

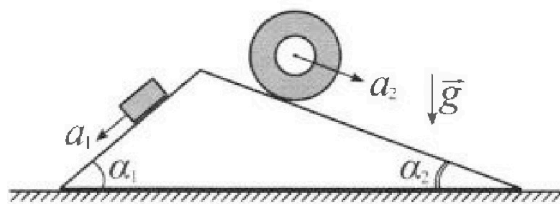
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 11-03

*В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.*



1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой  $m$  с ускорением  $a_1 = 6g/13$  и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой  $2m$  с ускорением  $a_2 = g/4$  (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту  $\alpha_1$  ( $\sin \alpha_1 = 3/5$ ,  $\cos \alpha_1 = 4/5$ ) и  $\alpha_2$  ( $\sin \alpha_2 = 5/13$ ,  $\cos \alpha_2 = 12/13$ ). Направления всех движений лежат в одной вертикальной плоскости.

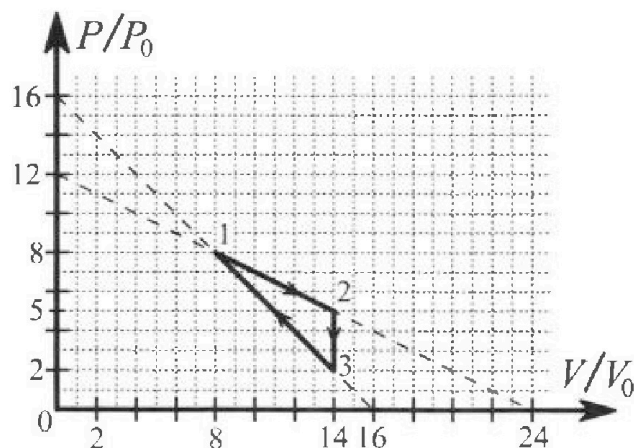


- 1) Найти силу трения  $F_1$  между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения  $F_2$  между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения  $F_3$  между столом и клином.

Каждый ответ выразить через  $m$  и  $g$  с числовыми коэффициентами в виде обыкновенной дроби.

2. С идеальным одноатомным газом совершают циклический процесс 1-2-3-1. На рисунке представлена зависимость  $P/P_0$  от  $V/V_0$ . Здесь  $V$  и  $P$  - объем и давление газа,  $V_0$  и  $P_0$  - некоторые неизвестные объем и давление.

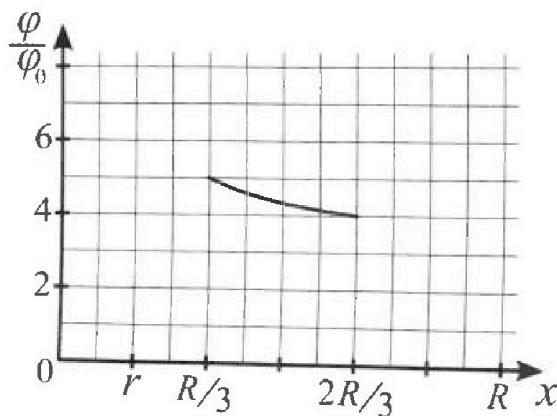
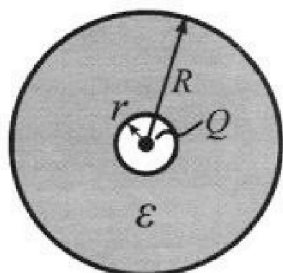
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.



Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и радиусами поверхностей  $r$  и  $R$  находится шарик с зарядом  $Q$  (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала  $\varphi$  электрического поля внутри диэлектрика от расстояния  $x$  от центра полого шара в интервале изменений  $x$  от  $R/3$  до  $2R/3$  (см. рис.). Здесь  $\varphi_0$  — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными  $r$ ,  $R$ ,  $Q$ ,  $\epsilon$ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при  $x = 5R/6$ .
- 2) Используя график, найти численное значение  $\epsilon$ .



