

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

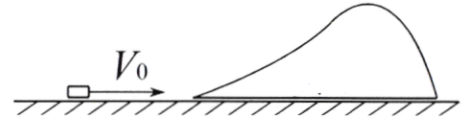
Шифр

(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?

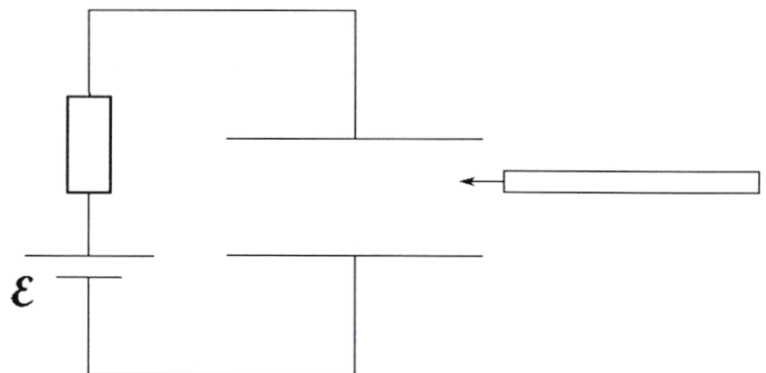
2) С какой скоростью монета съезжает с горки?

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°C в количестве $\nu_1 = 0,1$ моль. Во второй части находится гелий при температуре 7°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.

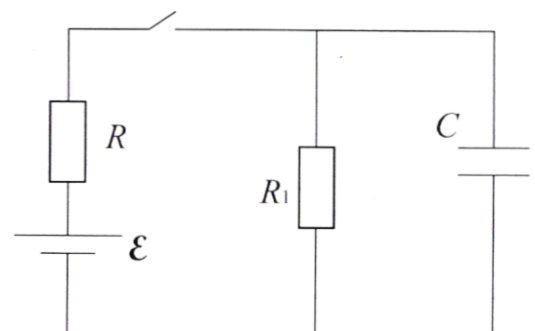
4. Плоский воздушный конденсатор емкостью C_0 подсоединен через резистор к источнику с ЭДС \mathcal{E} (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина 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 .

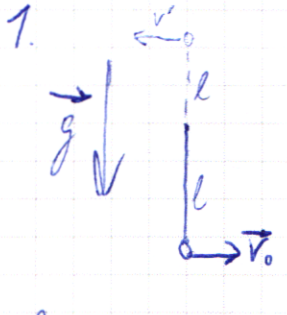


1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.

2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.

3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

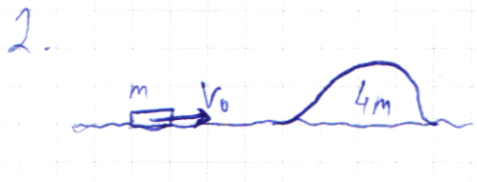
1. 

Используем тот факт, что в закрытой системе $E = \text{const}$

$$E_k = E_{\text{п}} \Rightarrow \frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2l \Rightarrow v_0 = \sqrt{4gl} = \sqrt{7,2} \approx 2,68 \text{ м/с}$$

$$E_k = E_{\text{п}} + E'_k = \frac{mv_0^2}{2} = mg \cdot 2l + \frac{mv'^2}{2}, \text{ так же } \frac{mv'^2}{2} = mg, \text{ тогда } v' = \sqrt{2gl} = 3 \text{ м/с}$$

полностью ~~обратился~~, $\Rightarrow v_0 = \sqrt{5gl} = 3 \text{ м/с}$ Ответ: 3 м/с.

2. 

