

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

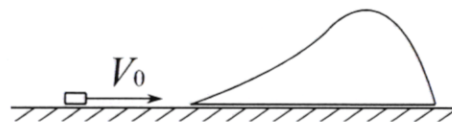
Шифр 4-004

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарика, 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.

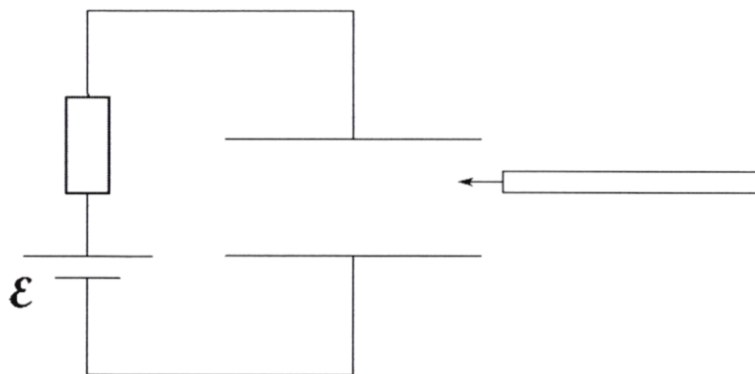


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

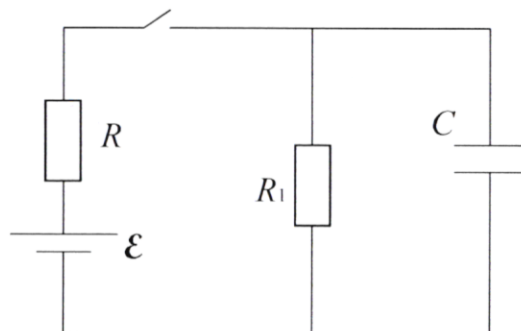
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?

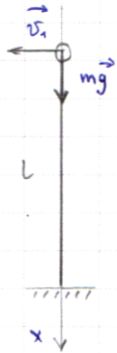
5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=4R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$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



- 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



N1

$$1) a_y = \frac{v_1^2}{L}$$

для того, чтобы найти  $\min v_0$ ,  $v_1$  тоже должно быть минимальным из возможных, следовательно  $a_y$  тоже будет наименьшим

$$\text{ОХ: } a_y \cdot m = mg + T \quad a_y \text{ минимально при } T=0$$

$$a_y m = mg \Rightarrow a_y = g$$

$$a_y = g = \frac{v_1^2}{L} \Rightarrow v_1^2 = gL$$

$$2) \text{ по ЗСЭ: } \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + mgh \quad (h=2L)$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + 2mg \cdot 2L$$

$$v_0^2 = v_1^2 + 2g \cdot 2L = \{v_1^2 = gL\} = gL + 4gL = 5gL$$

$$v_0^2 = 5gL = 5 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,18 \text{ м} = 5 \cdot 1,8 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 9 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$v_0 = \sqrt{9 \text{ м}^2/\text{с}^2} = 3 \text{ м/с}$$

Ответ:  $v_{0 \min} = 3 \text{ м/с}$

№2

Так как в системе отсутствует трение и деформации, то будет сохраняться полная механическая энергия.

1) Очевидно, это в момент, когда  $h$  будет максимальной, монета будет неподвижна относительно горки, следовательно <sup>они</sup> будут иметь одинаковую скорость  $v$  относительно земли.

по ЗСЭ: 
$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{(4m+m)v^2}{2} + mgh$$

$$m v_0^2 = 5m v^2 + 2mgh \Rightarrow v_0^2 = 5v^2 + 2gh$$

по ЗСУ:  $m v_0 = (4m+m)v = 5m v$

$$v_0 = 5v \Rightarrow v = \frac{1}{5} v_0$$

$$v_0^2 = 5 \left( \frac{1}{5} v_0 \right)^2 + 2gh = 5 \cdot \frac{1}{25} v_0^2 + 2gh = \frac{1}{5} v_0^2 + 2gh$$

$$2gh = \frac{4}{5} v_0^2 \Rightarrow h = \frac{4}{5} \frac{v_0^2}{2g} = \frac{2}{5} \frac{v_0^2}{g} = 0,4 \frac{v_0^2}{g}$$

2) по ЗСЭ: 
$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{4m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2}$$

$v_1$  - конечная скорость горки  
 $v_2$  - конечная скорость монеты

$$v_0^2 = 4v_1^2 + v_2^2$$

$$(v_0^2 - v_2^2) = (v_0 - v_2)(v_0 + v_2) = 4v_1^2 \quad (1)$$

по ЗСУ:  $m v_0 = 4m v_1 - m v_2$

$$(v_0 + v_2) = 4v_1 \quad (2)$$

$(1)/(2)$   $v_0 - v_2 = v_1$  (подставляем в уравнение (2))

$$v_0 + v_2 = 4v_0 - 4v_2 \Rightarrow 5v_2 = 3v_0$$

$$v_2 = \frac{3}{5} v_0 = 0,6 v_0$$

Ответ: 1)  $h = \frac{2}{5} \frac{v_0^2}{g}$  ; 2)  $v_2 = \frac{3}{5} v_0 = 0,6 v_0$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

