

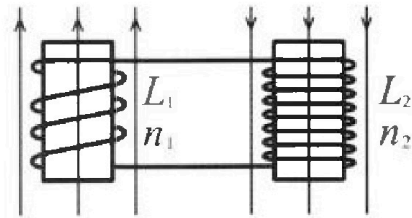
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 11-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.

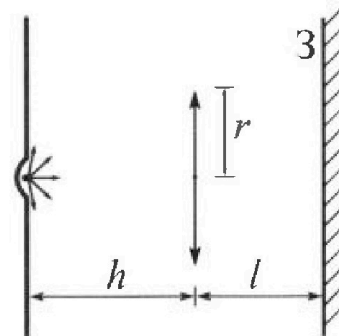


4. Две катушки с индуктивностями  $L_1 = L$  и  $L_2 = 16L$  и числами витков  $n_1 = n$  и  $n_2 = 4n$  помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки  $S$ . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков 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  $Z$ . 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.



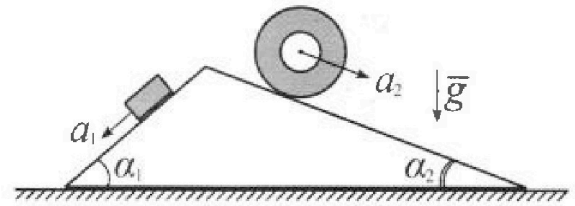
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## 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.

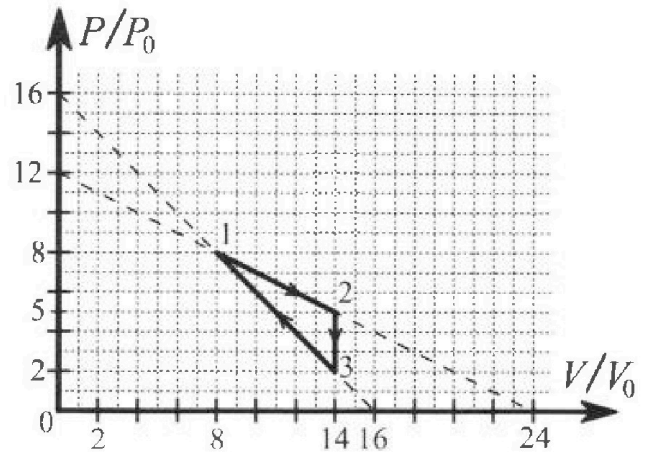


- 1) Найти силу трения  $F_1$  между бруском и клином.
- 2) Найти силу трения  $F_2$  между цилиндром и клином.
- 3) Найти силу трения  $F_3$  между столом и клином.

Каждый ответ выразить через  $m$  и  $g$  с числовым коэффициентом 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.

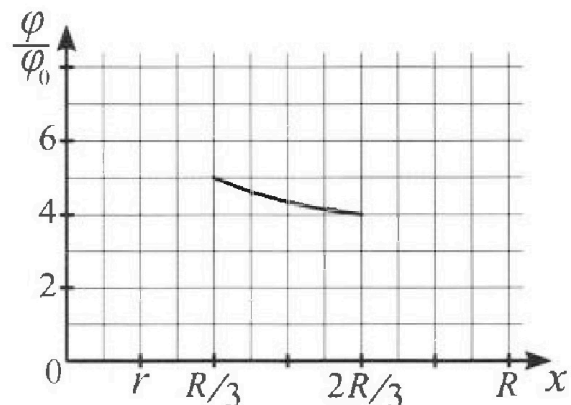
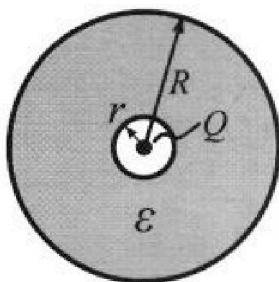
- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 1-2 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 3.
- 3) Найдите КПД цикла.



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  $\epsilon$ .



