

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

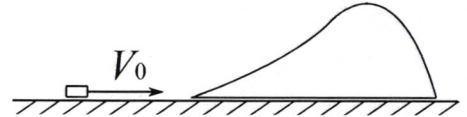
Шифр 14-013

(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.

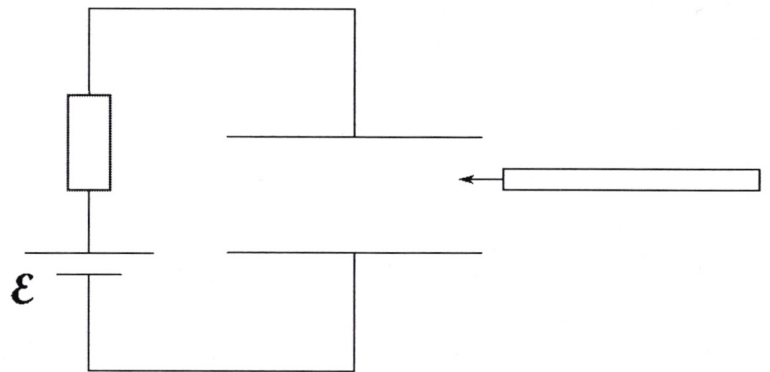


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

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.

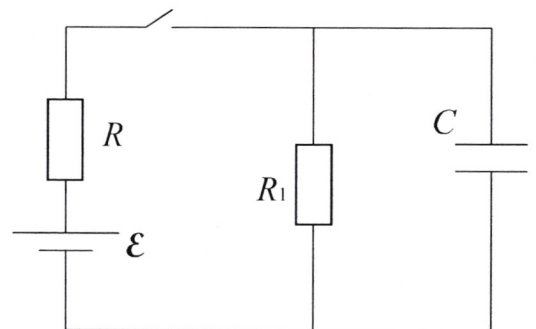
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

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?

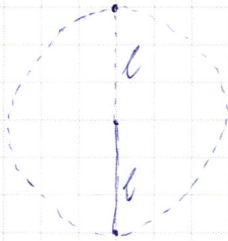
5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=3R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$ .



- 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?

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1.



$$l = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м.}$$

по ЗСЭ:

$$\frac{m\dot{\sigma}^2}{2} = mg \cdot 2l$$

$$\dot{\sigma}^2 = 4gl$$

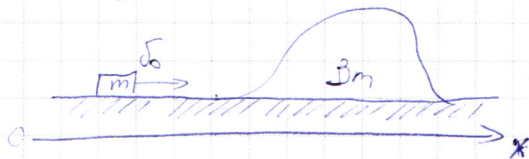
$$\dot{\sigma} = \sqrt{4gl} = 2\sqrt{gl} = 2 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,5} = 2\sqrt{5} \approx$$

$$\approx 4,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ:  $\dot{\sigma} = 2\sqrt{gl} = 2\sqrt{5} \approx 4,4 \text{ м/с}$

Для того, чтобы шарик совершил полный оборот, его энергии должно быть достаточно для достижения вершины траектории. Минимальное движение происходит под действием силы тяжести.

№2.



в:  $p_0 = mv_0$  - начальная импульс.

$p_{ш} + p_2 = p_0$  по ЗСИ, где  $p_{ш}$  - импульс шарика,  $p_2$  - имп. горки

$3mu + mv_0 = mv_0$ , где  $u$  - скорость шарика и горки после взаимодействия.

$$4u = v_0$$

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

$$\Delta E_k = E_n = \frac{mv_0^2}{2} - \left( \frac{(m+3m)u^2}{2} \right) =$$

$$= \frac{mv_0^2}{2} - \frac{4m \cdot \frac{v_0^2}{16}}{2} = \frac{3mv_0^2}{8} = mgh$$

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

В СО горки: (увеличат криволинейн.)  
и равномерно со ш.у)