Используем законы сохранения импульса и энергии:

$$\begin{cases} mV_0 = mV_1 + 4mV_2 \\ \frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{4mV_2^2}{2} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_1 = V_0 - 4V_2 \quad V_0^2 = (V_0 - 4V_2)^2 + 4V_2^2 \quad 8V_0V_2 = 20V_2^2$$

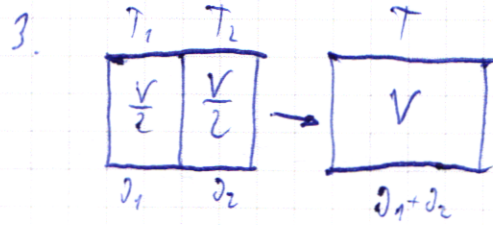
Возможны две случая: $V_2 = 0$ и $V_2 = 0,4V_0$

Во втором случае получаем $V_1 = -0,6V_0$, что противоречит задаче, то есть $V_2 = 0$

и $V_1 = V_0 \Rightarrow \frac{mV_1^2}{2} = mgh_{\text{max}} \Rightarrow h_{\text{max}} = \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_0^2}{2g}$

Когда монета возвращается обратно, то можно считать, что мы возвращаемся к началу задачи, поскольку импульс сохраняется, то есть $V' = 0,6V_0$

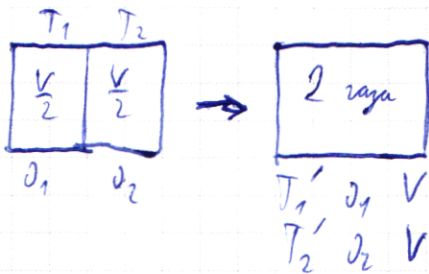
Ответ: $\frac{V_0^2}{2g}, 0,6V_0$

3. 

Разделим общий процесс на несколько процессов:

Сначала газы должны заполнить все пространство, а потом достичь термодинамического равновесия.

(Продолжение на странице 2)



Рассмотрим расширение газов:

$$P_1 \frac{V}{2} = \nu_1 R T_1 \rightarrow P_1' V = \nu_1 R T_1'$$

$$P_2 \frac{V}{2} = \nu_2 R T_2 \rightarrow P_2' V = \nu_2 R T_2'$$

Во время процесса: $\Delta U_1 = -A_1$ и $\Delta U_2 = -A_2 \Rightarrow \Delta Q = 0 \Rightarrow$

\Rightarrow Адиабатическое расширение \Rightarrow

$\Rightarrow P_1 \left(\frac{V}{2}\right)^\gamma = P_1' V^\gamma$ или если возьмем в обе стороны логарифмы: \rightarrow

$$T_1 \left(\frac{V}{2}\right)^{\gamma-1} = T_1' V^{\gamma-1} \text{ и } T_2 \left(\frac{V}{2}\right)^{\gamma-1} = T_2' V^{\gamma-1}$$

Поскольку газы идеальные, $\gamma = \frac{5}{3}$

$$T_1' = \frac{T_1}{2^{\frac{2}{3}}} = 126 \text{ K}, \quad T_2' = \frac{T_2}{2^{\frac{2}{3}}} = 88 \text{ K}$$

Теперь мы перейдем к последнему процессу, в котором газы обмениваются энергией и, поскольку процесс изохорный, $\Delta Q = \Delta U$, но-нет:

$$Q_1 = \Delta U_1 \quad Q_2 = \Delta U_2 \quad Q_1 = Q_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U_1 = \Delta U_2 \Rightarrow \frac{3}{2} \nu_1 R (T_1' - T) = \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2') \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\nu_1 + \nu_2) T = \nu_1 T_1' + \nu_2 T_2', \quad T = \frac{\nu_1 T_1' + \nu_2 T_2'}{\nu_1 + \nu_2} = 95,75 \text{ K} = -177,25^\circ \text{C}$$

Также из формулы Менделеева-Клапейрона:

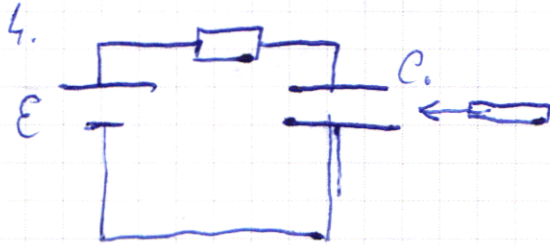
$$P_1' V = \nu_1 R T_1' \rightarrow P_{k1} V = \nu_1 R T$$

$$P_2' V = \nu_2 R T_2' \rightarrow P_{k2} V = \nu_2 R T$$

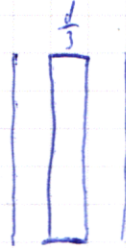
$$P = P_{k1} + P_{k2} = \frac{RT}{V} (\nu_1 + \nu_2) = 47875 \text{ Па}$$

- Ответ: $-177,25^\circ \text{C}; 47875 \text{ Па}$.