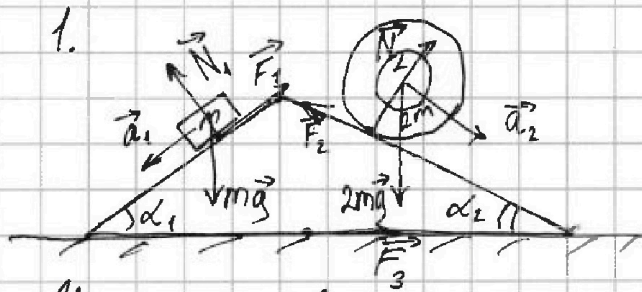




1  2  3  4  5  6  7

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!



$$\begin{cases} N_1 = mg \cos \alpha_1 \\ N_2 = 2mg \cos \alpha_2 \\ ma_1 = mg \sin \alpha_1 - F_1 \\ 2ma_2 = 2mg \sin \alpha_2 - F_2 \end{cases}$$

Усл-е неподвижности клина:

$$F_3 = F_1 \cos \alpha_1 + N_2 \sin \alpha_2 - N_1 \sin \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 = F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 + 2mg \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 - mg \sin \alpha_1 \cos \alpha_1$$

$$F_1 = mg \sin \alpha_1 - ma_1, \text{ но не пометановки значений: } \sin \alpha_1, \cos \alpha_1, \sin \alpha_2, \cos \alpha_2, a_1 \text{ и } a_2, \text{ получим:}$$

$$F_1 = \left(\frac{3}{5} - \frac{6}{13}\right)mg = \frac{9}{65}mg; F_2 = \left(\frac{10}{13} - \frac{2}{4}\right)mg = \frac{14}{52}mg$$

$$\Rightarrow F_3 = \left(\frac{9}{65} \cdot \frac{4}{5} - \frac{14}{52} \cdot \frac{12}{13} + \frac{2 \cdot 12 \cdot 5}{13^2} - \frac{3 \cdot 4}{5^2}\right)mg =$$

$$= \left(\frac{36}{13 \cdot 5^2} - \frac{168}{13^2 \cdot 4} + \frac{120}{13^2} - \frac{12}{5^2}\right)mg = \left(\frac{36}{13^2 \cdot 4} + \frac{468}{13^2 \cdot 5^2} - \frac{12 \cdot 13^2}{13^2 \cdot 5^2}\right)mg =$$

$$= \left(\frac{12(39 - 169)}{13^2 \cdot 5^2} + \frac{312}{13^2 \cdot 4}\right)mg = \frac{-12 \cdot 4 \cdot 130 + 312 \cdot 13}{13^2 \cdot 5^2 \cdot 4}mg = \frac{-312 + 1287}{13^2 \cdot 5}mg =$$

$$= \frac{975}{845}mg \Rightarrow \text{сила направлена вправо}$$

Ответ:  $F_1 = \frac{9}{65}mg; F_2 = \frac{7}{26}mg; F_3 = \frac{195}{845}mg$

$F_3 = \frac{195}{845}mg$  Ответ:  $F_1 = \frac{9}{65}mg; F_2 = \frac{7}{26}mg; F_3 = \frac{195}{845}mg$

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!

2. Работа за цикл - это площадь фигуры на графике.  $\frac{p}{p_0}$  от  $\frac{V}{V_0}$   
 $\Rightarrow A_0 = 9p_0V_0$  - работа за цикл.

$$\Delta U_{12} = -\frac{3}{2}(p_1V_1 - p_2V_2) = 48p_0V_0 \Rightarrow \frac{|\Delta U_{12}|}{A_0} = 1$$

$pV = \nu RT \Rightarrow$  тем-ра макс., когда  $pV$  макс.