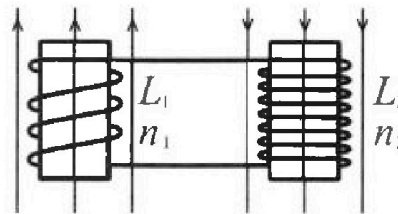
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

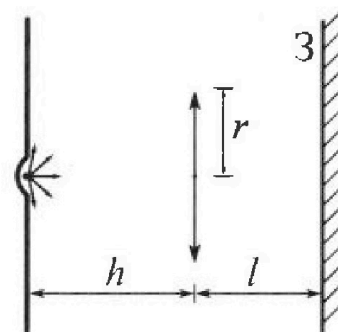


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 16L$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 4n$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки находятся достаточно далеко друг от друга. Омическое сопротивление катушек и соединительных проводов пренебрежимо мало. Вначале тока в катушках нет.



- 1) С какой скоростью (по модулю) начнет изменяться ток в катушках, если в катушке с индуктивностью  $L_1$  индукция внешнего поля начнет возрастать со скоростью  $\Delta B / \Delta t = \alpha (\alpha > 0)$ , а во второй катушке внешнее поле останется неизменным?
- 2) За некоторое время индукция внешнего поля в катушке с индуктивностью  $L_1$  уменьшилась от  $B_0$  до  $B_0/3$ , не изменив направления, а в катушке с индуктивностью  $L_2$  индукция внешнего поля уменьшилась от  $3B_0$  до  $9B_0/4$ , не изменив направления. Внешние поля в катушках изменялись неравномерно. Найти ток (по модулю) в катушках к концу изменения внешних полей. Ответ дать с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

5. В стене сделана небольшая выемка, внутри которой находится маленькая лампочка так, что прямой свет от лампочки на стену не попадает (см. рис.). Справа от лампочки на некотором расстоянии  $h$  расположена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием  $F = h/3$ . Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы  $r = 5$  см. Справа от линзы на расстоянии  $l = 2h/3$  расположено параллельно стене плоское зеркало 3. Считать, что свет, идущий мимо линзы, проходит плоскость линзы беспрепятственно. Размеры стены и зеркала намного больше размеров линзы.



- 1) Найдите площадь неосвещенной части зеркала.
- 2) Найдите площадь неосвещенной части стены.

Ответы дайте в  $[см^2]$  в виде  $\gamma\pi$ , где  $\gamma$  - целое число или простая обыкновенная дробь.

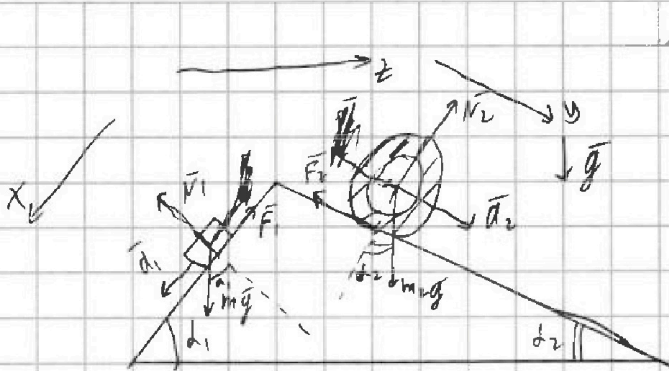


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



1) Второе 3-х Н-на  $g$ а  $F_1$   $F_1$   $F_1$  в проекции на  $Ox$ :

$$m_1 d_1 = m_1 g \sin \alpha_1 - F_1$$

$$F_1 = m_1 g \sin \alpha_1 - m_1 d_1 = m_1 g \cdot \frac{3}{5} - m_1 \frac{6}{13} g =$$

$$= m_1 g \left( \frac{3}{5} - \frac{6}{13} \right) = m_1 g \left( \frac{39 - 30}{65} \right) = \frac{9}{65} m_1 g.$$

2) Второе 3-х Н-на  $g$ а  $F_2$   $F_2$   $F_2$  в проекции на  $Oy$ :

$$m_2 d_2 = m_2 g \sin \alpha_2 - F_2$$

$$F_2 = m_2 g \sin \alpha_2 - m_2 d_2 = 2m_2 \left( g \cdot \frac{5}{13} - g \cdot \frac{1}{4} \right) =$$

$$= 2m_2 g \left( \frac{20 - 13}{52} \right) = \frac{7}{26} m_2 g.$$

3) Наконец, что по III-му 3-му Н-на первое тело действует с силой  $N_1 = m_1 g \cos \alpha_1$  на клин, а второе с силой  $N_2 = 2m_2 g \cos \alpha_2$ .

