

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

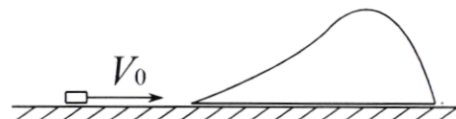
Шифр 06-028

(заполняется секретарём)

Вариант 11-04

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 18 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 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.

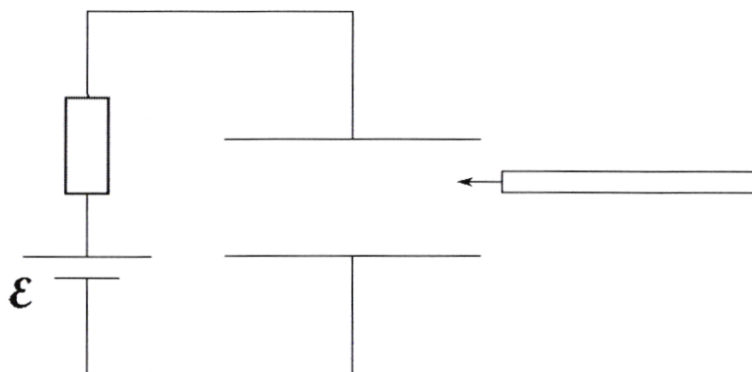


- 1) На какую максимальную высоту поднимается монета?
- 2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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.

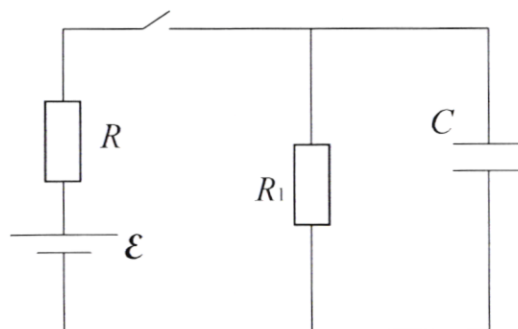
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 подсоединен через резистор к источнику с ЭДС ε (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 , ε , 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

$l = 18 \text{ см}$

$g = 10 \text{ м/с}^2$

ϵ, R

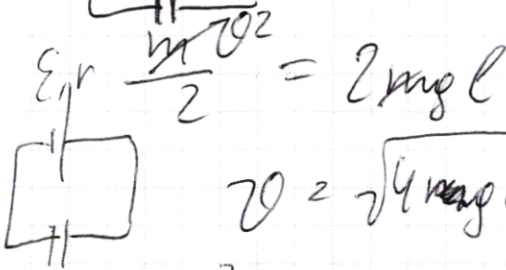
$u_c = 0$

$I_c = \text{max}$



$R(0) = 0$
 $R(x) \rightarrow \infty$

$\frac{m v_0^2}{2} = mgh + mu^2$
 $u \rightarrow 0$
 $R \rightarrow \frac{R_0 R_{\text{св}}}{R_{\text{св}} + R}$
 $= \frac{R_0}{1 + \frac{R}{R_{\text{св}}}} = R_0$
 $I = \frac{\epsilon}{SR}$



$\frac{\epsilon I}{2} = 2mg l$
 $v = \sqrt{4mg l} = \sqrt{4 \cdot 0.18 \cdot 10} = \sqrt{4 \cdot 1.8} = 2.6$

$\frac{m v^2}{2} = mgl$
 $v = \sqrt{2gl}$

$\begin{cases} m v_0^2 = \frac{m v^2}{2} + \frac{m u^2}{2} \\ m v_0 = -m v + m u \end{cases}$

$m v_0^2 = \begin{cases} v_0^2 = v^2 + 4u^2 & u = v_0 + v \\ v_0 = -v + u & v_0^2 = v^2 + u^2 \end{cases}$
 $v = v_0 - u$

$v_0^2 = v_0^2 - 2v_0 u + u^2 + 4u^2$

$5u^2 = 2v_0 u$

$\frac{4}{5} \epsilon = \frac{16}{25} \epsilon^2 \quad u = \frac{2}{5} v_0$

$\frac{4}{5} \epsilon = \frac{16}{25} \epsilon^2 \quad v = \frac{3}{5} v_0$

$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v^2}{2} + gh$

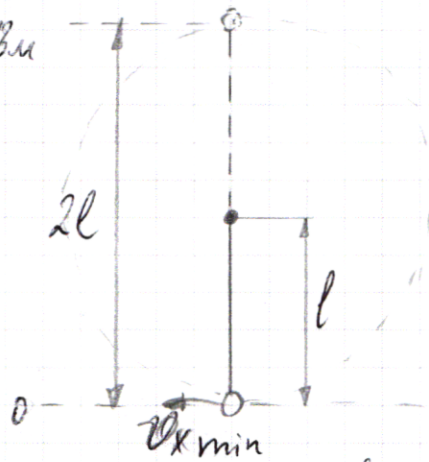
$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}$

