

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

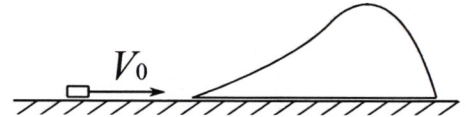
Шифр 13-009

(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.

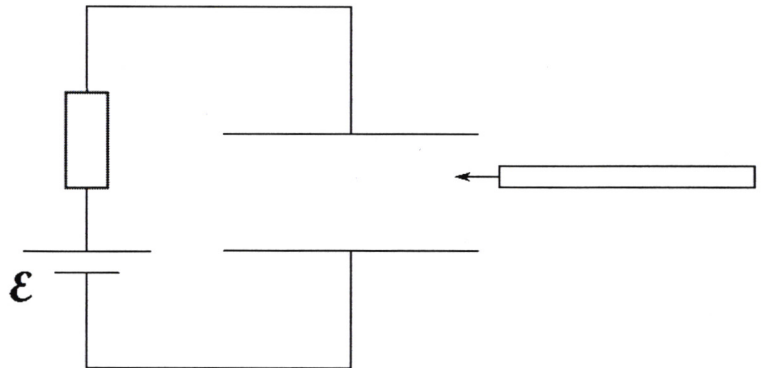


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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°C в количестве $\nu_1 = 0,2$ моль. Во второй части находится гелий при температуре 7°C в количестве $\nu_2 = 0,3$ моль. Перегородка прорывается.

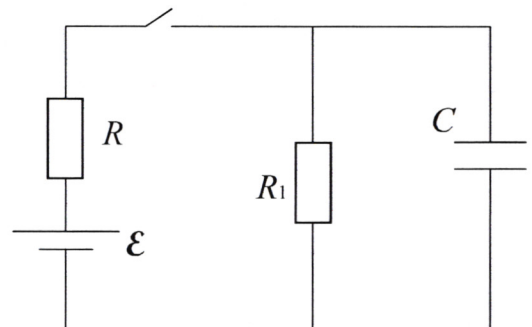
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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.



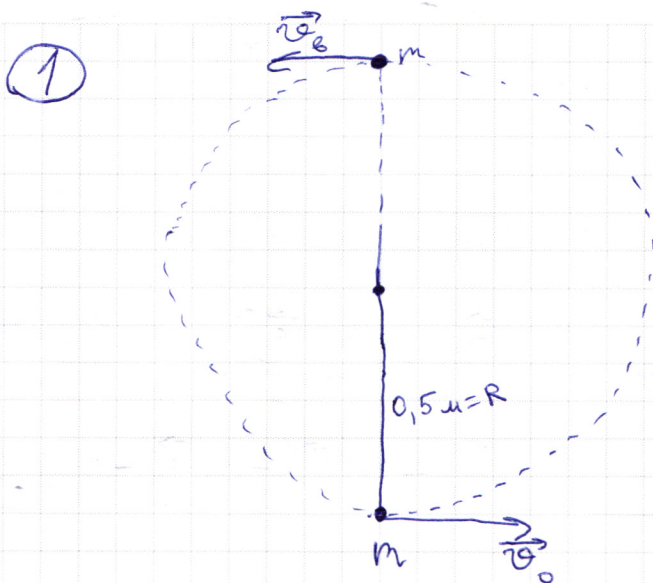
- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

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



сила натяжения нити
всегда перпендикулярна
скорости. Поэтому она
не меняет модуль скорости.

Поэтому записываем з.с.э.:

$$\frac{m v_0^2}{2} = m g \cdot 2R + \frac{m v_B^2}{2} \quad (1)$$

Если мы перейдем в инерциальную с.о., связанную с шариком, там будет действовать центробежная сила, которая должна быть равна $m \vec{g}$ по модулю (в предельном случае), ~~иначе~~ т.к. сила натяжения там будет равна нулю (в предельном случае). В дальнейшей движении скорость будет возрастать, а значит будет возрастать и центробежная сила, а значит точно будет ~~полный~~ обрат.

$$m \frac{v_B^2}{R} = m g \Rightarrow v_B^2 = g R \quad (2)$$

Из (1) и (2), ~~если~~ разделив на m , получаем:

$$\frac{v_0^2}{2} = 2Rg + \frac{gR}{2} ; \quad v_0^2 = 5gR$$

$$v_0 = \sqrt{5gR} = 5 \text{ м/с. Ответ: } 5 \text{ м/с.}$$

②.1 Рассмотрим два тела массами m_1 и m_2 , движущиеся со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 в л.д. с.о. Их центр масс движется со скоростью: $\vec{v}_{ц.м.} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$.