И введем горизонтальную ось  $z$ .

$$N_{1z} = m_1 g \cos \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 = m_1 g \cdot \frac{12}{25}$$

$$N_{2z} = -2m_2 g \cos \alpha_2 \cdot \sin \alpha_2 = -2m_2 g \frac{60}{169} = -m_2 g \frac{120}{169}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$N_1$  (мг/дм<sup>3</sup>)

Заметим, что  $N_2 \neq$  по модулю  $> N_{1,2} \Rightarrow$

$\Rightarrow$  след  $F_3$  будет направлена по 0 з и

$$F_3 = mg \frac{120}{169} - \frac{12}{25} mg = mg \left( \frac{120 \cdot 25 - 12 \cdot 169}{25 \cdot 169} \right) =$$

$$= mg \left( \frac{3000 - 2028}{4225} \right) = mg \frac{972}{4225} = mg \frac{324}{1475}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ \times 169 \\ \hline 1338 \\ + 1690 \\ \hline 2028 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 134 \\ \times 169 \\ \hline 1875 \\ + 3380 \\ \hline 4225 \end{array}$$





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$3) \Delta U = \frac{3}{2} \Delta R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (70 p_0 V_0 - 64 p_0 V_0) = \\ = \frac{3}{2} \cdot 6 p_0 V_0 = 9 p_0 V_0$$

$$4) \frac{pV}{A} = \frac{9 p_0 V_0}{9 p_0 V_0} = 1$$

$$5) p_0 V = \nu R T$$

для 3-го состояния:

$$\left(-\frac{1}{2} \frac{p_0}{V_0} V + 12 p_0\right) V = \nu R T$$

$$p_3 V_3 = \nu R T_3$$

$$-\frac{1}{2} \frac{p_0}{V_0} V^2 + 12 p_0 V = \nu R T$$

$$28 p_0 V_0 = \nu R T_3$$

∗ f(V) =  $-\frac{1}{2} \frac{p_0}{V_0} V^2 + 12 p_0 V$  параб. ветви вниз ⇒  
⇒ её максимальное значение будет в её вершине,  
т.е. в  $V = \frac{-12 p_0}{-\frac{p_0}{V_0}} = 12 V_0$

$$f(V) = -\frac{1}{2} \frac{p_0}{V_0} \cdot 144 V_0^2 + 144 V_0 p_0 = 72 V_0 p_0$$

$$т.о. \frac{T_1}{T_3} = \frac{72 V_0 p_0}{28 V_0 p_0} = \frac{36}{14} = \frac{18}{7}$$

$$6) Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 9 p_0 V_0 + \frac{1}{2} \cdot 6 V_0 \cdot (13 p_0) = 9 p_0 V_0 + 39 p_0 V_0 = \\ = 48 p_0 V_0$$

в процессе 23 мм отдают тепло.

$$\Delta U_{31} = -\frac{3}{2} \Delta R (T_3 - T_1) = -\frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1) = -\frac{3}{2} (28 p_0 V_0 - 64 p_0 V_0) \Delta U = 54 p_0 V_0$$

$$A_{31} < 0 \quad \approx 54 p_0 V_0 \quad A_{31} = -\frac{1}{2} \cdot 6 V_0 \cdot 10 p_0 = -30 p_0 V_0 \quad \Rightarrow Q_{31} = 24 p_0 V_0$$

$$т.о. \eta = \frac{A}{Q_{12} + Q_{31}} = \frac{9 p_0 V_0}{48 p_0 V_0 + 24 p_0 V_0} = \frac{1}{8}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$4 + \frac{2}{\varepsilon} = 5 + \frac{10}{\varepsilon}$$

$$5 + \frac{5}{2\varepsilon} = 4 + \frac{8}{\varepsilon}$$

$$1 + \frac{5}{2\varepsilon} = \frac{8}{\varepsilon}$$

$$\frac{5}{2\varepsilon} - \frac{8}{\varepsilon} = -1$$

$$\frac{5}{2\varepsilon} - \frac{16}{2\varepsilon} = -1$$

$$-\frac{11}{2\varepsilon} = -1 \Rightarrow$$

$$11 = 2\varepsilon \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{11}{2}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

14

Из первого случая лучше так будет идти по своей катушке след. образом:



$$\mathcal{E}_1 = \frac{d\Phi}{dt} = L_0 \dot{I}'$$

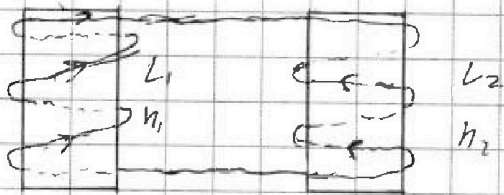
$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{dB \cdot S \cdot n_1}{dt} = L_0 \dot{I}'$$

$$L_0 S \cdot n_1 = L_0 \dot{I}'$$

$L_0 = L_1 + L_2$  - полная самоиндукция катушки.