№1

$$l = 18 \text{ см} = 0,18 \text{ м}$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$v_{x \text{ min}} = ?$$



Чтобы шарик смог совершить полный оборот, его потенциальная энергия в верхней точке должна быть равна энергии шарика в нижней точке (на самом деле скорость должна быть не меньше, чтобы шарик не соскочил, тогда, перевесит!)

$$P_{\text{max}} \approx P_0 + K_0$$

Взев за высоту 0 нижнюю точку шарика:

$$P_{\text{max}} = K_0$$

$$mg \cdot 2l = \frac{m v_{x \text{ min}}^2}{2} \Rightarrow v_{x \text{ min}} = \sqrt{4gl} = 2\sqrt{gl} =$$

$$= 2\sqrt{10 \cdot 0,18 \text{ м/с}^2} = 2\sqrt{1,8} \text{ м/с} \approx 2\sqrt{\frac{180}{100}} \text{ м/с} \approx 0,2 \cdot \sqrt{180} \approx$$

$$\approx 0,2 \cdot 13,4 = 2,68 \text{ м/с}$$

Ответ: $v_{x \text{ min}} \approx 2,68 \text{ м/с}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

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

He ($i=3$)

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

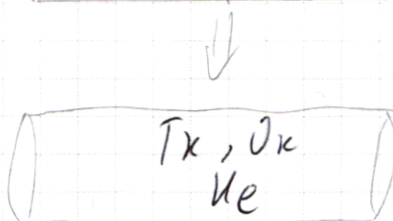
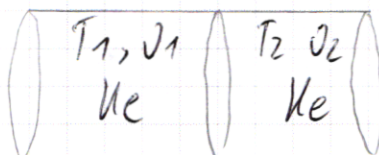
$$\nu_1 = 0,1 \text{ моль}$$

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

$$\nu_2 = 0,4 \text{ моль}$$

1) $T_k = ?$

2) $P_k = ?$



Поскольку газ нигде не утекает и нигде не добавляется $\nu_k = \nu_1 + \nu_2$ (1)

Будем считать, что обмен энергией между частями происходит идеально (без возникновения каких-либо «шероховатостей» и т.д.), тогда $U_k = U_1 + U_2$ (2)

$$U_k = \frac{i}{2} \nu_k R T_k \Rightarrow T_k = \frac{U_k}{\frac{i}{2} \nu_k R} = \frac{2(U_1 + U_2)}{(\nu_1 + \nu_2) R}$$

$$U_1 = \frac{i}{2} \nu_1 R T_1$$

$$U_2 = \frac{i}{2} \nu_2 R T_2$$

$$\Rightarrow T_k = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,1 \text{ моль} \cdot 400\text{K} + 0,4 \text{ моль} \cdot 280\text{K}}{0,5 \text{ моль}} = \frac{152}{0,5} \text{ K} =$$

$$= 304 \text{ K} = 31^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$P_k V = \nu_k R T_k \Rightarrow P_k = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_k}{V} = \frac{(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) R}{V} =$$

$$= \frac{(0,1 \text{ моль} \cdot 400\text{K} + 0,4 \text{ моль} \cdot 280\text{K}) \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{K)}}{8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 152 \cdot 1000 \text{ Па} = 152 \text{ кПа} \quad (4)$$

Ответ: $T_k = 31^\circ\text{C}$; $P_k = 152 \text{ кПа}$.

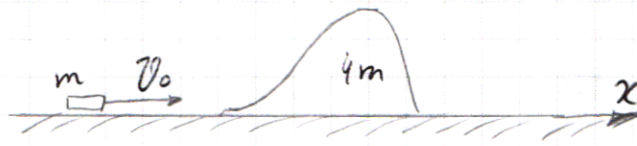
№2

m, v_0

$4m$

1) h_{\max}

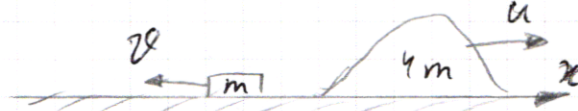
2) v



В начале движения



В наивысшей точке (h_{\max})