Пусть $E_{ц.м.} = \frac{(m_1 + m_2) (\vec{v}_{ц.м.})^2}{2}$ — кинетическая энергия ц.м.

Энергия относительно ц.м. будет равна:

$$E_{отн} = \frac{m_1 (\vec{v}_1)^2}{2} + \frac{m_2 (\vec{v}_2)^2}{2} - E_{ц.м.} = \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} - \frac{(m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2)^2}{2(m_1 + m_2)}$$

$$= \frac{m_1^2 \vec{v}_1^2 + m_2 m_1 \vec{v}_1^2 + m_2^2 \vec{v}_2^2 + m_1 m_2 \vec{v}_2^2 - m_1^2 \vec{v}_1^2 - m_2^2 \vec{v}_2^2 - 2 m_1 m_2 \vec{v}_1 \vec{v}_2}{2(m_1 + m_2)}$$

$$= \frac{m_1 m_2 (\vec{v}_1^2 - 2 \vec{v}_1 \vec{v}_2 + \vec{v}_2^2)}{m_1 + m_2} = \frac{m_{прив} \vec{v}_{отн}^2}{2}, \text{ где}$$

$m_{прив} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ (приведенная масса), а $\vec{v}_{отн} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$ — относительная скорость двух тел. Значит полная кинетическая энергия состоит из энергии центра масс и еще вот такой энергии: $E_{отн} = \frac{m_{прив} \vec{v}_{отн}^2}{2}$

Рассмотрим нашу задачу. Для центра масс ничто не видно: он движется со скоростью $\vec{v}_{ц.м.}$ в горизонтальной плоскости. А значит, на потенциальную энергию перепада энергии относительно центра масс:

Было — $\frac{m \cdot 3m \cdot v_0^2}{(m+3m) \cdot 2}$. Стало — ноль, т.к. в

верхней точке относительная скорость равна нулю.

Значит, $m g H = \frac{m \cdot 3m \cdot v_0^2}{2(m+3m)}$; $H = \frac{3 v_0^2}{8 g}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2.2) т.к. в момент свечения пот. энергия возвра-
щается в прежнее значение, то относительная
скорость тоже возвращается в прежнее значение.

т.е; $v_0 = v_m + v_c$, где v_m и v_c - скорости маятника
и стала в конце. Отсюда $v_c = v_0 - v_m$. Условие $v_c > 0$.

Запишем З.С.Э:

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

$$v_0^2 = v_m^2 + 3v_0^2 - 6v_0 v_m + 3v_m^2$$

$$4v_m^2 - 6v_0 v_m + 2v_0^2 = 0$$

$$2v_m^2 - 3v_0 v_m + v_0^2 = 0$$

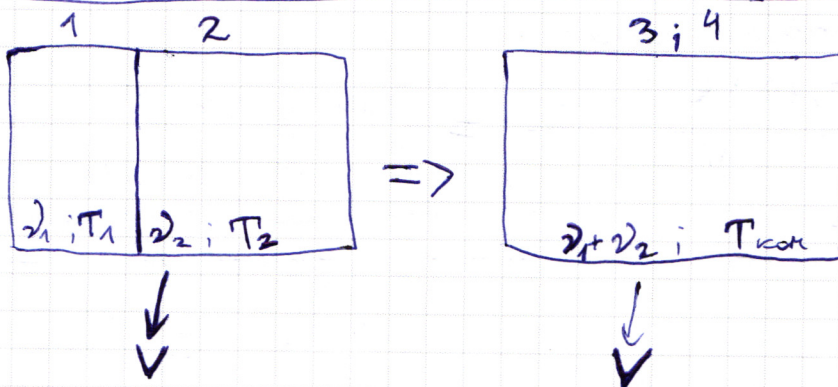
$$D = 9v_0^2 - 8v_0^2 = (v_0)^2$$

$$v_m = \frac{3v_0 + v_0}{4} = v_0 \quad \left(\text{не удовл., т.к. в таком случае} \right. \\ \left. \text{скорость стала равна нулю.} \right)$$

$$v_m = \frac{3v_0 - v_0}{4} = 0,5v_0$$

Ответ: $v_m = 0,5v_0$; $H = \frac{3v_0^2}{8g}$

3.1.