$$\text{ТОГДА: } \dot{I}' = \frac{dS n_1}{L_1 + L_2} = \frac{dS n_1}{17L}$$

Из второго случая:



$$|\mathcal{E}_{12} - \mathcal{E}_{21}| = L_0 \dot{I}'$$

$$\left| \frac{dB_1 \cdot S \cdot n_1}{dt} - \frac{dB_2 \cdot S \cdot n_2}{dt} \right| = L_0 \frac{dI'}{dt}$$

$$\left| \frac{2}{3} B_0 \cdot S \cdot n_1 - \frac{3}{4} B_0 \cdot S \cdot n_2 \right| = (L_1 + L_2) \dot{I}'$$

$$\dot{I}' = \frac{\frac{7}{3} B_0 S n_1}{17L} = \frac{7}{51} \frac{B_0 S n_1}{L}$$

$$\text{т.е. } \dot{I}' = \frac{7 B_0 S n_1}{51 L} \text{ т.к. } L_0 \neq 0.$$







На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

7) Для второго пункта задачи удобно воспользоваться методом изображений. Т.е. мы прообразуем картинку за зеркалом (там будет вторая линза и вторая стенка).

$$8) O_3 O_4 = h/2 \rightarrow O_4 O_2 = 1/2 \cdot \frac{5}{6} h$$

$$9) \operatorname{tg}(\alpha_{10K}) = \frac{h}{h} ; \operatorname{tg}(\alpha_{3O_2M}) = \frac{h/5}{h/6} = 2 \frac{h}{h}$$

$$10) \text{ заметим, что } \operatorname{tg}(\alpha_{3O_2Z}) = \frac{h}{\frac{5}{6}h} = \frac{6}{5} \frac{h}{h}$$

11) Т.о.  $\operatorname{tg}(\alpha_{3O_2Z}) = \operatorname{tg}(\alpha_{3O_2M})$  луч LM не попадет второй раз на линзу.

$$12) \text{ также: } OO_5 = (h + \frac{2}{3}h) \cdot 2 = \frac{10}{3}h$$

$$O_2 O_5 = \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{3}h + h = \frac{5}{6}h + h = \frac{11}{6}h$$

$$13) LM \cap L = p ; p O_5 = \operatorname{tg}(\alpha_{3O_2M}) \cdot \frac{11}{6}h = \frac{11}{3}h$$

$$OK \cap L = p' ; p' O_5 = \operatorname{tg}(\alpha_{10K}) \cdot \frac{10}{3}h = \frac{10}{3}h$$

$\Rightarrow p'$  ближе к  $O_5$  чем  $p \Rightarrow$  это не будет не освещенной

новой области при краевых лучах.

14) угл. м. тонкой линзы:

$$\frac{1}{\frac{5}{6}h} + \frac{1}{y} = \frac{1}{h/5} \Rightarrow \frac{6}{5h} + \frac{1}{y} = \frac{5}{h}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{5}{h} - \frac{6}{5h} = \frac{15-6}{5h} = \frac{9}{5h} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y = \frac{5h}{9}$$

$$15) u_2 \sim \Delta\text{-ков} \Rightarrow O_4 O_5 \text{ и } O_6 O_5 \text{ з': } \frac{O_6 O_4}{O_6 O_5} = \frac{v}{v'} = \frac{\frac{5}{9}h}{\frac{4}{9}h} = \frac{5}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v' = \frac{4}{5}v ; \frac{v}{\frac{5}{9}h} = \frac{v''}{\frac{4}{9}h} \text{ и } v'' = 11v \Rightarrow v'' = \frac{44}{5}v = (9.2v)$$

$$16) S_2 = \pi \left(\frac{10}{3}h\right)^2 - \pi \left(\frac{4}{9}h\right)^2 = \pi \frac{100}{9}h^2 - \pi \frac{16}{81}h^2$$

$$16) S_2 = \pi \left(\frac{10}{3}h\right)^2 - \pi \left(\frac{4}{9}h\right)^2 = \frac{\pi h^2}{27} (121 - 16) = 105 \pi \text{ см}^2$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