После съезда покатил с горы

Запишем ЗЭД в начале и конце движения:

$$\frac{m v_0^2}{2} + 0 = \frac{m v^2}{2} + \frac{4m u^2}{2} \quad (1)$$

Запишем ЗИИ в начале и конце движения (по оси x):

$$m v_0 = -m v + m u \quad (2)$$

Решим систему уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} \frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v^2}{2} + \frac{4m u^2}{2} \\ m v_0 = -m v + m u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0^2 = v^2 + 4u^2 \\ v_0 = -v + u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v = u - v_0 \\ v_0^2 = v^2 + 4u^2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v = u - v_0 \\ v_0^2 = u^2 - 2u v_0 + v_0^2 + 4u^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v = u - v_0 \\ 5u^2 = 2u v_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u = \frac{2}{5} v_0 \\ v = \frac{3}{5} v_0 \end{cases} \quad (3)$$

Запишем ЗЭД относительно планеты:

$$\begin{aligned} \frac{m v_0^2}{2} &= \frac{m v^2}{2} + m g h_{\max} \Rightarrow h_{\max} = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{v_0^2 - \frac{9}{25} v_0^2}{2g} = \\ &= \frac{16 v_0^2}{50g} \quad (4) \end{aligned}$$

Ответ: $v = \frac{3}{5} v_0$, $h_{\max} = \frac{16 v_0^2}{50g}$

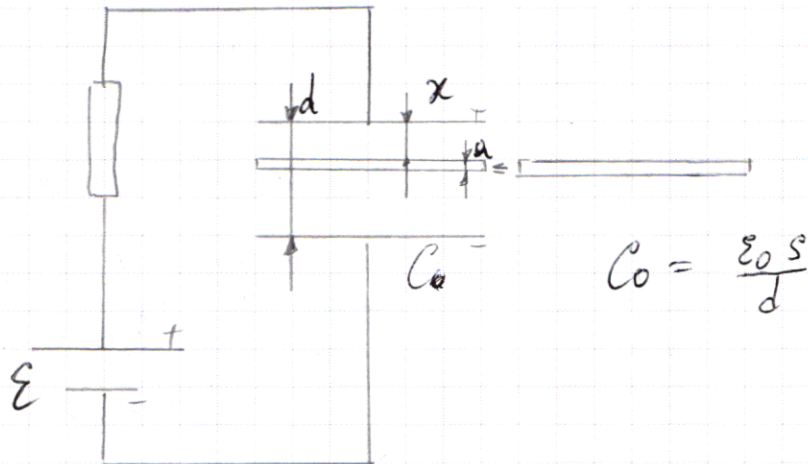
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~4

$$\epsilon_0, \epsilon, a = \frac{d}{3}$$

1) $C = ?$

2) $q_R = ?$



Обозначим расстояние от положительной пластины до левейшего края проволоки x . Поскольку пластина не была заземлена, то новый конденсатор можно представить в виде двух последовательно соединённых конденсаторов с расстоянием между пластинами x и $d-x-a$, где a — ширина пластины.

$$\frac{1}{C} = \frac{x}{\epsilon_0 S} + \frac{d-x-a}{\epsilon_0 S} = \frac{d-a}{\epsilon_0 S} = \frac{\frac{2}{3}d}{\epsilon_0 S} = \frac{2d}{3\epsilon_0 S} \Rightarrow C = \frac{3}{2} \frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{3}{2} C_0 \quad (1)$$

При установившемся режиме ток через резистор идти не будет, тогда количество заряда в нём зависит только от потенциальной разности в конденсаторе:

$$q_R = q - q_0 = C \cdot \epsilon - C_0 \cdot \epsilon = (C - C_0) \epsilon = \frac{1}{2} C_0 \epsilon \quad (2)$$

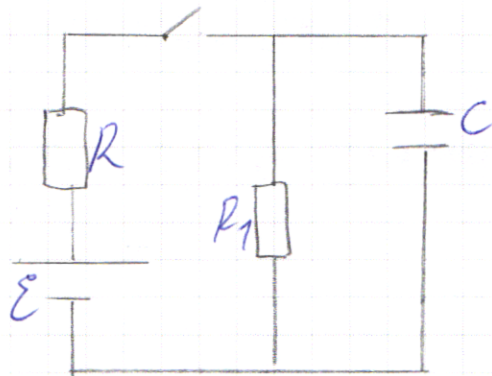
где q_0 — заряд на обкладке конденсатора, q — заряд на пластине

Ответ: $C = \frac{3}{2} C_0$, $q_R = \frac{C_0 \epsilon}{2}$

№5

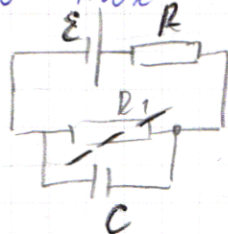
C, ε, R
 $R_1 = 4R$

- 1) I_0
- 2) U_C
- 3) Q



1) При замыкании ключа начнется зарядка конденсатора. Поскольку и конденсатору параллельно включен резистор R_1 , то ток через R_1 не пойдет.

