

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

10:22  
11:36  
11:46

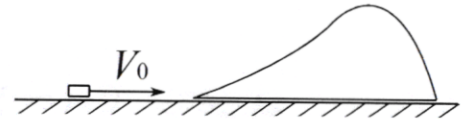
Шифр 15-020

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, 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.

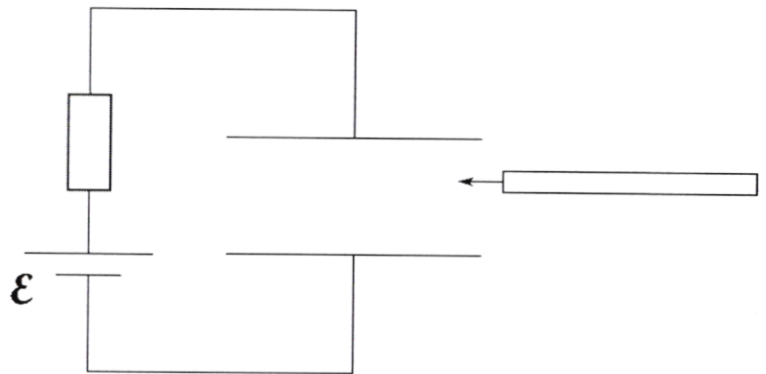


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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.

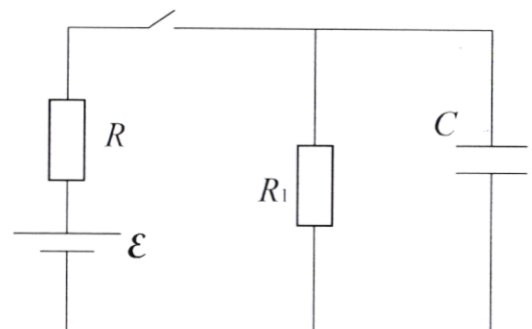
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?



$$2E \cdot S = \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon}$$

$$E = \frac{q}{2S\epsilon_0 \epsilon}$$

$$E \cdot d = U$$

$$\cancel{U} C U = q$$

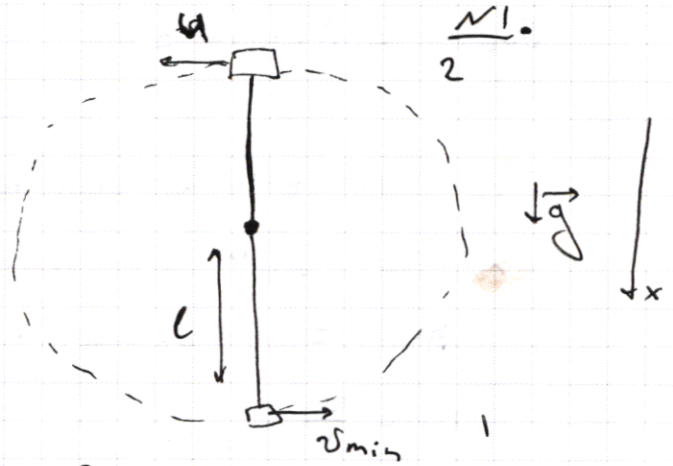
$$C = \frac{q}{E \cdot d} = \frac{q}{\frac{q \cdot d}{2S\epsilon_0 \epsilon}} = \frac{2S\epsilon_0 \epsilon}{d}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$l = 50 \text{ см}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{\min} = ?$$



- 1) Запишем условие  
эвентуации по окружности в  
верхней точке траектории:

$$\text{на } 0x \quad ma = T + mg = m \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{R}{m} (T + mg)}$$

Для минимальности  $v_{\min}$  нужна минимальность  $U$ ,  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  в крайнем случае  $T=0$  в верхней точке траектории.

$$v = \sqrt{eg}$$

- 2) Запомним, что в любой точке траектории шарик  
будет эвентуаться по окружности, т.к.  $v_i \geq v$ , поэтому  
шарик не будет провисать.