ЗСЭ:  $mgh = \frac{m\dot{\sigma}^2}{2}$

$$\dot{\sigma}_1 = \sqrt{2gh} \text{ - скорость шарика после столкновения в СО горки.}$$

$$\dot{\sigma}_1 = \sqrt{2g \cdot \frac{3v_0^2}{8g}} = \frac{\sqrt{3}v_0}{2}$$

В лоб. СО:

$$\dot{\sigma} = \dot{\sigma}_1 - u = \frac{\sqrt{3}v_0}{2} - \frac{v_0}{4} = \frac{v_0}{4} \left( \sqrt{3} - \frac{v_0}{4} \right)$$

Ответ: а)  $h = \frac{3v_0^2}{8g}$

б)  $\dot{\sigma} = \frac{\sqrt{3}v_0}{2} - \frac{v_0}{4}$

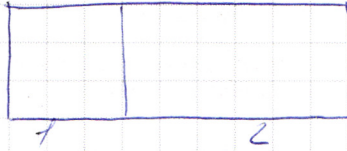
$$\sqrt{3} \quad V = 8.31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\nu_1 = 0.2 \text{ моль} \quad \nu_2 = 0.3 \text{ моль}$$

$$t_1 = 27^\circ \text{C}; T_1 = 300 \text{ K}$$

$$t_2 = 7^\circ \text{C}; T_2 = 280 \text{ K}$$

He



$$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1 \quad U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)$$

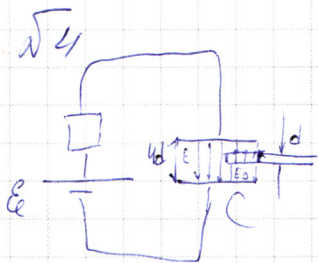
$$T_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{\frac{3}{2} R (\nu_1 + \nu_2)} = \frac{\frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{\frac{3}{2} R (\nu_1 + \nu_2)} = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

$$= \frac{0.2 \cdot 300 + 0.3 \cdot 280}{0.5} = \frac{60 + 84}{0.5} = 288 \text{ K} = 15^\circ \text{C}$$

$$pV_{\text{общ}} = (\nu_1 + \nu_2) R T_{\text{общ}}$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_{\text{общ}}}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R \cdot (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V (\nu_1 + \nu_2)} = \frac{R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V} = \frac{8.31 \cdot (144)}{8.31 \cdot 10^{-3}} = 144 \text{ кПа}$$

Ответ: а)  $T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = 15^\circ \text{C}$  б)  $p = \frac{R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{V} = 144 \text{ кПа}$



В путь расстояние м/ду обкладками  $3d$ , тогда толщина пластины  $d$ .

Т.к. пластинка проводящая, то в при введении ее между обкладками в ней возникнет вектор напряженности  $\vec{E}_0$  обратный по направлению к вектору напряженности  $\vec{E}$  между обкладками. В силу тонкости пластины суммарный вектор напряженности ~~уменьшится~~ ~~на~~ ~~уменьшится~~ ~~на~~ ~~заверит~~ конденсатор с пластиной можно заменить на эквивалентной ему с расстоянием между обкладками  $3d$ .

$$C_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{4d}, \quad C_1 = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{3d}, \quad \Rightarrow C_1 = \frac{4}{3} C_0$$

Начальное напряжение на конденсаторе:  $U_0 = \frac{q}{C_0}$

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{q}{\frac{4}{3} C_0}; \quad \text{Пол вставки пластины напряжение снова стало равным } U_0$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4 (прод.)

$$U_0 = \frac{q + \Delta q}{\frac{4}{3} C_0}$$

$$\frac{q + \Delta q}{\frac{4}{3} C_0} = \frac{q}{C_0}$$

$$q + \Delta q = \frac{4}{3} q$$

$$\Delta q = \frac{q}{3} = \frac{C \cdot U_0}{3} = \frac{C E}{3}$$

№5.