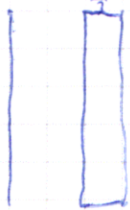
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



После введения пластины получится два
квитка конденсатора;

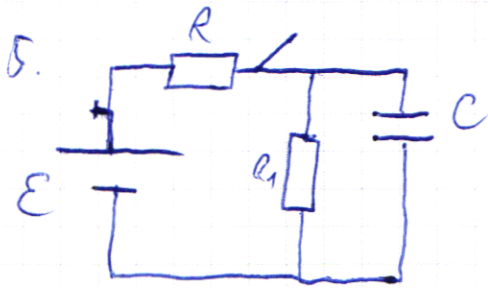


При любом расположении пластины общая емкость конденсаторов не меняется,
так что можно для простоты прилепить пластину к одной из обкладок:

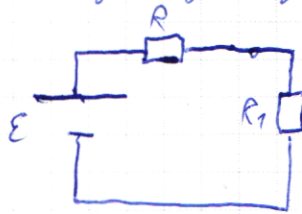


Отсюда, поскольку $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$ и $C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

$$C' = C_0 \left(\frac{d - \frac{d}{3}}{d} \right) = \frac{2}{3} C_0 \quad C' = C_0 \left(\frac{d}{d - \frac{d}{3}} \right) = \frac{3}{2} C_0$$



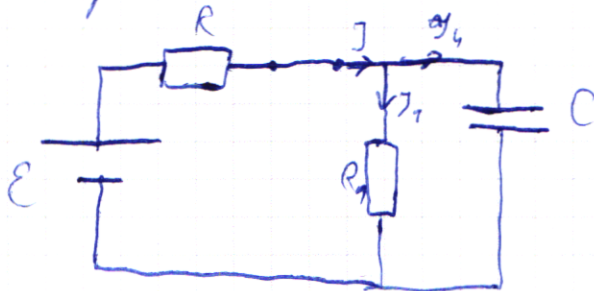
Сразу после замыкания ключа, конденсатор пока еще не набирает заряд, поэтому можно рассчитать ток сразу без конденсатора:



Из закона Ома:

$$\varepsilon = IR + IR_1 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R + R_1} = \frac{\varepsilon}{SR}$$

Вернемся к нашей схеме:



Из теоремы Кирхгофа:

$$I = I_1 + I_k$$

Равновесие установится, когда $I = I_1$ и на конденсатор больше не поступит тока.

Отсюда, по закону Ома $\varepsilon' = I_1(R_1 + R)$

$$I_1 = \frac{U_k}{R_1} \Rightarrow U_k = \varepsilon - \varepsilon' = \varepsilon - \frac{U_k \cdot S}{4} \Rightarrow U_k = \frac{4}{9} \varepsilon$$

После размыкания ключа, вся энергия конденсатора превратится в тепло, то есть

$$Q_2 = \frac{CU_k^2}{2} = \frac{8CE^2}{81}$$

Ответ: $\frac{\varepsilon}{SR}, \frac{4}{9} \varepsilon, \frac{8CE^2}{81}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1. $\frac{mv^2}{2} = mgl$ $\frac{mv^2}{e} + m_j + \vec{I} = 0$

$v = \sqrt{2gl} = \sqrt{7,2}$

2. $v_0 = v_1 + 4v_2$ $v_0^2 = (v_0 - 4v_2)^2 + 16v_2^2$

$v_0^2 = v_1^2 + 4v_2^2$ $2v_0v_2 = 20v_2^2$

$v_0^2 = v_1^2 + \frac{v_0^2 - 2v_0v_2 + v_2^2}{4}$ $v_2 = 0,4v_0$

$\frac{3v_0^2}{4} + \frac{v_0v_1}{2} - \frac{5v_1^2}{4} = 0$ $v_1 = -0,6v_0$

$v_2 = 0,4v_0$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{4mv_2^2}{2} + mgh_{max}$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{4mv_2^2}{2} + mgh_{max}$