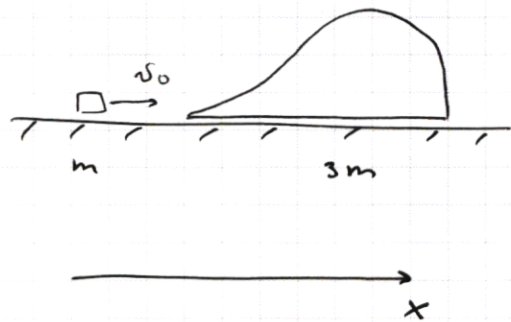
- 3) По ЗСЭ для положений шарика 1 и 2:

$$\frac{m v_{\min}^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + mg \cdot 2l$$

$$v_{\min} = \sqrt{v^2 + 4gl} = \sqrt{ge + 4gl} = \sqrt{5gl} = \sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 5 \text{ м/с}$$

$$\boxed{\text{Ответ: } v_{\min} = \sqrt{5gl} = 5 \text{ м/с}}$$

- 1) Шайба перестает  
 двигаться на горку, когда  
 $v_{\text{шайба}} = v_{\text{горка}} = v_1$



- 2) Т.к. нет внешних сил на систему на ОХ  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  по ЗСИ на систему:

$$m v_0 = m v_{\text{шайба}} + 3m v_{\text{горка}} = 4m v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{4}$$

- 3) По ЗСЭ на систему:

$$\frac{m v_0^2}{2} = 4m \frac{v_1^2}{2} + mgh = \frac{m v_0^2}{2 \cdot 4} + mgh$$

$$mgh = \frac{3}{8} m v_0^2$$

$$h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g} - \text{максимальная высота, т.к. } v_{\text{от.х}} = 0$$

- 4) Далее запишем ЗСЭ и ЗСИ  
 для положений ① и ③

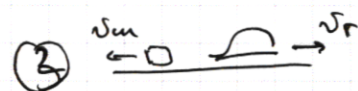
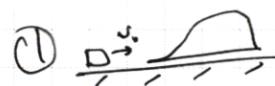
$$\text{ОХ: } \begin{cases} m v_0 = 3m v_r - m v_m \\ \frac{m v_0^2}{2} = \frac{3m v_r^2}{2} + \frac{m v_m^2}{2} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} v_0^2 = 9v_r^2 + v_m^2 - 6v_r v_m \\ v_0^2 = 3v_r^2 + v_m^2 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow 0 = 6v_r^2 - 6v_r v_m$$

$$v_r (v_r - v_m) = 0$$

$$\begin{cases} v_r = 0, \emptyset \\ v_r = v_m \end{cases}$$





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$m v_0 = 3m v_r - m v_m = 3m v_m - m v_m = 2m v_m$$

$$v_m = \frac{v_0}{2}$$

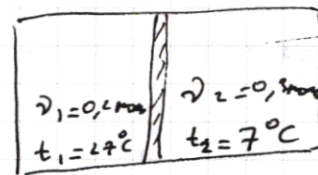
Ответ: 1)  $h = \frac{3}{8} \frac{v_0^2}{g}$  ;

2)  $v_m = \frac{v_0}{2}$

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

$t_k$  - ?

$P_k$  - ?