$$1) I = \frac{E}{R + R_1} = \frac{E}{4R}$$

$$2) E = U + \frac{q}{C}$$

$$\frac{E - \frac{q}{C}}{R + 3R} = I$$

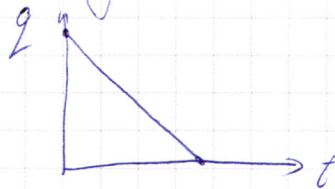
$$\frac{E - U}{4R} = \frac{U}{R} \quad \times R$$

$$\frac{E}{4} = \frac{5U}{4}$$

$$U = \frac{E}{5}$$

Ответ: а)  $C_1 = \frac{4}{3} C_0$  б)  $\Delta q = \frac{C E}{3}$

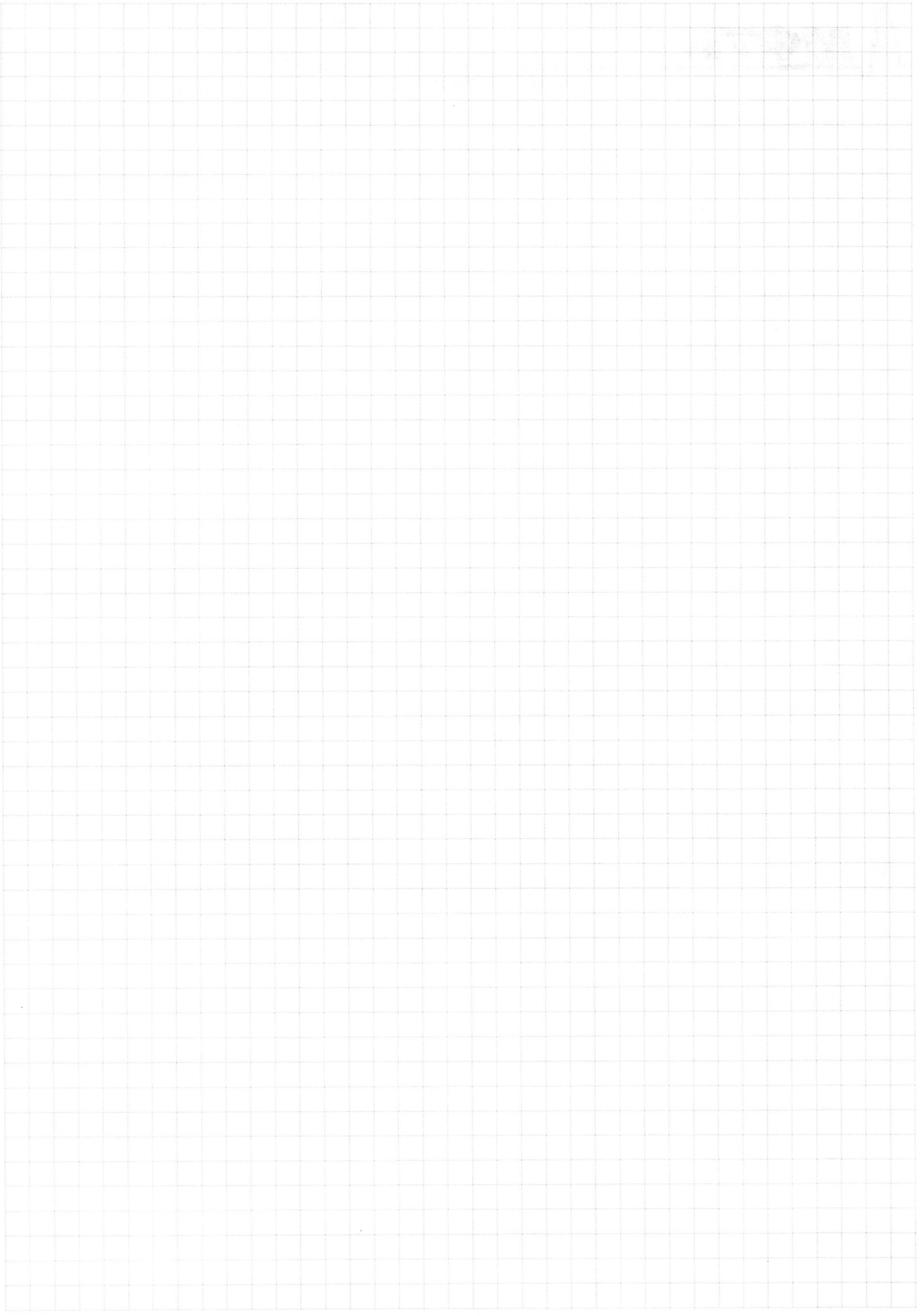
3) Заряд на конденсаторе после выключения ключа:



$$I = q'(t) = \text{const} \\ \Rightarrow U_{\text{рез}} = \frac{I}{R_1} = \text{const}$$

$$\text{АД) } A = I U_{\text{рез}} t = \frac{q}{5t} U_{\text{рез}} t = q U_{\text{рез}} = C U_{\text{рез}} \cdot U_{\text{рез}} = C U_{\text{рез}}^2 \\ = \frac{C E^2}{25}$$

Ответ: а)  $U = \frac{E}{5}$  б)  $I = \frac{E}{4R}$  в)  $U = \frac{E}{5}$  г)  $A = \frac{C E^2}{25}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_1} = \frac{\mathcal{E}}{4R}$$

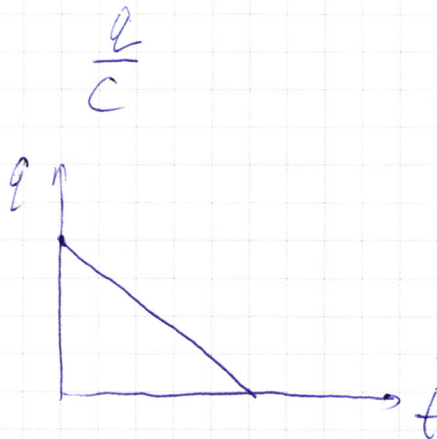
$$\mathcal{E} = U + \frac{q}{C}$$

$$U = \frac{q}{C} \Rightarrow \frac{\mathcal{E} - \frac{q}{C}}{R + 3R} = I = \frac{q}{\Delta t}$$

$$\frac{\mathcal{E} - \frac{q}{C}}{4R} = \frac{q}{R}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{4} = \frac{5q}{4}$$

$$U = \frac{\mathcal{E}}{5}$$



$$q'(t) = I = \text{const}$$

$$U_p = \frac{I}{R_1} = \text{const}$$

$$\Rightarrow A = I \Delta t = \frac{q}{R} \cdot \Delta t = qU = \frac{C}{4R} \cdot \mathcal{E}^2$$

$$A = I U \Delta t = \frac{q}{4} U \Delta t = qU =$$

$$= \frac{q}{4} C U \cdot U = C U^2 = \frac{C \mathcal{E}^2}{25}$$

$$4) C_1 = \frac{4}{3} C_0$$

$$U_0 = E = \frac{q}{C_0}$$

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{q}{\frac{4}{3} C_0}$$

$$U_0 = \frac{q + \Delta q}{\frac{4}{3} C_0}$$

$$\frac{q + \Delta q}{\frac{4}{3} C_0} - \frac{q}{C_0} = 0$$

$$q C_0 + \Delta q C_0 = \frac{4}{3} q C_0$$

$$\Delta q = \frac{q}{3} = \boxed{\frac{C_0 E}{3}}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1)

$m\vec{v} = F_{\tau}$

$$\frac{mv^2}{2} = 2mg \cdot l$$

$$\frac{v^2}{2} = 2gl$$

$$v = \sqrt{4gl} = 2\sqrt{10 \cdot 0,5} = 2\sqrt{5} \approx 4,47 \frac{m}{c}$$

5,0000      2,2  
- 4  
---  
100

$3m + m \frac{\sqrt{3}v_0}{2} = 3m$

2)

