равновесия

2) уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \gamma RT \quad (1) \Rightarrow$$

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (2)$$

$$\Rightarrow pV = (\gamma_1 + \gamma_2) RT$$

$$p = \frac{(\gamma_1 + \gamma_2) RT}{V}$$

$p$  - конечное давление в сосуде

$R$  - газовая постоянная (молярная)

$$p = \frac{(0,1 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль}) 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}} \cdot 364 \text{ K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}$$

$$p \approx 182000 \text{ Па} \approx 182 \text{ кПа}$$

Ответ: 1)  $T = 91^\circ\text{C}$ ;  
2)  $p \approx 182 \text{ кПа}$ .



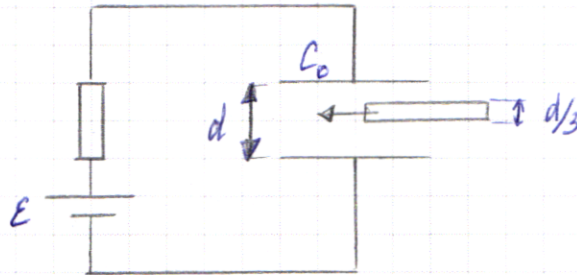
черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

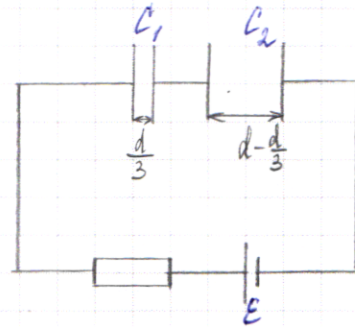
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4. Дано:  
 $C_0$   
 $E$

- 1)  $C_1 = ?$
- 2)  $q = ?$



Эквивалентная  
цепь:



$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon' S}{d} \quad (1)$$

~~$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d/3}$$~~

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon' S}{(d - d/3)} \quad (2)$$

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (\text{т.к. паралл. соединение}) \quad (3)$$

$$\Rightarrow C_1 = \frac{C_0 C_2}{C_2 - C_0} \Rightarrow C_1 = \frac{3 \epsilon_0 \epsilon' S}{d}$$

$$\frac{\epsilon_0 \epsilon' S}{d} = C_0$$

$C_1$  - ёмкость конденсатора с диэлектриком  
 $C_2$  - ёмкость воздушного конденсатора

$$\Rightarrow C_1 = 3C_0$$

$d$  - расстояние между пластинами первоначального конденсатора.

$\epsilon_0$  - электрическая постоянная  
 $\epsilon'$  - диэлектрическая проницаемость среды

Ответ:  $C_1 = 3C_0$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

③ Дано:  
 $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$   
 $T_1 = 127^\circ\text{C} = 400 \text{ K}$   
 $\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$   
 $T_2 = 7^\circ\text{C} = 280 \text{ K}$   
 $\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$   
 $T = ?$   
 $p = ?$

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$\left\{ \begin{aligned} \nu_1 (T - T_1) + \nu_2 (T - T_2) &= 0 \\ m_1 (T - T_1) + m_2 (T - T_2) &= 0 \\ \nu_1 (T - T_1) - \nu_2 (T - T_2) &= 0 \\ \nu_1 T - \nu_2 T &= \nu_1 T_1 - \nu_2 T_2 \\ T &= \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 - \nu_2} \end{aligned} \right. \Rightarrow$$

$$T = \frac{0,1 \text{ моль} \cdot 400 \text{ K} - 0,4 \text{ моль} \cdot 280 \text{ K}}{0,1 \text{ моль} - 0,4 \text{ моль}}$$