Дано:

$$T_1 = 400 \text{ K}$$

$$T_2 = 280 \text{ K}$$

$$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$$

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

$$T = ? \quad p = ?$$

He	He
$T_1 = 400 \text{ K}$	$T_2 = 280 \text{ K}$
$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$	$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$

1) Так как сосуд теплоизолирован, и работа не совершается, то полная внутренняя энергия сохраняется.

$$U_1 + U_2 = U$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T$$

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

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,1 \text{ моль} \cdot 400 \text{ K} + 0,4 \text{ моль} \cdot 280 \text{ K}}{0,1 \text{ моль} + 0,4 \text{ моль}} = \frac{40 \text{ K} + 112 \text{ K}}{0,5} = 152 \text{ K} \cdot 2 = 304 \text{ K}$$

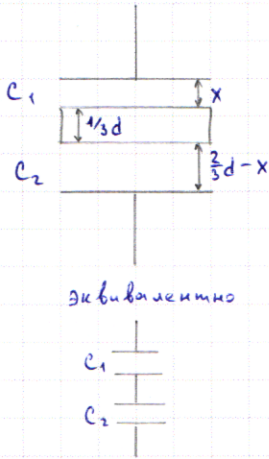
$$T = 304 \text{ K}$$

$$2) pV = (\nu_1 + \nu_2) RT$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) RT}{V} = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \cdot 304 \text{ K}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па} = 1,52 \cdot 10^5 \text{ Па} = 152 \text{ кПа}$$

Ответ: 1)  $T = 304 \text{ K}$  ; 2)  $p = 1,52 \cdot 10^5 \text{ Па}$

№4



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

$$1) C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x}; C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2}{3}d - x}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x} \cdot \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{(\frac{2}{3}d - x)}}{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2}{3}d - x}} = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x(\frac{2}{3}d - x)}}{\frac{x + \frac{2}{3}d - x}{x(\frac{2}{3}d - x)}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2}{3}d}$$

$$= \frac{3}{2} \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0 = 1,5 C_0 \quad (\text{не зависит от того, как введена пластинка, при условии того, что она не касается обкладок})$$

Последовательное соединение:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

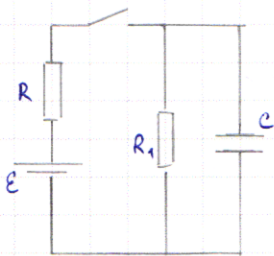
$$2) q_0 = C_0 \cdot \epsilon$$

$$q_1 = C \cdot \epsilon$$

$$\Delta q = q_1 - q_0 = C \epsilon - C_0 \epsilon = \epsilon (1,5 C_0 - C_0) = 0,5 C_0 \epsilon$$

Ответ: 1)  $C = 1,5 C_0$  ; 2)  $\Delta q = 0,5 C_0 \epsilon$

№5



1) Сразу после замыкания ключа конденсатор  $C$  еще не будет заряжен (даже застыв), а значит никак не повлияет на силу тока.

$$I_0 = \frac{E}{R_{\text{общ}}} = \frac{E}{R_1 + R} = \frac{E}{4R + R} = \frac{E}{5R}$$

2) После зарядки конденсатора, ток через него идти не будет.

$$\text{Значит } U_{R_1} = U_C$$

Установившийся ток так же будет равен  $I = \frac{E}{5R}$  (полностью заряженный конденсатор не будет влиять на ток при постоянном (неизменном)  $E$ )

$$U_C = U_{R_1} = I \cdot R_1 = \frac{E}{5R} \cdot 4R = \frac{4}{5} E = 0,8 E$$

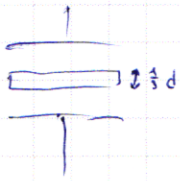
3) Теплота  $Q$  равна потенциальной энергии  $W_C$ , запасенной в конденсаторе.

$$Q = W = \frac{C(U_C)^2}{2} = \frac{C \cdot (\frac{4}{5} E)^2}{2} = \frac{C}{2} \cdot \frac{16}{25} E^2 = \frac{8}{25} C E^2 = 0,32 C E^2$$

Ответ: 1)  $I_0 = \frac{E}{5R}$  ; 2)  $U_C = 0,8 E$  ; 3)  $Q = 0,32 C E^2$

N4

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



$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{(\frac{2}{3}d - x)} \cdot \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x}}{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{(\frac{2}{3}d - x)} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{x}}$$

$$= \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{(\frac{2}{3}d - x) x}}{\frac{x + \frac{2}{3}d - x}{(\frac{2}{3}d - x) x}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{2}{3}d} = \frac{3}{2} \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0 = 1.5 C_0$$