$$\Rightarrow T_3 = \frac{28p_0V_0}{\nu R}; \text{ Зависимость } p(V) \text{ в процессе 1-2:}$$

$$p(V) = 12p_0 - \frac{1}{2}\frac{p_0}{V_0}V \Rightarrow pV = 12p_0V - \frac{1}{2}\frac{p_0}{V_0}V^2$$

$$(pV)'_V = 12p_0 - \frac{p_0}{V_0}V = 0 \Rightarrow V = 12V_0$$

$\Rightarrow$  Макс. знач.  $pV$  достигается при  $V = 12V_0$

$$\Rightarrow T_{\max} = \frac{42p_0V_0}{\nu R} \Rightarrow \frac{T_{\max}}{T_3} = \frac{18}{7}$$

$$\eta = \frac{A}{Q} \quad \eta = \frac{A_0}{Q}; \quad Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = 48p_0V_0$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2}(64 - 28)p_0V_0 - 24p_0V_0 = 30p_0V_0$$

$$Q = Q_{12} + Q_{31} = 78p_0V_0 \Rightarrow \eta = \frac{9}{78}$$

$$\text{Ответ: } \frac{|\Delta U_{12}|}{A_0} = 1; \quad \frac{T_{\max}}{T_3} = \frac{18}{7}; \quad \eta = \frac{9}{78}$$





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!

3. Диэлектрик ослабляет поле в  $\epsilon$  раз.

Поле от точечного заряда:  $\vec{E} = \frac{kQ}{r^2} \vec{r} \Rightarrow$  поле в диэл-ке:  
 $\vec{E}_g = \frac{kQ}{\epsilon r^2} \vec{r}$

Потенциал у пов-ти шара:  $\varphi_m = \frac{kQ}{R}$

Потенциал в т. удаленной на  $(R-x)$  от пов-ти шара:

$$\varphi_x = \varphi_m + \int_{R-x}^R E_g(r) dr = \varphi_m + \frac{kQ}{\epsilon} \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R-x} \right)$$

$$\varphi_x = \varphi_m + \frac{kQ}{\epsilon R(R-x)} = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{x}{\epsilon(R-x)} \right)$$

$$\varphi_x = \varphi_m + \frac{kQ}{\epsilon} \left( \frac{1}{x} - \frac{1}{R} \right) = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{1}{\epsilon} \left( \frac{R}{x} - 1 \right) \right)$$

$$\text{Для } x = \frac{5}{6}R : \varphi_x = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{1}{6\epsilon} \right)$$

Для точек 1 и 2 с координатами  $\left(\frac{R}{3}; 5\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)$  и  $\left(\frac{2R}{3}; 4\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)$  соотв-но:

$$\varphi_1 = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{2}{\epsilon} \right); \varphi_2 = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{1}{2\epsilon} \right)$$

$$\text{Также } \varphi_1 = 5\frac{\varphi}{\varphi_0}; \varphi_2 = 4\frac{\varphi}{\varphi_0} \Rightarrow \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{5}{4} = \frac{1 + \frac{2}{\epsilon}}{1 + \frac{1}{2\epsilon}}$$

$$\Rightarrow 5(2\epsilon + 1) = 8(\epsilon + 2)$$

$$10\epsilon + 5 = 8\epsilon + 16$$

$$2\epsilon = 11$$

$$\epsilon = 5,5$$

$$\text{Ответ: } \varphi_x = \frac{kQ}{R} \left( 1 + \frac{1}{6\epsilon} \right); \epsilon = 5,5$$



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!

4. ЭДС индукции во второй катушке:  $\mathcal{E}_2 = L_2 \dot{I}$

ЭДС индукции в первой катушке:  $\mathcal{E}_1 = -\mathcal{E}_2 = -n_1 S \dot{B} = -n_1 S \dot{\mu}_1$

$\Rightarrow \dot{I} = \frac{\mu_1 n_1 S \alpha}{L_2}$ ; Изменяемое поле не окажет влияния на вторую катушку.

