

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

Шифр

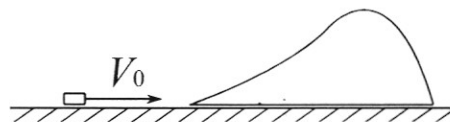
9-1

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-03

✓ 1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 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 шайба массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $3m$  (см. рис.). Шайба въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

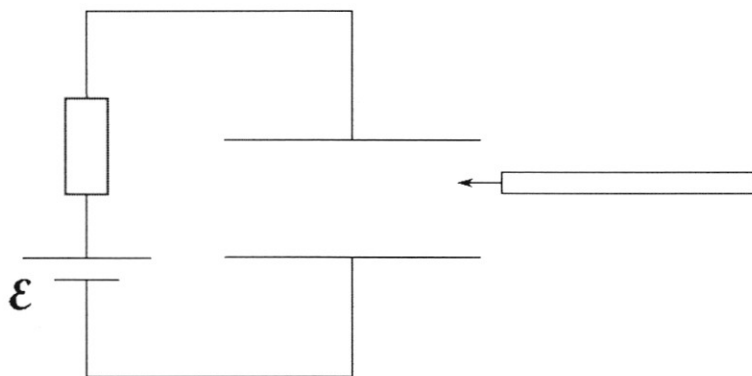


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

✓ 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  $27^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,2$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,3$  моль. Перегородка прорывается.

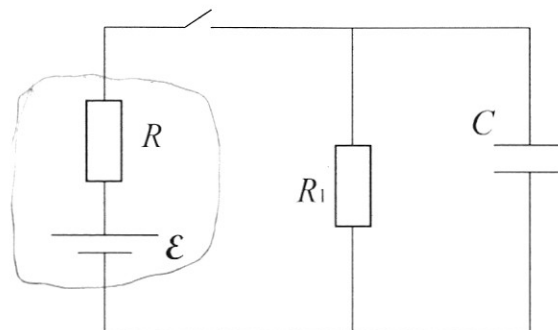
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

✓ 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 4 раза меньше расстояния между обкладками.



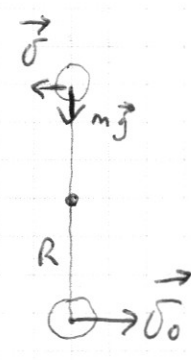
- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

✓ 5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=3R$ . 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.  Чтобы шарик сделал полный оборот, необходимо чтобы он ~~не падал~~ <sup>не отрывался</sup> все время с скоростью (1)  $v \geq \sqrt{gR}$  в верхней точке траектории.
- (условие удержания на окружности)  
Скорость в верхней точке траектории

$v$  выразим через начальную скорость  $v_0$

с помощью закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2R + \frac{mv^2}{2}, \text{ где } v \text{ или}$$

где  $v$  — минимальная  $v_0$ : (1):

$$\frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2R + \frac{mgR}{2}$$

$$\frac{v_0^2}{2} = 2,5gR$$

$$v_0^2 = 5gR$$

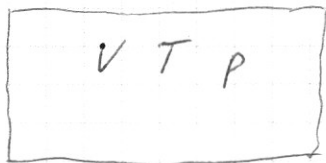
$$v_0 = \sqrt{5gR}$$

Подставим числа:

$$v_0 = \sqrt{5 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 50 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

3.



Так как сосуд теплоизолирован, то  $dQ$  системы = 0, и, так как он не меняет свой объём, то и

$A = 0$ , а значит  $dU = 0$ . Поэтому

можно считать, что та же энергия, которую отдал 1 газ

при охлаждении = той энергии, которую приобрёл 2 газ при нагревании.

2) При замыкании ключа участка выключается параллельно на конденсаторе будет равно напряжению на резисторе  $R_1$ , и будет равно  $U_1$ , тогда закон Ома для ~~параллельно~~ замкнутой цепи!

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R} \quad U_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + R} \quad U_1 = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R} =$$

$$= \frac{\varepsilon 3R}{4R} = \frac{3}{4} \varepsilon$$

3) После размыкания ключа энергия будет выделится за счёт разрядки конденсатора. При этом, вся энергия  $W$ , которая выделится в цепи будет равна энергии конденсатора в момент размыкания ключа, и будет равна  $W = \frac{C U_1^2}{2}$

$$W = \frac{C}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} \varepsilon\right)^2 = \frac{9 C \varepsilon^2}{32}$$

Ответ: 1)  $\frac{\varepsilon}{R}$ ; 2)  $\frac{3}{4} \varepsilon$ ;  $\frac{9}{32} C \varepsilon^2$