1) Г.к. сосуд тепло изолирован, то рассмотрим систему двух газов как единицу. Тогда по 3СЗ  $\Delta Q = 0$

$$\Delta U + \Delta A = 0$$

Г.к. нет внешних сил, совершающих работу

$$\frac{3}{2} v_1 R t_1 + \frac{3}{2} v_2 R t_2 - \frac{3}{2} (v_1 + v_2) R t_k = 0$$

$$\frac{264}{3} = 88$$

$$t_k = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{v_1 + v_2} = \frac{0,2 \text{ м}^3 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280}{0,5} = \frac{60 + 84}{1/2} =$$

$$= 2 \cdot 144 = 288 \text{ К} = 15^\circ \text{C}$$

2) По ур-ю Клапейрона - Менделеева:

$$P_k V = (v_1 + v_2) R t_k$$

$$P_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R t_k}{V} = \frac{(\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2) R}{V} =$$

$$= \frac{(0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280) \cdot 8,31}{8,31 \cdot 10^{-3}} = \frac{(60 + 84) \cdot 10^3}{8,31 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= 144 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

Ответ: 1)  $t_k = \frac{\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2}{\nu_1 + \nu_2} = 15^\circ \text{C}$  ;

2)  $P_k = \frac{(\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2) R}{V} = 144 \cdot 10^3 \text{ Па}$

1) Записать ёмкость конденсатора воздушного.

$$C_0 = \frac{q}{U} =$$

$$= \frac{q}{E \cdot d} = \frac{q}{\frac{q \cdot d}{\epsilon_0 \epsilon E}} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E}{d}$$

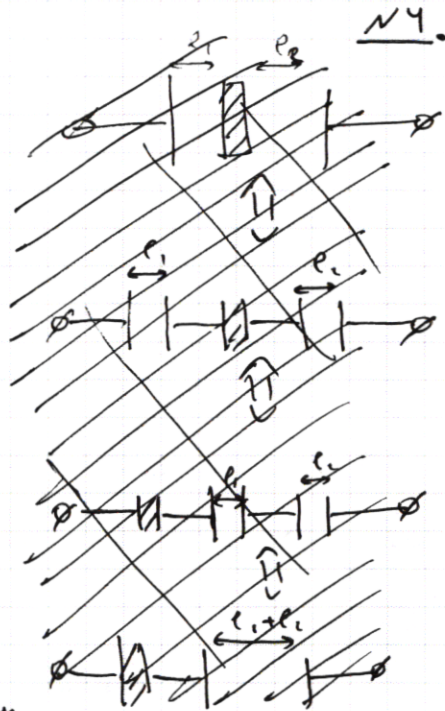
где  $S$  - площадь

пласти,

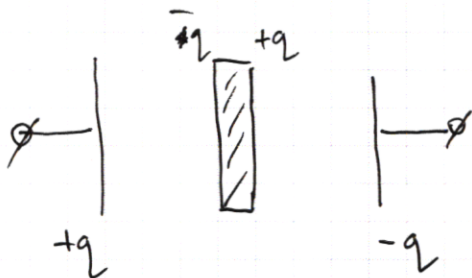
$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость В-Ва

$d$  - расстояние между пластинками

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \text{ где } \epsilon_0 \text{ - воздух внутри}$$

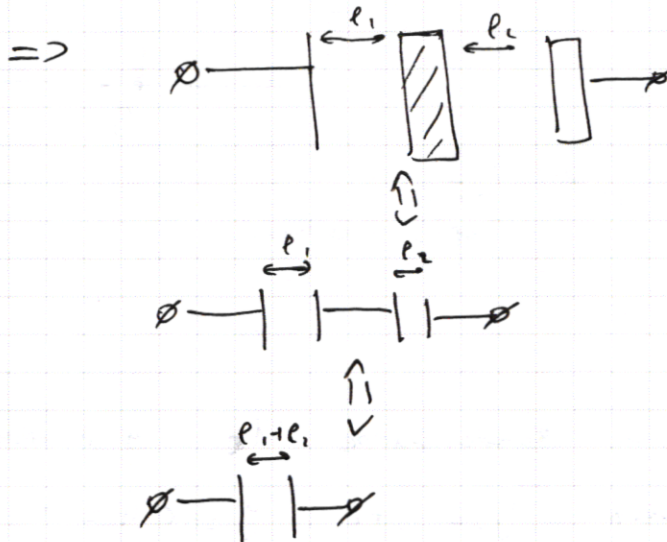


2)