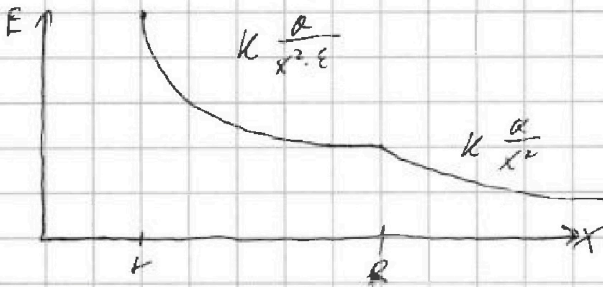
1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$\sqrt{3}$

1) заметим, что потенциал на некотором расстоянии от центра - это работа по перемещению заряд из бесконечности в данную точку, радиус  $x$  заряд  $q$ .



$$\varphi\left(\frac{5R}{6}\right) = \int_R^{+\infty} k \frac{q}{x^2 \cdot \epsilon} dx + \int_{5/6 R}^R k \frac{q}{x^2 \cdot \epsilon} dx = -k \frac{q}{x} \Big|_R^{+\infty} - k \frac{q}{x \cdot \epsilon} \Big|_{5/6 R}^R =$$

$$= -k \frac{q}{R} - k \frac{q}{\epsilon} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{5/6 R} \right) = k \frac{q}{R} + k \frac{q}{\epsilon} \left( \frac{6}{5R} - \frac{1}{R} \right) =$$

$$= k \frac{q}{R} + k \frac{q}{\epsilon} \frac{1}{5R} = k \frac{q}{R} \left( 1 + \frac{1}{5\epsilon} \right)$$

$$2) \varphi\left(\frac{1}{3}R\right) = k \frac{q}{R} - k \frac{q}{\epsilon} \left( \frac{1}{R} - \frac{3}{R} \right) = k \frac{q}{R} + k \frac{q}{\epsilon} \frac{2}{R} = k \frac{q}{R} \left( 1 + \frac{2}{\epsilon} \right)$$

$$\varphi\left(\frac{2}{3}R\right) = k \frac{q}{R} - k \frac{q}{\epsilon} \left( \frac{1}{R} - \frac{3}{2R} \right) = k \frac{q}{R} + k \frac{q}{\epsilon} \frac{1}{2R} = k \frac{q}{R} \left( 1 + \frac{1}{2\epsilon} \right)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi\left(\frac{1}{3}R\right) &= 5\varphi_0 \\ \varphi\left(\frac{2}{3}R\right) &= 4\varphi_0 \end{aligned} \right\} \varphi_0 = \frac{5\varphi_0}{4} = \frac{kq}{R} \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{\epsilon} \right)$$

$$\frac{5}{4} \varphi_0 = \frac{1 + \frac{2}{\epsilon}}{1 + \frac{1}{2\epsilon}}$$