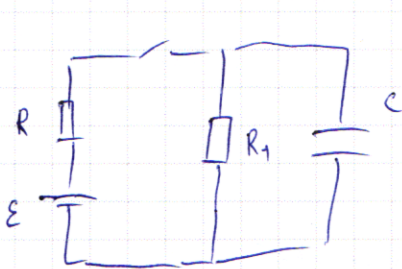
q<sub>12</sub> q = C U

q<sub>0</sub> = C<sub>0</sub> · E

q<sub>1</sub> = C · E

Δq = q<sub>1</sub> - q<sub>0</sub> = E (C - C<sub>0</sub>) = E (1.5 C<sub>0</sub> - C<sub>0</sub>) = 0.5 C<sub>0</sub> E

N5



1) I<sub>0</sub> = E / (R + R<sub>1</sub>) = E / (R + 4R) = E / 5R

2) U<sub>C</sub> = U<sub>R1</sub> = I<sub>R1</sub> · R<sub>1</sub>

Дано:

R<sub>1</sub> = 4R

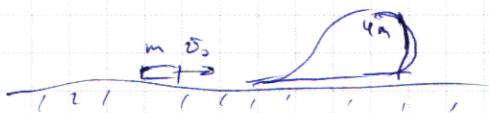
C, E, R

E = I R + I R<sub>1</sub> = I (R + R<sub>1</sub>) = I (R + 4R) = 5 I R

U<sub>R1</sub> = I · R<sub>1</sub> = E / 5R · 4R = 4/5 E = 0.8 E

3) Q = W<sub>C</sub> = C U<sub>C</sub><sup>2</sup> / 2 = C · (4/5 E)<sup>2</sup> / 2 = C · 16/25 E<sup>2</sup> / 2 = 8/25 C E<sup>2</sup> = 0.32 C E<sup>2</sup>

N2



v<sub>0</sub> = 4v<sub>0</sub> - 4v<sub>2</sub> - v<sub>2</sub>

5v<sub>2</sub> = 3v<sub>0</sub>

v<sub>2</sub> = 3/5 v<sub>0</sub>

2) m v<sub>0</sub> = 4m v<sub>1</sub> - m v<sub>2</sub>

m v<sub>0</sub><sup>2</sup> / 2 = 4m v<sub>1</sub><sup>2</sup> / 2 + m v<sub>2</sub><sup>2</sup> / 2

v<sub>0</sub> + v<sub>2</sub> = 4v<sub>1</sub>

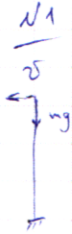
v<sub>0</sub><sup>2</sup> - v<sub>2</sub><sup>2</sup> = 4v<sub>1</sub><sup>2</sup>

(v<sub>0</sub> - v<sub>2</sub>)(v<sub>0</sub> + v<sub>2</sub>) = 4v<sub>1</sub><sup>2</sup>

v<sub>0</sub> - v<sub>2</sub> = v<sub>1</sub>

1) m v<sub>0</sub><sup>2</sup> / 2 = mgh +

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$a_s = g = \frac{v^2}{l} =$$

$$v_1^2 = lg = 0,18 \text{ м} \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 1,8 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgl = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$v_1^2 + g \cdot 4l = v_0^2$$

$$lg + 4lg = v_0^2$$

$$5lg = v_0^2 = 5 \cdot 10 \cdot 0,18 = 5 \cdot 1,8 = 9 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$v_0 = 3 \text{ м/с}$$

№3

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

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$pV = (\nu_1 + \nu_2) RT$$

$$p_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$T_1 = 400$$

$$T_2 = 280 \text{ К}$$

280 K	400 K
$T_2 = 280^\circ \text{C}$	$T_1 = 127^\circ \text{C}$
$\nu_2 = 0,4 \text{ моль He}$	$\nu_1 = 0,1 \text{ моль He}$

$$\nu_1 + \nu_2 = \nu$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) RT$$

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

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{400 \text{ К} \cdot 0,1 \text{ моль} + 280 \text{ К} \cdot 0,4 \text{ моль}}{0,1 + 0,4}$$

$$= \frac{40 + 112}{0,5} = 152 \cdot 2 = 304 \text{ К}$$

$$T = 304 \text{ К}$$

$$pV = (\nu_1 + \nu_2) RT$$

$$2) \quad p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) RT}{V} = \frac{0,5 \text{ моль} \cdot 8,31 \cdot 304 \text{ К}}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 152 \cdot 10^3 \text{ Па} = 152 \text{ кПа}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1) \quad \frac{m v_0^2}{2} = 2mgh + \frac{(4m+m)v^2}{2}$$

$$m v_0^2 = 2mgh + 5m v^2$$

$$m v_0 = (4m+m)v = 5m v$$

$$v_0 = 5v$$

$$v = \frac{1}{5} v_0$$

$$v_0^2 = 2gh + 5 \left( \frac{1}{5} v_0 \right)^2 = 2gh + 5 \cdot \frac{1}{25} v_0^2$$

$$v_0^2 = 2gh + \frac{1}{5} v_0^2$$

$$2gh = \frac{4}{5} v_0^2$$

$$gh = \frac{2}{5} v_0^2$$

$$h = \frac{2}{5} \frac{v_0^2}{g}$$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №       
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

4-004

ШИФР

(заполняется секретарём)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)