Пластины конденсатора индуцируют ~~взаимно~~ противоположный заряд на проводящей пластине. Т.к. пластины проводящая, то внутри неё нет поля. (продолжение решения) на стр. 5

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



продолжите по ч

$$r_1 + r_2 + \frac{d}{4} = d$$

$\swarrow$                        $\swarrow$   
 толщина                      толщина  
 пластины                      диэлектрика

$$r_1 + r_2 = \frac{3}{4} d$$

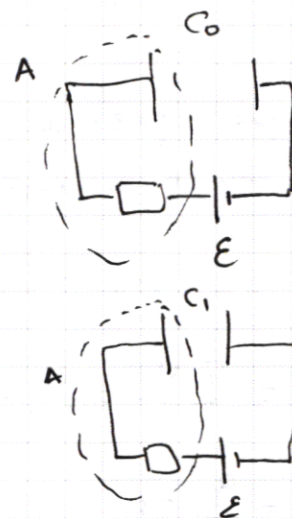
$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{\frac{3}{4} d} = \frac{4}{3} C_0$$

3) Запишите закон сохранения  
зарядов для контура А;

$$|Aq| = |q_1 - q_2| = \epsilon_1 \epsilon - C_0 \epsilon = \frac{C_0 \epsilon}{3}$$

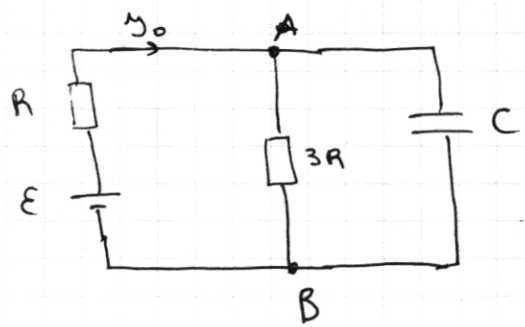
Ответ: 1)  $C_1 = \frac{4}{3} C_0$  ;

2)  $|Aq| = \frac{\epsilon C_0}{3}$  .





1) сразу после замыкания ключа  $\Delta \varphi_{AB} = 0$ , т.к. конденсатор не заряжен  $\Rightarrow$



$\Rightarrow E - I_0 R = 0$ , где  $I_0$  ток через источник

$$I_0 = \frac{E}{R}$$

2) когда напряжение на конденсаторе  $U_C$  установится, ток через конденсатор  $I = 0$ , т.к.  $I = C \dot{U} = 0$

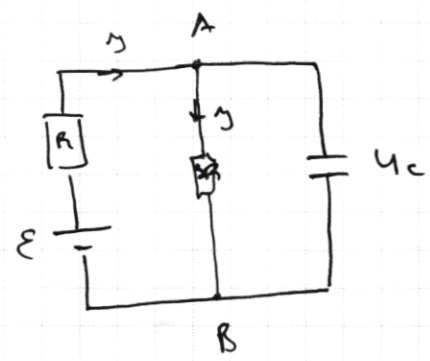
$$\Rightarrow I_A = I_{3R}$$

по I СК для A и B

$$\Delta \varphi_{AB} = E - I R = I \cdot 3R = U_C$$

$$I = \frac{E}{4R}$$

$$U_C = 3 I R = \frac{3}{4} E$$

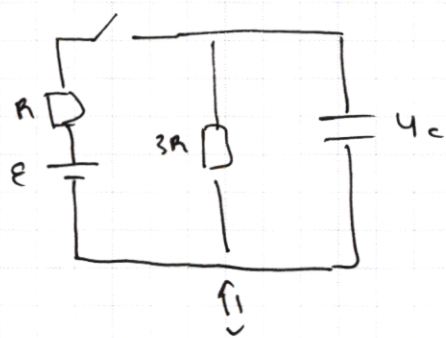


3) После размыкания ключа источник и резистор R отключаются от цепи.