2. Согласно с законом импульса для ~~момента~~ начального и момента когда тело поднято на максимальную высоту:

$$m \vec{v}_0 = m \vec{v} + 3m \vec{v}, \text{ или в проекции на}$$

горизонтальную ось:

$$m v_0 = 4 m v \Rightarrow v_0 = 4 v$$

$$v = \frac{v_0}{4} \quad (2)$$

Законом сохранения энергии:

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h + \frac{(m + 3m) v^2}{2}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g h + \frac{4m}{2} v^2$$

$$\frac{v_0^2}{2} = g h + 2 \frac{v_0^2}{16}$$

$$\frac{3}{8} v_0^2 = g h$$

$$h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$dU_1 = dU_2$$

$$\frac{i}{2} \nu_1 R dT_1 = \frac{i}{2} \nu_2 R dT_2$$

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

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

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

$$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}, \quad \text{где } T_1 = t_1 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = t_2 + 273 = 280 \text{ K}$$

$$T = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 300 \text{ K} + 0,3 \text{ моль} \cdot 280 \text{ K}}{0,2 \text{ моль} + 0,3 \text{ моль}} = 2,144 \text{ K} = 288 \text{ K}$$

Значит в сосуде устанавливается температура  $15^\circ\text{C}$   
Коечное давление в сосуде можно с законом

Менделеева - Клайперона:

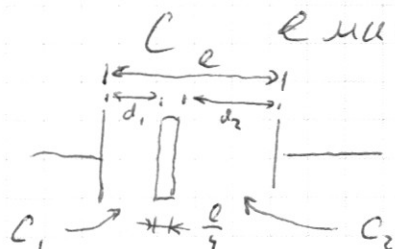
$$pV = (\nu_1 + \nu_2) RT$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) RT}{V} = \frac{288 \text{ K} \cdot 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{K} \cdot 0,5 \text{ моль}}{1 \text{ моль}\cdot\text{K} \cdot 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 144 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 144 \text{ кПа}$$

Ответ: 1)  $15^\circ\text{C}$  2)  $144 \text{ кПа}$

4. 1) Конденсатор с пластиной можно представить  
как 2 последовательно соединенных конденсатора

емкостями  $C_1$  и  $C_2$ :



$$\text{где } C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1}; \quad C_2 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2}$$

$$\text{Тогда их общая емкость } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} =$$

Зная максимальную высоту полета шайбы,

$$h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}$$

2) Теперь представим то же самое но уже ~~на~~ в  
случае шайбы:

$$(m + 3m) v = m v_0 + 3m v_2$$

$$4m v = -m v_0 + 3m v_2$$

$$4v = 3v_2 - v_0$$

$$(1) \quad v_2 = \frac{4v + v_0}{3}, \text{ где } v_2 - \text{ скорость}$$

шайбы и порки в момент полета шайбы на  
макс. высоту;  $v_0$  - скорость стержня и шайбы,

$v_2$  - скорость порки до шайбы.

$$\frac{(m + 3m) v^2}{2} + mgh = \frac{m v_0^2}{2} + \frac{3m v_2^2}{2} \quad \text{из (1)}$$

$$2v^2 + gh = \frac{v_0^2}{2} + \frac{3}{2} \left( \frac{4v + v_0}{3} \right)^2$$

$$\frac{v_0^2}{8} + 4 \cdot \frac{2}{8} \frac{v_0^2}{g} = \frac{v_0^2}{2} + \frac{1}{6} (v_0^2 + 2v_0v + v^2)$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} + \frac{v_0^2}{6} + \frac{v_0v}{3} + \frac{v^2}{6}$$

$$\frac{v_0^2}{3} = \frac{2}{3} v^2 + \frac{v_0v}{3}$$

$$\frac{2}{3} v^2 + \frac{v_0v}{3} - \frac{v_0^2}{3} = 0$$

$$D = \frac{v_0^2}{9} + 4 \cdot \frac{2}{3} \frac{v_0^2}{9} = v_0^2$$

$$v = \frac{3 \left( -\frac{v_0}{3} + \sqrt{v_0^2} \right)}{4} = \frac{2v_0}{4} = \frac{v_0}{2}$$

Ответ: 2)  $\frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}$ ;  $\frac{v_0}{2}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$= \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 d_2 \left( \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} + \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_2} \right)} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S d_1 d_2}{d_1 d_2 (d_1 + d_2)} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + d_2}$$