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R} \quad (1)$$



Допустим, в начальный момент времени конденсатор является проводником.

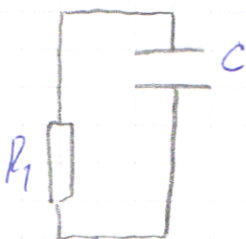
2) Поскольку R_1 и C подключены параллельно, то $U_C = U_{R_1}$. Если резистор установлен, то ток через конденсатор не идет $\Rightarrow I_R = I_{R_1} \Leftrightarrow \frac{U_R}{R} = \frac{U_{R_1}}{R_1}$

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_R}{R} &= \frac{U_{R_1}}{R_1} \\ U_R + U_{R_1} &= \varepsilon \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} U_{R_1} = \frac{R_1}{R} U_R \\ U_R = \varepsilon - U_{R_1} \end{cases}$$

$$U_{R_1} = \frac{R_1}{R} (\varepsilon - U_{R_1}) \Rightarrow U_{R_1} \left(1 + \frac{R_1}{R}\right) = \varepsilon \frac{R_1}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_C = U_{R_1} = \frac{\varepsilon R_1 \cdot R}{R(R+R_1)} = \frac{\varepsilon R_1}{R+R_1} = \frac{4R\varepsilon}{5R} = \frac{4}{5} \varepsilon \quad (2)$$

3) Схема при разрядке конденсатора при замыкании ключа:



$$\left. \begin{aligned} \text{По ЗСЭ: } E_C &= QR_1 \\ E_C &= \frac{CU_C^2}{2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow QR_1 = \frac{C \cdot \frac{16}{25} \varepsilon^2}{2} = \frac{16}{50} C\varepsilon^2$$

Ответ: $I_0 = \frac{\varepsilon}{R}$; $U_C = \frac{4}{5} \varepsilon$; $Q_{R_1} = \frac{16}{50} C\varepsilon^2$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

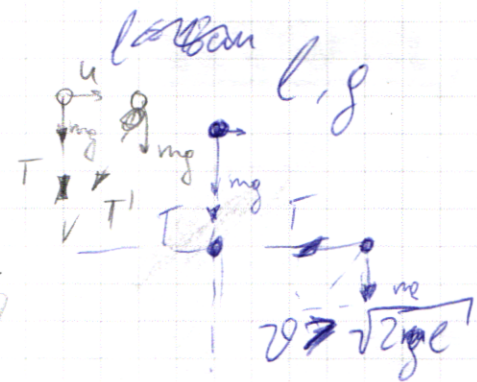
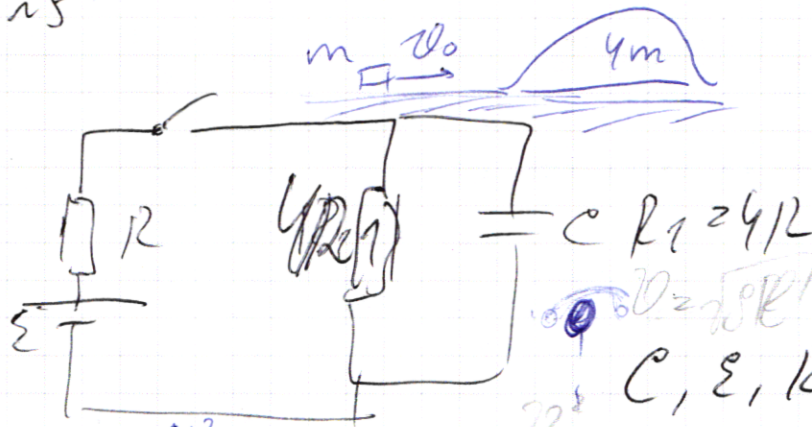
$l = 10 \text{ см}$ $q_p = \sigma \cdot U$ $U_{12} = \varepsilon - U_e$ $U = \frac{q}{\sigma C}$
 $\sigma = 10 \text{ нКл/см}^2$ $q = \sigma C U$ $\Delta E = \frac{q^2}{2C} = 0$
 $U = ?$ $q = \sigma C U$ $q = C U = \sigma C U$