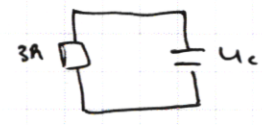
по ЗСЭ для эквив. цепи

$$Q = \frac{C U_C^2}{2} = \frac{C}{2} \cdot \left(\frac{3}{4} E\right)^2 =$$

$$= \frac{9}{32} C E^2$$



Ответ: 1)  $I_0 = \frac{E}{R}$ ; 2)  $U_C = \frac{3}{4} E$ ; 3)  $Q = \frac{9}{32} C E^2$





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

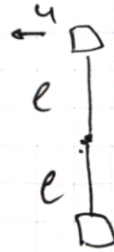
$$m \frac{v^2}{e} = mg$$

$$v = \sqrt{eg}$$

$$\frac{m v^2}{2} = mg \cdot 2e + \frac{m e g}{2}$$

$$v^2 = ge(4 + 1)$$

$$v = \sqrt{5ge} = \sqrt{0,5 \cdot 10 \cdot 5} = 5 \text{ м/с}$$

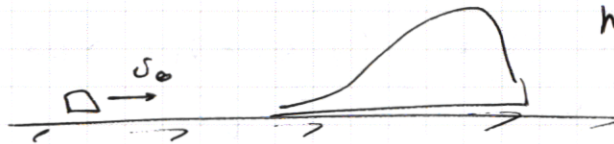


$$\frac{e}{e}$$

$$\frac{3}{5} e$$

$$\frac{c \frac{9}{16} e^2}{2} =$$

$$= \frac{9}{32} c e^2$$



$$m v_0 = 4m v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{4}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{4m v_1^2}{2} + mgh = \frac{m}{2} 4 \cdot \frac{v_0^2}{16} = \frac{m}{8} v_0^2$$

$$\frac{3}{8} m v_0^2 = mgh$$

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

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_u^2}{2} + \frac{3m v_r^2}{2}$$

$$m v_0 = 3m v_r - m v_u$$

$$v_r = \frac{v_0 + v_u}{3}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m}{2} v_u^2 + \frac{3}{2} m (v_0^2 + v_u^2 + 2v_0 v_u)$$

$$3v_0^2 = 3v_u^2 + v_0^2 + 6v_u^2 + 2v_0 v_u$$

$$4v_m^2 + 2v_0 v_m - 2v_0^2 = 0$$

$$2v_m^2 + v_0 v_m - v_0^2 = 0$$

$$v_m = \frac{-1 \pm \sqrt{1+4}}{4} v_0 = \frac{-1 \pm 3}{4} v_0$$

$$v_m = -v_0$$

$$v_m = \left(\frac{v_0}{2}\right)$$

№3.

$$\frac{3}{2} (\nu_1 R t_1) + \frac{3}{2} \nu_2 R t_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R t_k$$

$$t_k = \frac{\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280}{0,2 + 0,3} = \frac{60 + 84}{0,5} = 144 \cdot 2 = 288 \text{ K} = 15^\circ \text{C}$$

$$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R t_k}{V} = \frac{(\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2) R}{V} = \frac{144 \cdot 0,51}{0,31 \cdot 10^{-3}} = 174 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R t_k}{V} = \frac{(\nu_1 t_1 + \nu_2 t_2) R}{V} = \frac{144 \cdot 0,51}{0,31 \cdot 10^{-3}} = 174 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$= 174 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

№4.

$$C_0 = \frac{q}{U} = \frac{q}{E \cdot d} =$$

$$= \frac{q}{\frac{q}{\epsilon \epsilon_0} \cdot d} = \frac{\epsilon \epsilon_0}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0}{\frac{3}{2} d} = \left(\frac{2}{3}\right) C_0 \quad \Delta(C_0 \epsilon) = \left(\frac{\epsilon C_0}{3}\right)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

15-020

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)