$mv_0 = mv_1 + 4mv_2$ $v_1 = v_0 - 4v_2$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{m(v_0 - 4v_2)^2}{2} + \frac{4mv_2^2}{2} + mgh_{max}$

$2v_0v_2 = 20v_2^2$

$v_2 = 0,4v_0$

$v_1 = -0,6v_0$

$v_2 = 0,4v_0$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{6mv_2^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} + mgh$

3. $P_1V = \nu_1RT_1$ $P_2V = \nu_2RT_2$

$\frac{P_1}{2P_1'} = \frac{T_1}{T}$ $\frac{2P_1'T_2}{P_2} = \frac{2P_1'T_1}{P_1}$

$\frac{P_2}{2P_2'} = \frac{T_2}{T}$ $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\nu_1 T_1}{\nu_2 T_2}$ $\frac{P_1'}{P_2'} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$

$P_1'V = \nu_1RT_1'$ $Q_1 = \Delta Q_1 = \frac{3}{2}\nu_1R(T_1' - T_1)$

$P_2'V = \nu_2RT_2'$ $Q_2 = \Delta Q_2 = \frac{3}{2}\nu_2R(T_2' - T_2)$

$\frac{P_1}{T_1} = 2\frac{P_1'}{T_1'}$ $\frac{P_2}{T_2} = 2\frac{P_2'}{T_2'}$ $\nu_1(T_1' - T_1) = \nu_2(T_2' - T_2)$ $(\nu_1 - \nu_2)T = \nu_1T_1' - \nu_2T_2'$

$$3. \frac{P_1}{T_1} = 2 \frac{P_1'}{T_1'} \quad \frac{P_2}{T_2} = 2 \frac{P_2'}{T_2'} \quad \frac{3}{2} \nu_1 R (T_1' - T) = \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2')$$

$$PV^\delta = \text{const}$$

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

$$(\nu_1 + \nu_2)T = \nu_1 T_1' + \nu_2 T_2'$$

~~$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T_1' - T) = \frac{3}{2} \nu_2 R (T - T_2')$$~~



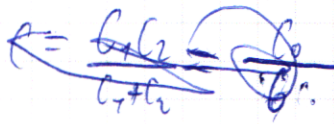
$$P_1 V = \nu_1 R T$$

$$P_2 (V + dV) = \nu_2 R T$$

$$P(V + dV) = \nu R T$$

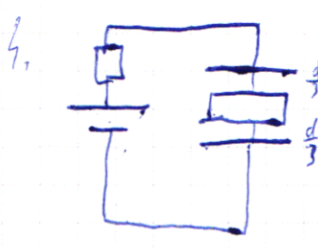
~~$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T_1' - T) = \frac{\int \nu_1 R T dV}{V} = \nu_1 R T \ln 2$$~~

$$TV^{(\delta-1)} = \text{const}$$



$$P_2 \left(\frac{V}{2}\right)^\delta = P_1 V^\delta \quad T = T_1' \cdot 2^{(\delta-1)}$$

$$P_1 = P_1' \cdot 2^\delta$$



~~$$C = \frac{2C}{2}$$~~

$$f = \text{const} \quad \frac{E^2}{2C}$$

~~$$\frac{E^2}{2C} = \gamma^2 R t$$~~
~~$$\frac{E^2}{2C} = \gamma^2 R t$$~~

$$\frac{E^2}{2C} = \gamma^2 R t$$

$$\frac{E^2}{2C} = \gamma'^2 R t$$

$$\gamma = \gamma \sqrt{\frac{C_0}{C}}$$

2.