Энергия катушки:  $W = \frac{L I^2}{2} = S l \frac{B^2}{2 \mu_0}$ ;  $B = \frac{n I \mu_0}{L}$

$$\Rightarrow \frac{L_1 I^2}{2} = S l \frac{n^2 I^2 \mu_0}{2 l^2} \Rightarrow L_1 = \frac{n^2 \mu_0 n S}{L}$$

$$L_1 = \frac{\mu_0 n_1^2 S}{l_1}; \quad L_2 = \frac{\mu_2 n_2^2 S}{L_2}, \quad \text{из усл. } \frac{L_2}{L_1} = \frac{n_1^2}{n_2^2} \Rightarrow \frac{\mu_1}{L_1} = \frac{\mu_2}{L_2}$$

Т.к. в катушках и проводах нет сопротивления, то суммарный магнитный поток ч/з них не изменится

Поток вначале:  $\Phi_1 = \mu_1 n_1 S B_0 + n_2 S 3 B_0 \mu_2$

Поток в конце:  $\Phi_2 = \mu_1 n_1 S \frac{B_0}{3} + n_2 S \frac{3 B_0 \mu_2}{4} + \dots (B_1 + B_2) S$ , где  $B_1$  и  $B_2$  - поля созданные 1 и 2 катушками соотв-но.

$$\Phi_1 = \Phi_2 \Rightarrow \left( \frac{2n_1 \mu_1}{3} + \frac{3n_2 \mu_2}{4} \right) S B_0 = (B_1 + B_2) S = \frac{\mu_1 \mu_0}{L_1} (n_1 I + n_2 I) S$$

$$\Rightarrow \frac{\frac{2n_1 \mu_1}{3} + \frac{3n_2 \mu_2}{4}}{n_1 + n_2} \frac{S B_0}{\mu_0} = I S; \quad \text{Предполагая } l_1 = l_2 = l, \mu_1 = \mu_2 = \mu = \mu_0$$

$$L = \left( \frac{L}{n^2 S \mu_0} \right)^{-1}, \quad \text{получим } I = \frac{11}{15} \frac{B_0 S}{L} n^2$$

$$I = \frac{n S \alpha}{16 L}$$

$$\text{Ответ: } I = \frac{n S \alpha}{16 L}; \quad I = \frac{11}{15} \frac{B_0 S}{L} n^2$$



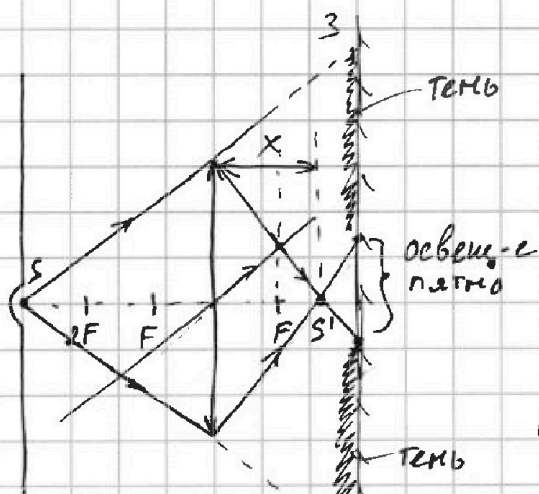


1  2  3  4  5  6  7

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!

5.



Формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{h} + \frac{1}{x}$$

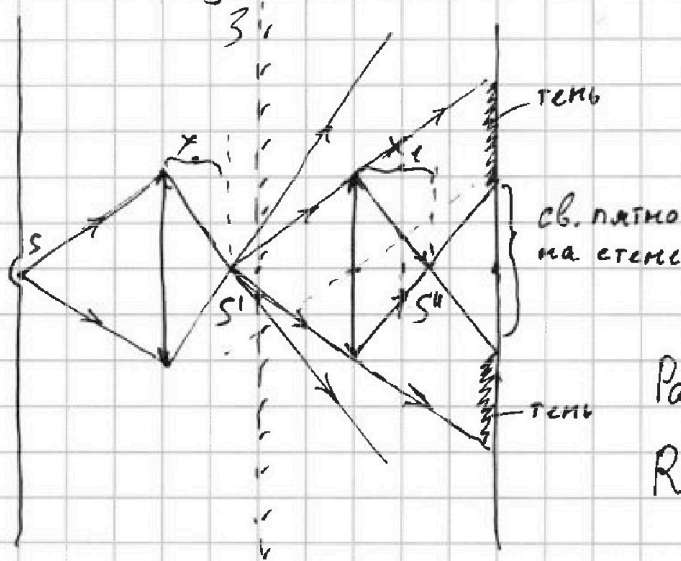
$$\Rightarrow x = \frac{Fh}{h-F} = \frac{1}{2}h < l$$