Рассмотрим систему двух газов. * Тепло извне не поступает: $Q = 0$. Суммарная работа двух газов равна нулю, т.к. $V_1 + V_2 = V$ (общий объем не меняется или можно сказать, что сосуд не деформируется). $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$. В итоге:

$$0 = 0 + \Delta U_1 + \Delta U_2$$

$$\Delta U_1 = -\Delta U_2$$

$$\frac{3}{2} \nu_2 R (T_{\text{кон}} - T_2) = -\frac{3}{2} \nu_1 R (T_{\text{кон}} - T_1)$$

$$\nu_2 T_{\text{кон}} - \nu_2 T_2 = -\nu_1 T_{\text{кон}} + \nu_1 T_1$$

$$T_{\text{кон}} = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} \quad \text{или} \quad \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 300 \text{ К} + 0,3 \text{ моль} \cdot 280 \text{ К}}{0,5 \text{ моль}}$$

Этот ответ и следовало ожидать, т.к. это "средний" центр масс для температуры.

$$\text{Отсюда } T_{\text{кон}} = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 300 \text{ К} + 0,3 \text{ моль} \cdot 280 \text{ К}}{0,5 \text{ моль}} =$$

$$= \frac{60 \text{ моль} \cdot \text{К} + 84 \text{ моль} \cdot \text{К}}{0,5 \text{ моль}} = 120 \text{ К} + 168 \text{ К} = 288 \text{ К}$$

$$t_{\text{кон}} = \cancel{288} (288 - 273)^\circ \text{C} = 15^\circ \text{C}$$

3.2 Конечное давление найдем по закону Клаузиуса для конечного газа:

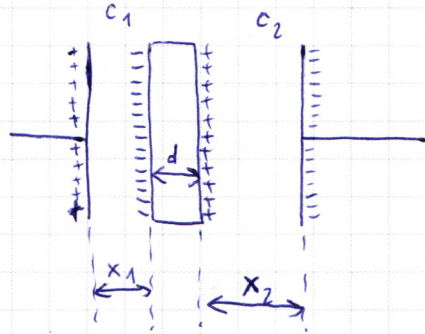
$$P = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R \cdot T_{\text{кон}}}{V} = \frac{1,44 \text{ моль} \cdot \text{К} \cdot \text{Фн}}{10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}} =$$

$$= 1,44 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\text{Отв: } \begin{cases} 1,44 \cdot 10^5 \text{ Па} = P \\ 15^\circ \text{C} = T_{\text{кон}} \end{cases}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

④.1



$$x_1 + x_2 = 3d$$

Как видно из рисунка, в итоге мы получили два конденсатора, соединенных параллельно.

$$\text{Итого. } C_{\text{итого}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{4d} \Rightarrow \frac{\epsilon_0 S}{d} = 4C_0$$

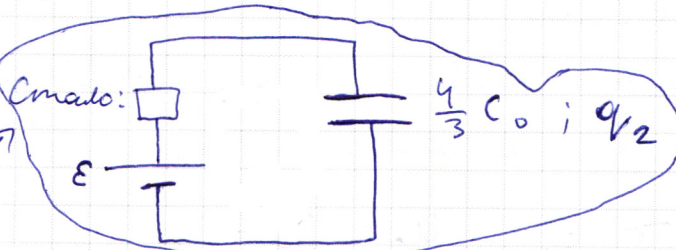
$$C_1 = \frac{\epsilon_0 S}{x_1}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{x_2} = \frac{\epsilon_0 S}{3d - x_1}$$

$$C_{\text{итого}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon_0^2 S^2}{3d x_1 - x_1^2}}{\frac{3d x_1 - x_1^2}{(3d - x_1)\epsilon_0 S} + \frac{x_1 \epsilon_0 S}{(3d - x_1)\epsilon_0 S}} =$$