$\sigma h = l(1 - \cos \varphi)$ $a = \frac{d}{3}$ $C_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \frac{q^2}{2C}$
 $h = l \cos \varphi$ $\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{x}{\varepsilon_0 S} + \frac{d-a-x}{\varepsilon_0 S} = \frac{d-a}{\varepsilon_0 S}$
 $Q = \sigma E = \frac{U \sigma^2}{2}$ $\Rightarrow C' = \frac{\varepsilon_0 S}{d-a} = \frac{3 \varepsilon_0 S}{2d}$

Если заряд пластины = 0, то формула конденсаторов между "выводами" не применима

n_3 V T_1, J_1 $i = 3$ $\Delta U_1 = \frac{i}{2} J_1 R T_1$ $\Delta U = \frac{i}{2} J R T$
 T_2, J_2 $\Delta U_2 = \frac{i}{2} J_2 R T_2$ $T_0 = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{J_1 + J_2} = \frac{J_1 T_1 + J_2 T_2}{J_1 + J_2}$
 $T_1 = 124^\circ \text{C} = 400 \text{K}$ $J_1 = 0,1 \text{ мА}$
 $T_2 = 7^\circ \text{C} = 280 \text{K}$ $J_2 = 0,4 \text{ мА}$
 $\rho = \frac{J R T x}{V}$ $= \frac{0,1 \cdot 400 + 0,4 \cdot 280}{0,5} = \frac{40 + 112}{0,5} = \frac{152}{0,5} = 304 \text{K} = 31^\circ \text{C}$

25

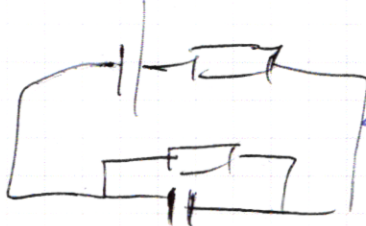


$$\Delta E = \frac{U^2}{2} \cdot C =$$

$$Q = \dots$$

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

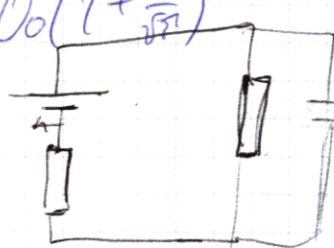
$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R + R_1} = \frac{\varepsilon}{5R} \quad (1)$$



$$v = v_0 \left(1 + \frac{1}{5R} \right)$$

11/11
13/4
13/17
1536
402
134
119,56

2) $U_C = ?$
 $U_C = U_{R_1}$



$$U_C^2 = -2v_0$$

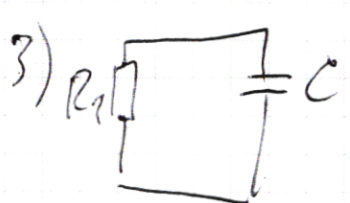
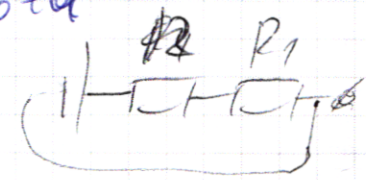
$$I_C = I_R = I_{OR}$$

$$U_C = I_{O1}$$

$$v_0^2 = v^2 + 2v_0u + u^2 + 4u^2$$

$$U_R + U_{R_1} = \varepsilon$$

$$U_C = \varepsilon - U_R = \varepsilon - I(4) \cdot R$$



$$E = \frac{CU_C^2}{2}$$

$$= \frac{C \cdot 16 \varepsilon^2}{50}$$

$$E = Q = \frac{16}{50} C \varepsilon^2 \quad (3)$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{4mu^2}{2}$$

$$\begin{cases} mv_0 = mv - mu \\ mv_0^2 = m v^2 + 4mu^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_0^2 = v^2 + 4u^2 \\ v_0 = v - u \end{cases}$$

$$mv_0 = mv - mu$$

$$\begin{cases} U_{R_1} = \frac{U}{R} \\ U + U_{R_1} = \varepsilon \\ U_{R_1} = \frac{U_{R_1}}{R} \\ U = \varepsilon - U_{R_1} \\ U_{R_1} R = (\varepsilon - U_{R_1}) R \\ U_{R_1} (R + R_1) = \varepsilon R_1 \\ U_{R_1} = U_C = \frac{\varepsilon R_1}{R + R_1} \\ = \frac{\varepsilon \cdot 4R}{5R} = \frac{4}{5} \varepsilon \end{cases} \quad (2)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

06-028

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Grid area for writing the answer.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)