$$4mV_0 = 4mV_1 + mV_2 \quad V_2 = 4(V_0 - V_1)$$

~~$$4m \frac{V_0^2}{2} = 4m \frac{V_1^2}{2} + m \frac{V_2^2}{2}$$~~

~~$$4V_0^2 - 4V_1^2 = 16V_0^2 - 32V_0V_1 + 16V_1^2$$~~
~~$$12V_0^2 - 32V_0V_1 + 20V_1^2 = 0$$~~

~~$$V_0 = \frac{20V_1}{12}$$~~

~~$$V_1 = 0.6V_0$$~~

~~$$V_2 = 1.6V_0$$~~

$$mV_0 = mV_1 + MV_2$$

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{MV_2^2}{2}$$

~~$$V_2 = \frac{m(V_0 - V_1)}{M}$$~~

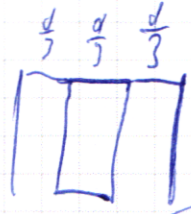
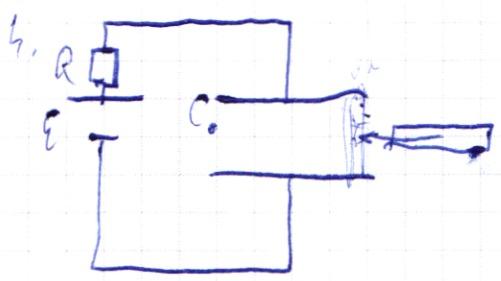
~~$$V_1 = \frac{M(V_0 - MV_2)}{m} = V_0 - \frac{M}{m}V_2$$~~

~~$$V_0^2 = V_0^2 - \frac{2MV_2V_0}{m} + \frac{M^2V_2^2}{m^2} + \frac{MV_2^2}{m}$$~~

~~$$V_0 = \frac{V_2}{2} \left(1 + \frac{M}{m}\right)$$~~

~~$$V_2 = \frac{2V_0}{1 + \frac{M}{m}} \quad V_1 = mV_0 - \frac{2MV_0}{m+M} = \frac{m-M}{m+M}V_0$$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$E = IR + \frac{q}{C_0}$

$E' = IR + \frac{q}{C'}$

$C_1 = \frac{C_0}{3} \quad C_2 = \frac{C_0}{3} \Rightarrow C = \frac{C_0}{3}$

$C' = \frac{C_0(l-d)}{l} + \frac{C_0 dl}{6l} = C_0 \left(1 - \frac{dl}{l} + \frac{dl}{6l} \right) = C_0 \left(1 - \frac{5dl}{6l} \right)$

$\Delta C = \frac{5}{6} C_0 \frac{dl}{l}$

$\Delta C = \frac{\Delta q}{V} \Rightarrow \Delta q = q \cdot \frac{5 dl}{6 l}$

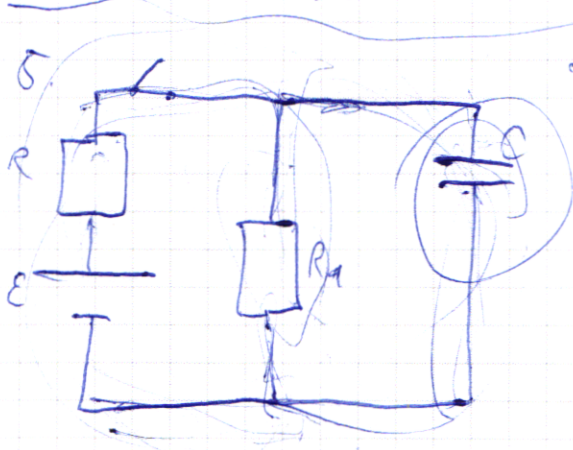
$I = \frac{E}{R}$

$C = \frac{2C_0}{3}$

$\frac{dE}{dt} = \dots$

$C' = C_0 \left(1 - \frac{dl}{l} + \frac{2dl}{3l} \right) = C_0 \left(1 - \frac{dl}{3l} \right)$