Радиус освещаемого пятна на зеркале R:

$$\frac{R}{l-x} = \frac{r}{x} \Rightarrow R = \frac{l-x}{x} r = \frac{1}{3}r$$

Внешний радиус тени:  $R_T = r \frac{h+l}{h} = \frac{5}{3}r$

$$\Rightarrow \text{Площадь тени: } S_T = \pi R_T^2 - \pi R^2 = \frac{24}{9} \pi r^2 = \frac{200}{3} \pi \text{ см}^2$$



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{2l-x} + \frac{1}{x_1}$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{F(2l-x)}{2l-x-F} = \frac{5h \cdot \frac{1}{2}}{\frac{3}{2}h}$$

$$\Rightarrow x_1 = \frac{5}{3}h$$

Радиус св. пятна на стене:

$$R_1 = r \frac{h-x_1}{x_1} = \frac{4}{5}r$$

Внешний радиус тени на стене:  $R'_T = r \frac{h+l-x}{2l-x} = \frac{11}{5}r$

$$\text{Площадь тени на стене: } S'_T = \pi R'^2_T - \pi R_1^2 = \frac{105}{25} \pi r^2$$

$$S'_T = 105 \pi \text{ см}^2$$

Ответ:  $S_T = \frac{200}{3} \pi \text{ см}^2$ ;  $S'_T = 105 \pi \text{ см}^2$



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

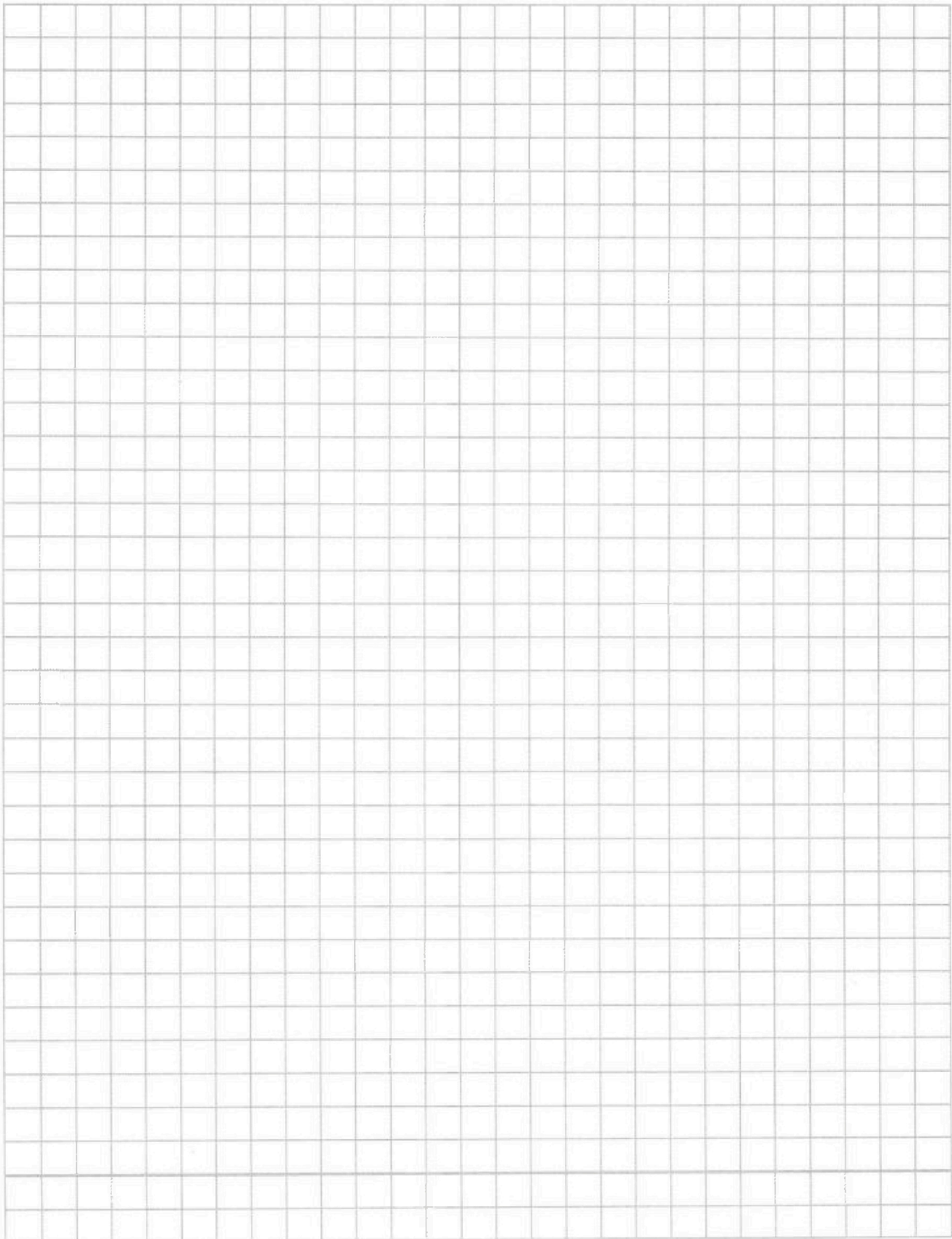
6

7

СТРАНИЦА

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!

4. Т.к. поле есть и внутри и снаружи катушки, то

3-я ЭМ-индукция примет вид:  $\mathcal{E}_i = -\dot{\Phi} = -nS(\mu-1)\dot{B}$   
 для первой катушки:  $\mathcal{E}_1 = -n_1 S(\mu_1 - 1)\dot{B} = -n_1 S(\mu_1 + 1)\alpha$