Так как  $l$  (расстояние между обкладками конденсатора)

$$l = d_1 + d_2 + \frac{l}{4}, \text{ то}$$

$$(1) C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 + l - d_1 - \frac{l}{4}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{3}{4}l} = \frac{4 \epsilon \epsilon_0 S}{3l}$$

Емкость конденсатора без пластины  $C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{l}$ ,  
подставим это в (1):

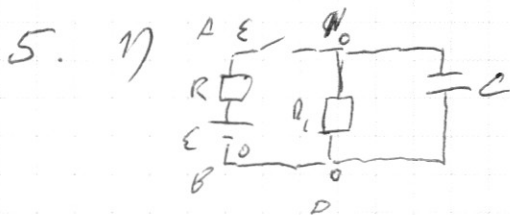
$$C = \frac{4}{3} C_0$$

⇒ Так как после ввозки пластины емкость конденсатора увеличивается, то появится место для дополнительного заряда на обкладках. Уже только заряд в конденсаторе был  $q_0 = C_0 \epsilon$ , максимальный заряд, который можно накопить после ввозки в пластины:  $q_{\max} = C \epsilon$ .

Тогда через резистор пройдет заряд:

$$dq = q_{\max} - q_0 = C \epsilon - \epsilon C_0 = \epsilon \frac{1}{3} C_0 = \frac{C_0 \epsilon}{3}$$

Ответ: 1)  $\frac{4}{3} C_0$ ; 2)  $\frac{C_0 \epsilon}{3}$



Уже только по теореме

тогда  $A \neq D$  равны

соответственно  $\Sigma; 0; 0; 0$ .

Поэтому сразу после замыкания цепи ток через цепь  
здесь (резистор  $R$ )  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

$$m v_0 = (m + M) u \quad v_0 = 4u \quad u^2 = \frac{v_0^2}{16}$$

$$\frac{M v_0^2}{2} = M g h + \frac{4 M u^2}{2}$$

$$\frac{4 v_0^2}{4 \cdot 2} = g h + \frac{2 v_0^2}{4 \cdot 8}$$

$$2u^2 = \frac{v_0^2}{8}$$

$$\frac{3}{8} v_0^2 = g h$$

$$\frac{4 v_0^2}{8} = \frac{v_0^2}{8}$$

$$h = \frac{3 v_0^2}{8 g}$$

$$m + 4M u = 3M u_2 - M u \quad v_0 = 3u_2 - u$$

$$M g h + \frac{4 M u^2}{2} = \frac{M v_0^2}{2} + \frac{3 M u_2^2}{2}$$

$$u_2 = \frac{v_0 + u}{3}$$

$$\frac{3}{8} v_0^2 + 2u^2 = \frac{v_0^2}{2} + \frac{3}{2} u_2^2 \left( \frac{v_0 + u}{3} \right)^2$$

$$\frac{4}{8} \frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} + \frac{1}{6} (v_0^2 + 2v_0 u + u^2)$$

~~$$\frac{11}{8} v_0^2 = \frac{v_0^2}{2} + \frac{v_0^2}{6} + \frac{v_0 u}{3} + \frac{u^2}{6} + \frac{4}{6} u^2$$~~

~~$$\frac{23 v_0^2}{24} = \frac{4 u^2}{24}$$~~

~~$$\frac{29}{24} v_0^2 = \frac{v_0 u}{3} + \frac{4}{6} u^2$$~~

~~$$0 = \frac{v_0^2}{3} - \frac{4}{6} \frac{v_0^2}{3} - \frac{29}{24} v_0^2$$~~

$$\frac{v_0 + u}{2} \quad \frac{(v_0 + u)^2}{6}$$

$$D = \frac{v_0^2}{3} + \frac{4}{9} \frac{v_0^2}{3} + \frac{4}{9} \frac{v_0 u}{3} + \frac{4}{9} \frac{u^2}{3}$$

$$\frac{29}{24} v_0^2 = \frac{v_0 u}{3} + \frac{4}{6} u^2$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} + \frac{v_0 u}{3} + \frac{u^2}{6}$$