$\Delta C = \frac{C_0 dl}{3l}$



$\frac{E}{SR} = I$

$I_1 + I_2 = I$

$E' = I_1(R_1 + R)$

$I = I_1 + I_2$

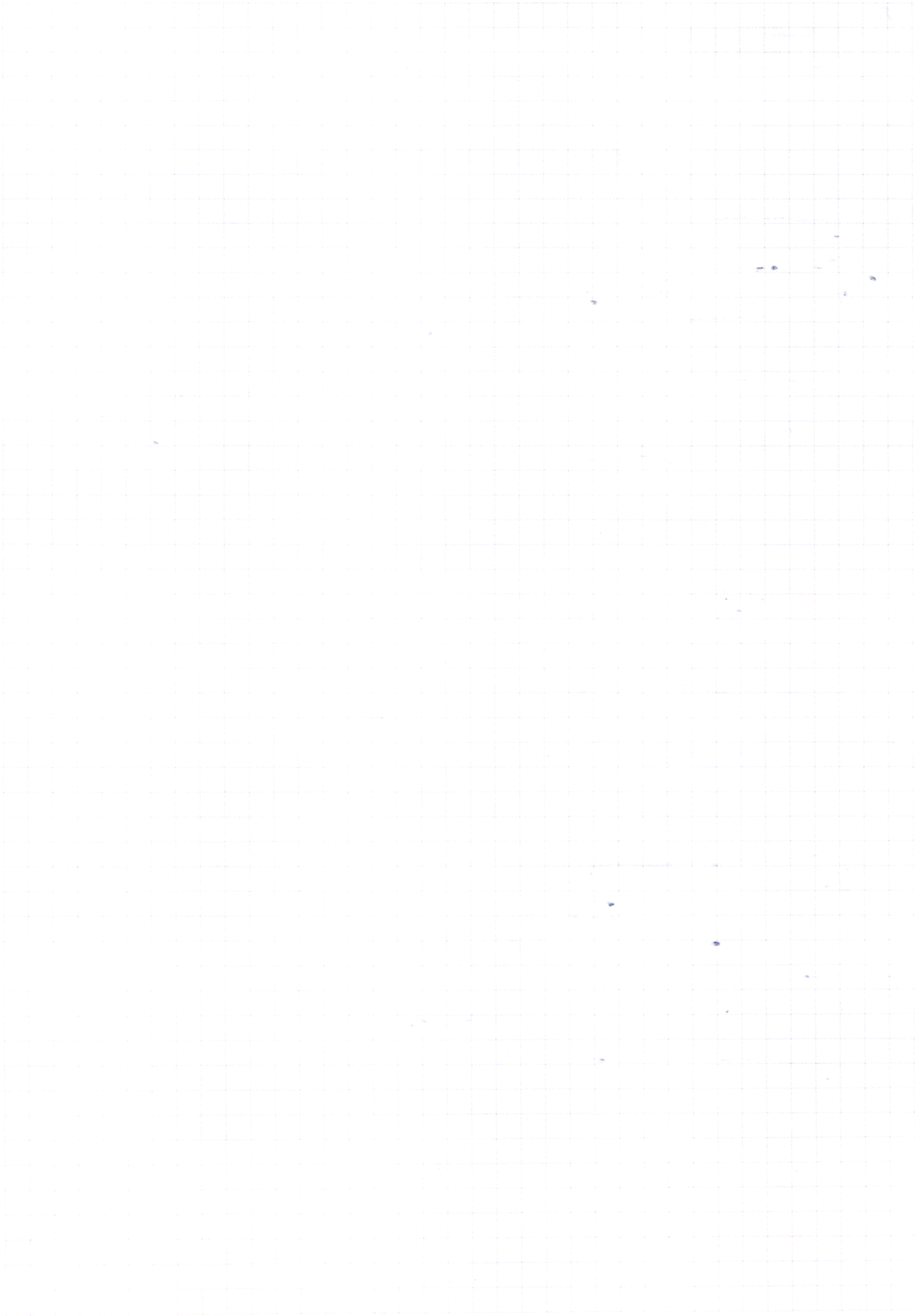
$U_1 = E - E' = \left(\frac{E}{SR} - I_1 \right) SR$

$E = IR + I_1 R_1$

$U_1 = E - \frac{U_1}{4R} SR$

$E = IR + I_1 R_1$

$U_1 = \frac{4}{9} E$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

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)