$$L_1 = \frac{n_1^2 \mu_1 \mu_0 S}{L_1}$$

$$\mu_1 \cdot B = \mu_1 \cdot n I$$

$$\frac{\mu_1}{L_1} = \frac{L}{S \mu_0 \mu_1}$$

$$\frac{1 S B_0}{\mu_0} = 5280 +$$

$$\frac{\mu_0}{c} \cdot \mu^2 = \frac{1560}{624} = 2.5$$

$$\mu_1 \cdot n_1 \cdot B_0 S$$

$$\frac{L \neq}{n_1^2 S \mu_0 \mu_1}$$

$$\frac{1320}{12^2 \cdot 5^2} = \frac{312}{13^2 \cdot 4}$$

$$B L \sim \mu^2 \sim n^2 \sim I \sim S \sim l^{-2}$$

$$\left( \frac{9}{65} \cdot \frac{4}{5} - \frac{7}{26} \cdot \frac{12}{13} + \frac{2 \cdot 12 \cdot 5}{13^2} + \frac{12}{5^2} \right)$$

$$120 \cdot 5^2 \cdot 12 \cdot 13^2$$

$$12(250 - 169)$$

$$12 \cdot 71$$

$$13^2 \cdot 5^2 = 175$$

$$\frac{2(36 \cdot 13 + 12 \cdot 71)}{2 \cdot 13^2 \cdot 5^2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 5^2}{13^2 \cdot 2 \cdot 5^2}$$

$$142 -$$

$$-73 + 36 \cdot 26$$

$$\begin{array}{r} 3 \\ 36 \\ \hline 26 \\ 216 \\ 72 \\ \hline 938 \end{array}$$

$$\frac{863}{13^2 \cdot 5^2 \cdot 2}$$

$$54$$

$$408$$

$$540$$

$$5^2 \cdot 13^2$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 36 \\ 13 \\ \hline 108 \\ 36 \\ \hline 468 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 71 \\ 12 \\ \hline 142 \\ 71 \\ \hline 852 \end{array}$$