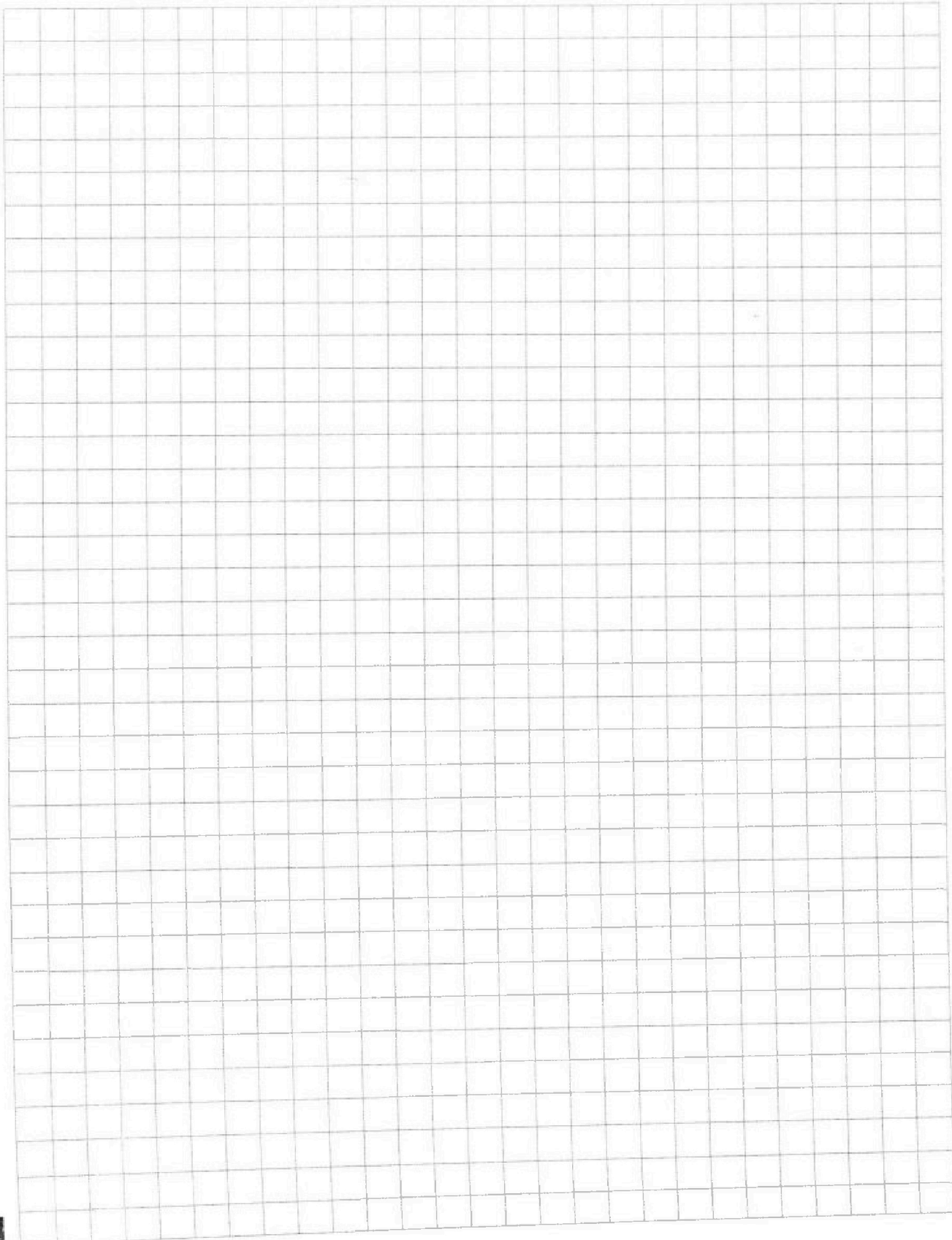


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

СТРАНИЦА  
\_\_ ИЗ \_\_

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. **Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно.** Порча QR-кода недопустима!





На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_\_ ИЗ \_\_

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1)  $p_2 = p_1 \cdot \gamma = 1925$

$p = V \cdot X + B$   
 $8 = 8X + B$   
 $5 = 14X + B$

$8 - 8X = 5 - 14X$   
 $6X = -3$   
 $X = -\frac{1}{2}$

$p = -\frac{1}{2}V + 12$   
 $\Rightarrow \frac{p}{p_0} = -\frac{V}{2V_0} + 12$

$V_1 = 8V_0$ ;  $V_2 = 14V_0 = V_3$

$36 \cdot \frac{3}{2} = 54$   
 $p_1 = 8p_0$   
 $p_2 = 5p_0$   
 $p_3 = 2p_0$

$p = -\frac{p_0}{2V_0}V + 12p_0$   
 const

$\frac{2}{3} - 3 = 2\frac{1}{3}$

1)  $A = S = 3p_0 \cdot 6V_0 \cdot \frac{1}{2} = 9p_0V_0$   
 2)  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (6p_0V_0 - 64p_0V_0) = \frac{3}{2} (-58p_0V_0) = -9p_0V_0$

$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (5p_0 \cdot 14V_0 - 8p_0 \cdot 8V_0) = \frac{3}{2} (70p_0V_0 - 64p_0V_0) = 9p_0V_0$

$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (5p_0 \cdot 14V_0 - 8p_0 \cdot 8V_0) = \frac{3}{2} (70p_0V_0 - 64p_0V_0) = 9p_0V_0$

$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} (5p_0 \cdot 14V_0 - 8p_0 \cdot 8V_0) = \frac{3}{2} (70p_0V_0 - 64p_0V_0) = 9p_0V_0$

3)  $\Delta S = \frac{3}{2} \nu R T = \frac{3}{2} \nu R p V = \frac{3}{2} (-\frac{p_0}{2V_0} V + 12p_0) \cdot V = \frac{3}{2} (-\frac{p_0}{2} \frac{V^2}{V_0} + 12p_0 V)$