$$T = \left( \frac{30 - 152}{-0,3} \right) \text{ K} = \frac{-122}{-0,3}$$

$$\frac{4 \cdot 280}{18} \cdot \frac{28}{4} = \frac{152}{18}$$

$$\frac{182 \cdot 18 \cdot 2}{5} = \frac{182}{2}$$

$$\frac{4 \cdot 280}{18} \cdot \frac{28}{4} = \frac{364}{18}$$

$$\nu_1 T - \nu_1 T_1 - \nu_2 T + \nu_2 T_2 = 0$$

$$T(\nu_1 - \nu_2) = \nu_1 T_1 - \nu_2 T_2$$

$$T = \frac{\nu_1 T_1 - \nu_2 T_2}{\nu_1 - \nu_2}$$

$$\frac{122 \cdot 10}{3} = \frac{1220}{3}$$

$$\frac{1220}{12} = 101,6(6)$$

$$\frac{20}{18} = \frac{10}{9}$$

$$\sqrt{1,8} = \sqrt{9 \cdot 0,2} = 3\sqrt{0,2} \text{ м/с}$$

$$+\nu_1 (T - T_1) + \nu_2 (T - T_2) = 0$$

$$\nu_1 T + \nu_2 T - \nu_1 T_1 - \nu_2 T_2 = 0$$

$$T(\nu_1 + \nu_2) = \nu_1 T_1 + \nu_2 T_2$$

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{30 + 152}{0,5} = \frac{182 \cdot 18 \cdot 2}{5} = 364 \text{ K}$$

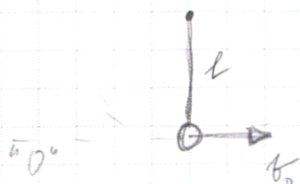
$$364 - 273 = 91^\circ\text{C} = T$$

$$p \cdot (V_1 + V_2) = (\nu_1 + \nu_2) R T$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{V}$$

$$p = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 364}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 364 \cdot 500 = 182 \text{ кПа}$$

$$v_0 = \sqrt{2gl}$$



$$\frac{mv_0^2}{2} = mgl + \frac{mv^2}{2}$$

$$v' = 0$$

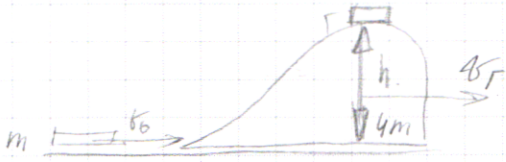
$$\frac{mv_0^2}{2} = mgl \quad v_0 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,18}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$m v_0^2 = m v_1^2 + 4 m v_2^2 \Rightarrow v_0^2 = v_1^2 + 4 v_2^2$$

$$\frac{m v_0^2 + v_2^2}{2} m g h - \frac{m v_2^2}{2}$$

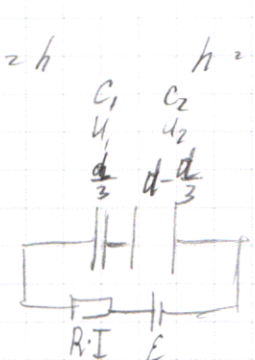
$$\frac{m v_0^2}{2} - \frac{2 m v_1 v_2}{2} + \frac{m v_2^2}{2} = m g h - \frac{m v_2^2}{2}$$

$$v_0^2 + 2 v_1 v_2 = 2 g h$$

$$m v_0^2 = m v_1^2 + 4 m v_2^2 \quad v_1 = v_0 - 4 v_2$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h \quad \frac{m (v_0 - 4 v_2)^2}{2 m g} = h$$

$$m g h = \frac{m v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 g h}$$

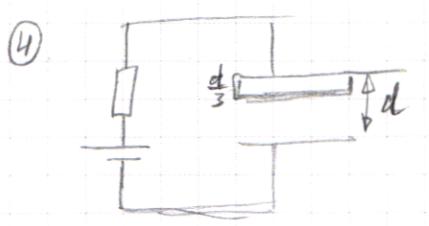


$$C_1 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d - \frac{d}{3}}$$

$$d = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{C_0}$$

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_1 = \frac{C_0 C_2}{C_2 - C_0}$$



④

$$\frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = 0$$

$$R \cdot I + U_1 + U_2 = E$$

$$R \cdot q/t + \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = E$$

$$\frac{E}{R} = I = q/t \Rightarrow t R = \frac{E}{q}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d - \frac{d}{3}}$$

$$C_1 = \frac{C_0 C_2}{C_2 - C_0} = \frac{\frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} \cdot \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d - \frac{d}{3}}}{\frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d - \frac{d}{3}} - \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}} = \frac{3(\epsilon_0 \epsilon S)^2 \cdot \frac{2d}{3}}{2d^2 \cdot \epsilon_0 \epsilon S (\frac{1}{3} - \frac{1}{d})} = \frac{3 \epsilon_0 \epsilon S \cdot 2d \cdot 3}{3 \cdot 2d \cdot d} = \frac{3 \epsilon_0 \epsilon S}{d} = 3 C_0$$





черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)