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

④.2



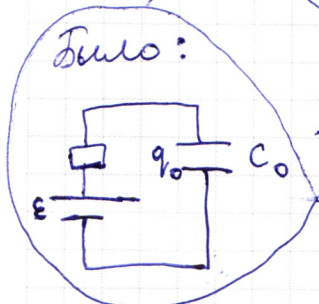
В обеих случаях установившаяся полярность соответственна разряженности, а значит сила тока равна нулю $\Rightarrow U_R = 0$

2 закон Кирхгофа для "Было" и "Стало":

$$\epsilon = \frac{q_0}{C_0} \Rightarrow q_0 = \epsilon \cdot C_0$$

$$\epsilon = \frac{q_2}{\frac{4}{3} C_0} \Rightarrow q_2 = \frac{4 C_0 \epsilon}{3}$$

$$\Rightarrow q^* = q_2 - q_0 =$$

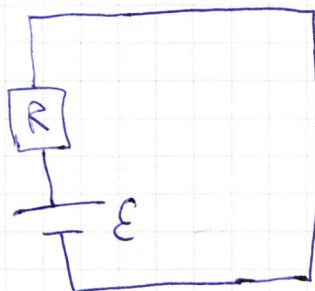


$$= \frac{\epsilon C_0}{3} - \text{заряд прошедший через резистор.}$$

отв: 1) $\frac{4}{3} C_0$

2) ^{прошёл} навстречу через резистор заряд $q^* = \frac{C_0 \epsilon}{3}$

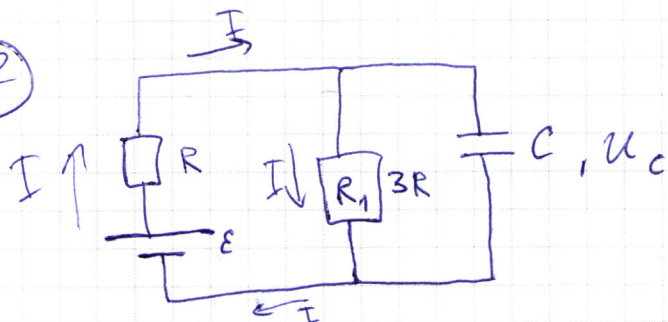
5.1



Сразу после замыкания ключа, заряд ещё не успеет "сесть" на конденсатор, а значит и падение напряжения на нём "нулевое". Значит мы

можем заменить его на провод. Тогда через R_1 ток всё же будет и схема приобретёт вид на рисунке сверху. Отсюда $I_{\text{сразу}} = \frac{\epsilon}{R}$

5.2



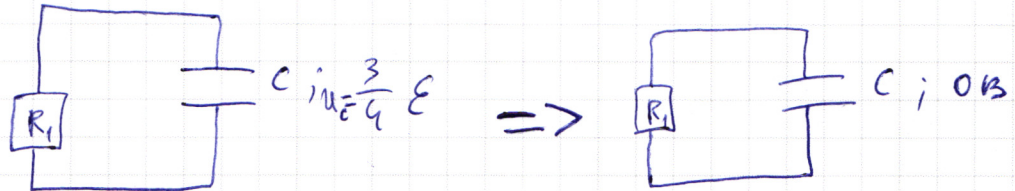
В установившемся режиме через конденсатор ток не течёт, а напряжение на нём будет такое же, как у R_1 . Ит.е. $U_C = I R_1$.

$$I = \frac{\epsilon}{R + R_1} = \frac{\epsilon}{4R}$$

$$U_C = I \cdot 3R = \frac{3}{4} \epsilon.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5.3