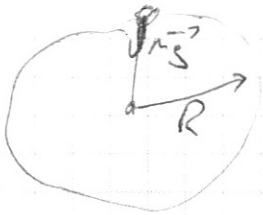




черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**



$$\vec{v}_S = \vec{v}_a$$

$$\vec{g} = \vec{a}$$

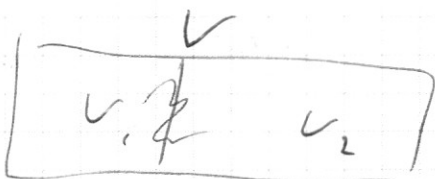
$$g = \frac{v^2}{R}$$

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

$$\frac{v_0^2}{2} = 2gR + \frac{gR}{2}$$

$$\frac{v_0^2}{2} = 2.5gR \quad v_0^2 = 5gR$$

$$v_0 = \sqrt{5gR}$$



He 27°C    He 7°C  
0.2 mol    0.3 mol

$$U = const$$

$$dQ = dU$$

$$dQ = \frac{i}{2} \nu R dT$$

$$\frac{1}{2} \nu_1 R (T_1 - T) = \frac{1}{2} \nu_2 R (T - T_2)$$

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

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

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

$$\frac{28}{84}$$

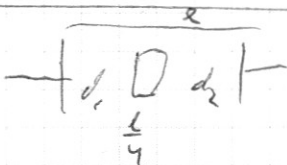
$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) RT}{V}$$

288	60	+84	144
88	8	+7	15
73			
147			

$$R = 7$$

$$\nu_1 R T = \nu_2 T$$

$$mol \cdot K \cdot R = D_2$$



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

$$C d = q U$$

$$C_1 U_1 = C_2 U_2$$

$$C (U_1 + U_2) = q U$$

$$C = \frac{q U}{U_1 + U_2} = \frac{C_1 C_2 U}{\frac{q U}{C_1} + \frac{q U}{C_2}} = \frac{C_1 C_2}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

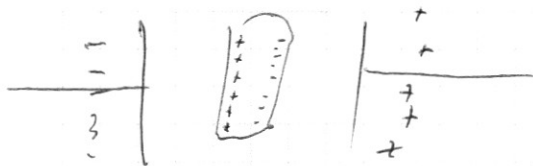
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1 d_2 \left( \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$$\frac{\epsilon \epsilon_0 S d_1 d_2}{d_1 + d_2}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}} = \frac{4 \epsilon \epsilon_0 S}{3d} = \frac{4}{3} C$$

$$\frac{C_0 \epsilon^2}{2} = \frac{C \epsilon^2}{2} + J^2 R$$

$$\frac{\epsilon C_0^2}{2} = \frac{C \epsilon^2}{2} + g U$$



$$C\varepsilon = 0.5$$

$$C\varepsilon = CU$$

$$(C\varepsilon - CU)$$

$$(\varepsilon - U) = 1$$

$$\frac{\varepsilon}{U}$$

$$\frac{U}{4} = \frac{3\varepsilon}{4}$$

$$U_1 = 3\varepsilon$$

$$3 = 4 + U_1$$

$$U_1 = 3(\varepsilon - U_1)$$

$$U_1 = \varepsilon - 3\varepsilon$$

$$4\varepsilon U_1 = 3\varepsilon$$

$$U_1 = \frac{3}{4}\varepsilon$$

$$\frac{CU_1}{2} = Q$$

$$mU = (m+M)u$$

$$\frac{mU_0^2}{2} = mgh + \frac{(m+M)U^2}{2}$$

$$\frac{mU_0^2}{2} = mgh + \frac{m+M}{2} \frac{mU_0^2}{m+M}$$

$$\frac{U_0^2}{2} = gh + \frac{U^2}{2}$$

$$\frac{U_0^2}{g} \left( \frac{3}{4} - \frac{m}{4+m} \right) = h$$

$$\frac{U_0^2}{4g} = h$$

$$(m+M)U = mU + MU_2$$

$$\frac{(m+M)U^2}{2} + mgh = \frac{mU^2}{2} + \frac{MU_2^2}{2}$$

$$\frac{mU_0^2}{2(m+M)} + \frac{U^2}{4} M = \frac{mU^2}{2} + \frac{M(U-U)^2}{2M}$$

$$M(U-U)$$

$$4 \frac{mU_0^2 - mU^2}{M}$$

$$\frac{mU_0^2}{2(m+M)} + \frac{2U^2}{4} = \frac{U^2}{2} + \frac{(U-U)^2}{2M}$$

$$\frac{3U_0^2}{4g} = \frac{U^2 M + U_0^2 m - 2U_0 U m + U^2 m}{2M}$$

$$\frac{3}{4} U_0^2 \frac{m}{M} = U^2 \frac{m}{M} + U_0^2 \frac{m}{M} - 2U_0 U \frac{m}{M} + U^2 \frac{m}{M}$$

$$\frac{5}{4} U_0^2 = 3U^2 + U_0^2 - 2U_0 U + U^2$$

$$4U^2 - \frac{5}{4} U_0^2 - 2U_0 U = 0$$

$$D = 4U_0^2 - 2 \cdot \frac{20}{4} U_0^2$$