$$320$$

$$2100$$

$$1320 \cdot 2 - 7 \cdot 300$$

$$2640 - 2100$$



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

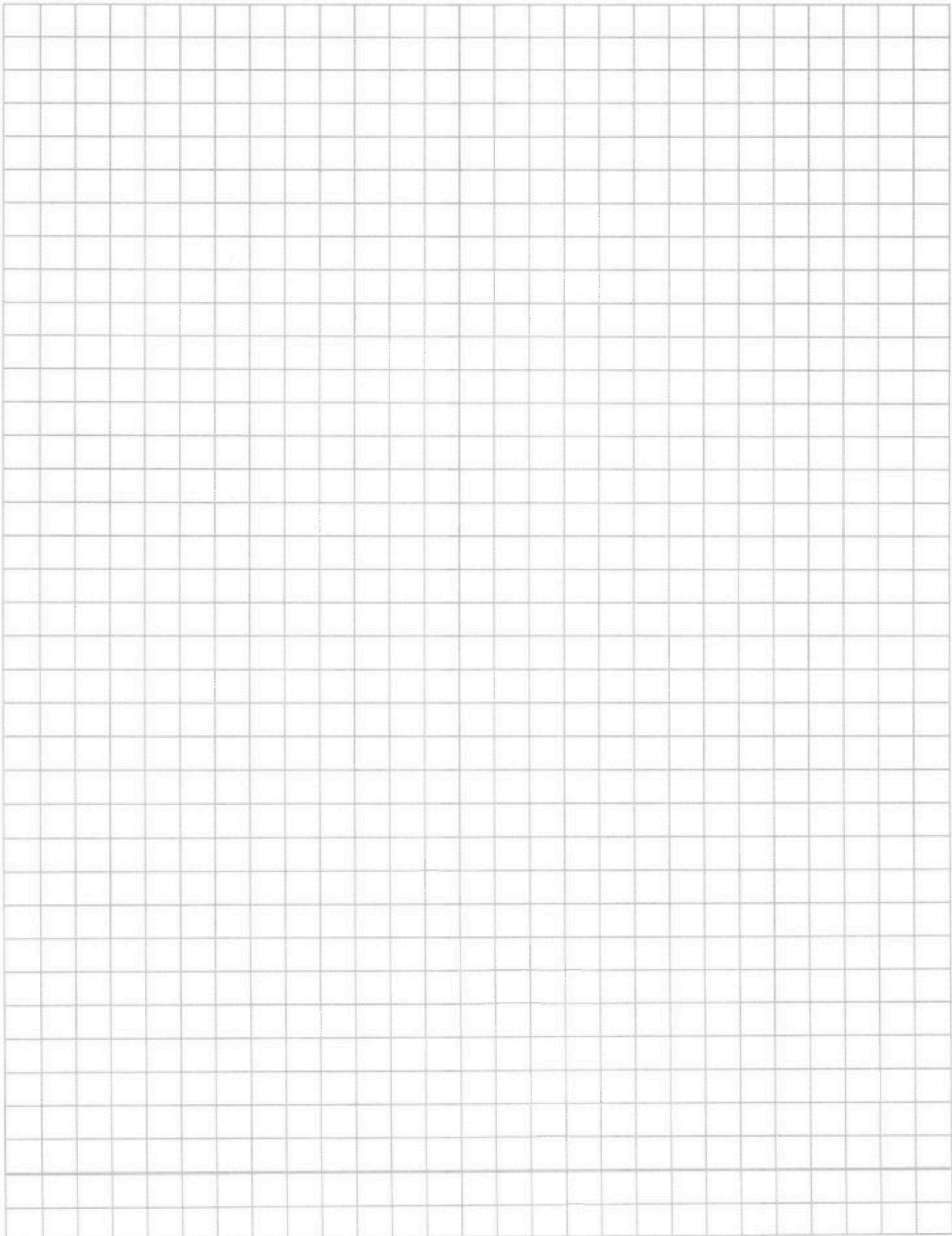
5

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!







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!