Выведенная кол-во теплоты будет равно
~~мине~~ ~~подушко~~ измерению энергии конденсатора, т.е.:

$$A_{\text{ист}} = Q + \Delta W \Rightarrow Q = -\Delta W.$$

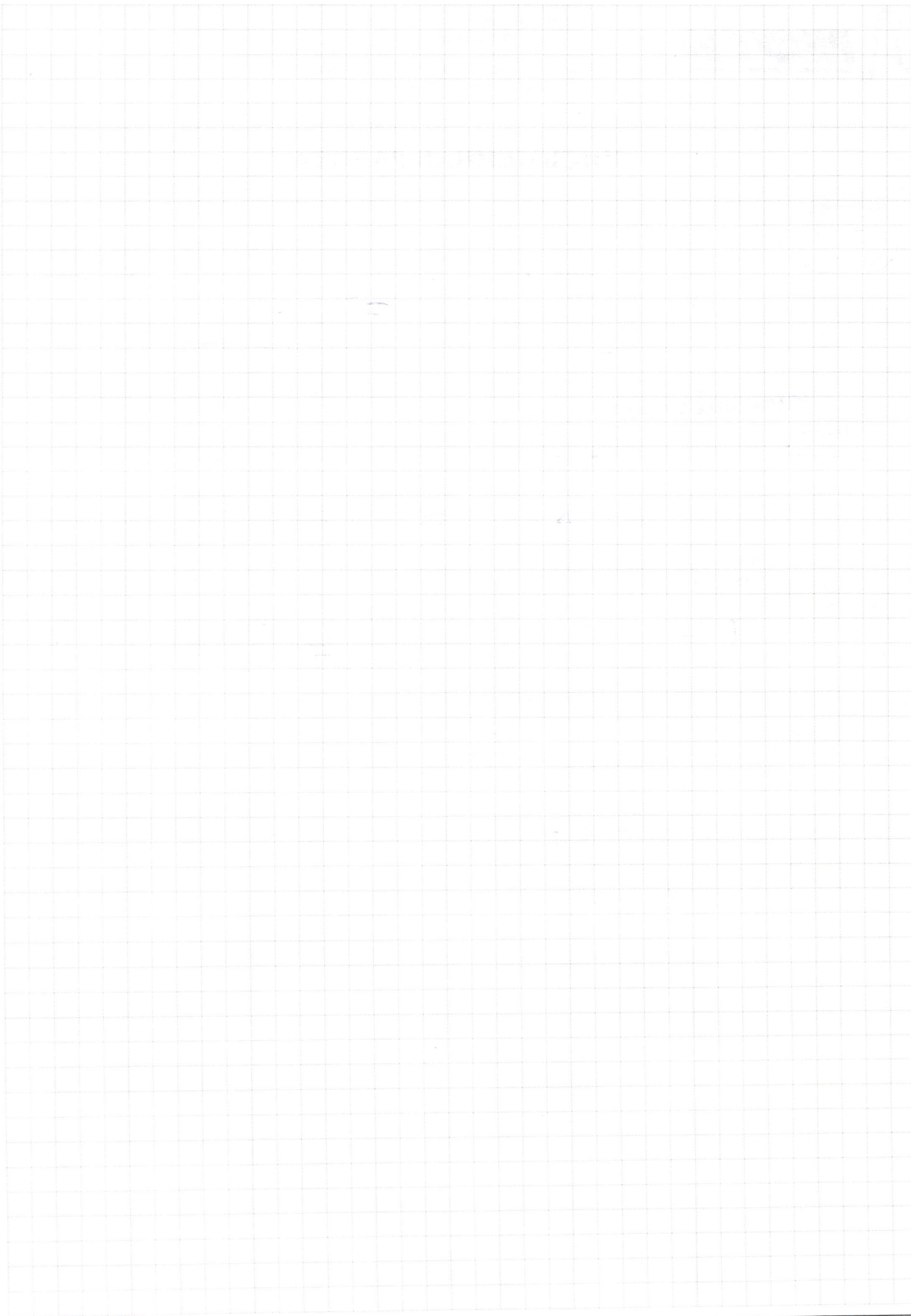
!!
0

$$Q = -\left(0 - \frac{C \cdot U_c^2}{2}\right) = \frac{C \cdot 9 \varepsilon^2}{32} = \frac{9}{32} C \varepsilon^2$$

Отв: 1) $I_{\text{ср}} = \frac{\varepsilon}{R}$

2) $U_c = \frac{3}{4} \varepsilon$

3) $\frac{9}{32} C \varepsilon^2$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 8
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

23-009

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)