$P_2 = m\vec{v}_0$

$P_{12} + P_2 = P_0$

$m\vec{v}_1 + 3m\vec{u} = m\vec{v}_0$

$2 + 3u = v_0$

$3mu + mu = m\vec{v}_0$

$4u = v_0$

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

$\Delta E_{kin} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{(m+3m)u^2}{2}$

$= \frac{mv_0^2}{2} - 4m \frac{v_0^2}{16} = \frac{3mv_0^2}{8} = mgh$

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

В со осм:

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

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g \cdot \frac{3v_0}{4g}} = \sqrt{\frac{3v_0}{2}} \approx 1,25v_0$$

В таб. со:  $4mu = 3mv_1$

$$v_2 = 4 \cdot \frac{\sqrt{3v_0}}{2} - v_1 = \sqrt{\frac{3v_0}{2}} - \frac{v_0}{4} \cdot \frac{\sqrt{v_0}}{2} \left( \sqrt{3} - \frac{1}{2} \right)$$

$mgh + \frac{4m \frac{v_0^2}{4}}{2} = \frac{3mu^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$

$mgh = m\vec{v}_1^2$

$v_1 = \sqrt{2gh}$

$P_1 = m\vec{v}_1$

$3mv_1 - m\vec{v}_2 = 3mu$

$v_1 = 3u - 3u$

6 таб. со.

$3mv_1 - m(\vec{v}_1 - u) = 4mu$



$$\sqrt{3} V = 8,31 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

He

$\nu_1 = 0,2 \text{ моль}$	$\nu_2 = 0,3 \text{ моль}$
$T_1 = 300 \text{ К}$	$T_2 = 260 \text{ К}$

$$p V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$p V_2 = \nu_2 R T_2$$

$$p(V_1 + V_2) = R(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)$$

$$\begin{cases} \alpha p \cdot V = (\nu_1 + \nu_2) R T_{\text{ср}} \\ pV = R(\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) \end{cases}$$

$$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$$

$$U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$$

$$U_{\text{ср}} = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{\frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{\frac{3}{2} R (\nu_1 + \nu_2)} = \frac{0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 260}{0,5} = \frac{60 + 78}{0,5} = \frac{138}{0,5} = 276 \text{ К} = 15^\circ \text{C}$$

$$p = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T_{\text{ср}}}{V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)}{(\nu_1 + \nu_2) V} = \frac{8,31 \cdot 138}{8,31 \cdot 10^{-2}} = 144 \text{ Па}$$

в) d  
4d

$$Q = U + \frac{q}{C_0}; \quad U = Q - \frac{q}{C_0}$$

$$\begin{aligned} \frac{q}{C_0} &= Q - U \\ q &= \frac{q}{C_0} \end{aligned}$$

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

$$C_1 = \frac{4}{3} C_0$$

$$\frac{q_1}{\frac{4}{3} C_0} + U_1 = U = \frac{q}{C_0}$$

$$q_1 = \frac{4}{3} C_0 (U - U_1) = \frac{4}{3} C_0 (U - U)$$

$$Q = \frac{q_1}{C_1} + U$$

$$U = Q - \frac{q}{C_1}$$

$$q_1 = C_1 (Q - U)$$

$$q = C_0 (Q - U)$$

$$q - \frac{q}{3} = \frac{Q - U}{\frac{4}{3} C_0} - \frac{Q - U}{C_0} = \frac{\frac{4}{3} C_0 (Q - U) - C_0 (Q - U)}{\frac{4}{3} C_0} = \frac{\frac{4}{3} C_0 (Q - U) - C_0 (Q - U)}{\frac{4}{3} C_0} = \frac{C_0 (Q - U)}{\frac{4}{3} C_0} = \frac{3}{4} (Q - U)$$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

14-013

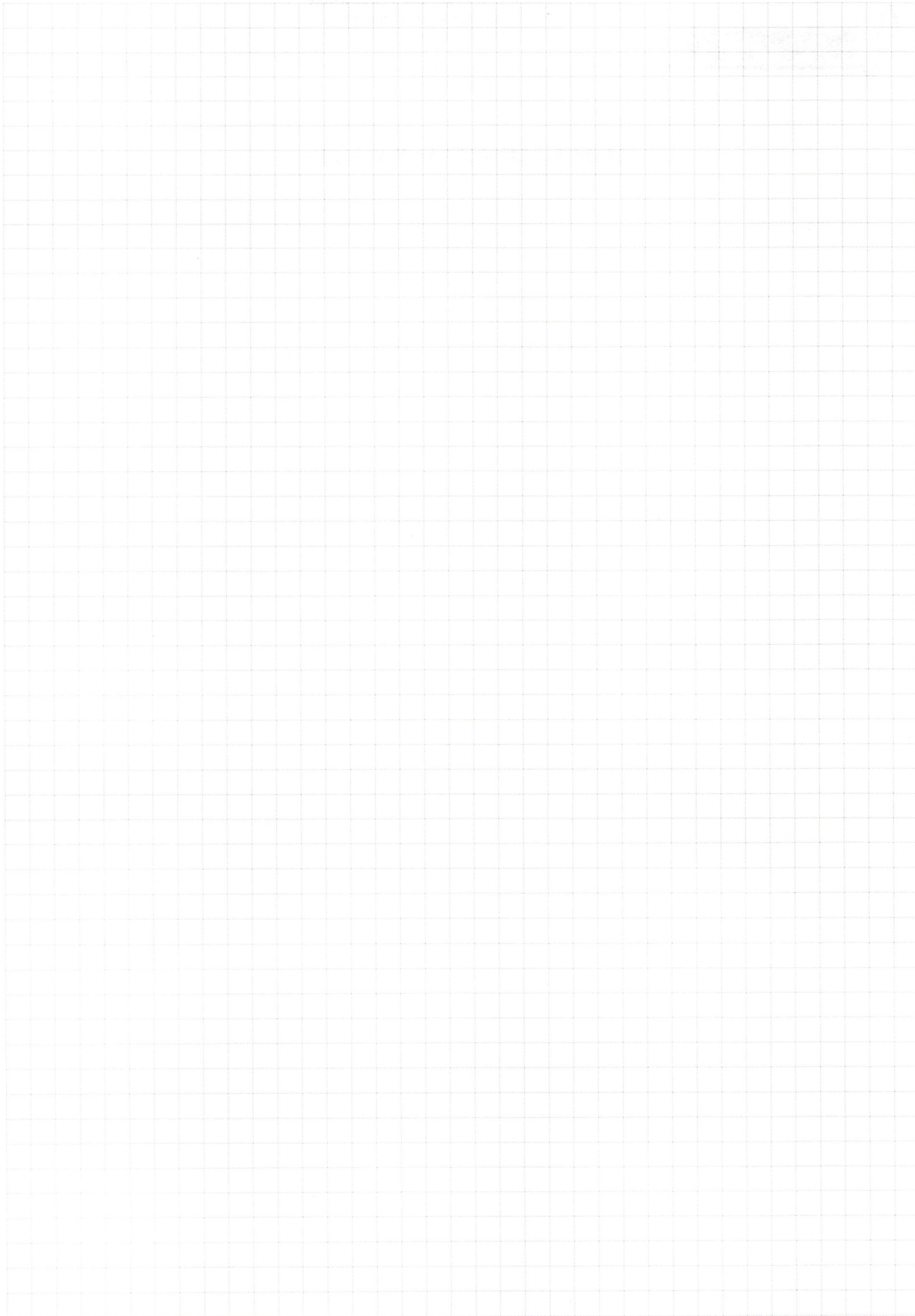
ШИФР

(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)