



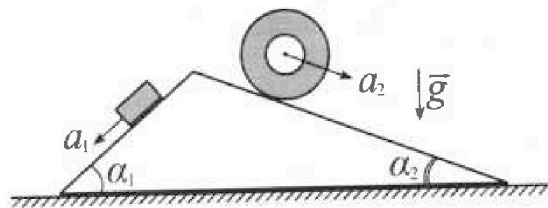
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01



В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

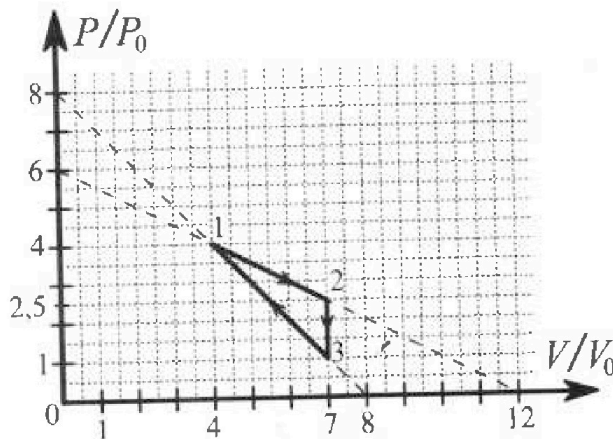
1. С клина, находящегося на шероховатом горизонтальном столе, соскальзывает брусок массой m с ускорением $a_1 = 5g/13$ и скатывается без проскальзывания полый цилиндр массой $4m$ с ускорением $a_2 = 5g/24$ (см. рис.). Клин остается в покое. Углы наклона поверхностей клина к горизонту α_1 ($\sin \alpha_1 = 3/5$, $\cos \alpha_1 = 4/5$) и α_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.

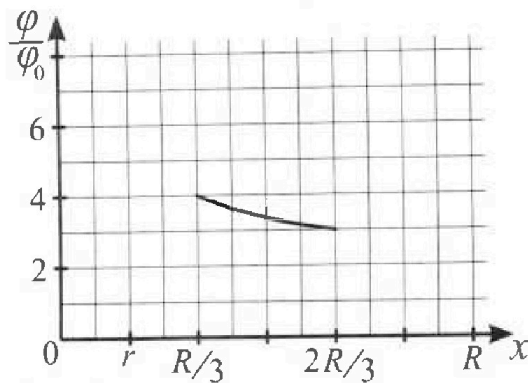
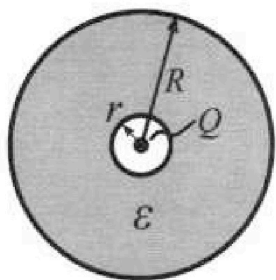


- 1) Найдите отношение модуля приращения внутренней энергии газа в процессе 2-3 к работе газа за цикл.
- 2) Найдите отношение максимальной температуры газа в процессе 1-2 к температуре газа в состоянии 1.
- 3) Найдите КПД цикла.

Ответы выразите числом в виде обыкновенной дроби или целого числа.

3. В центре полого шара с диэлектрической проницаемостью ϵ и радиусами поверхностей r и R находится шарик с зарядом Q (см. рис.). Известна графическая зависимость потенциала φ электрического поля внутри диэлектрика от расстояния x от центра полого шара в интервале изменений x от $R/3$ до $2R/3$ (см. рис.). Здесь φ_0 — потенциал в некоторой точке вне шара. Потенциал в бесконечно удаленной точке принят равным нулю.

- 1) Считая известными r , R , Q , ϵ , найти аналитическое выражение (в виде формулы) для потенциала внутри диэлектрика при $x = R/4$.
- 2) Используя график, найти численное значение ϵ .





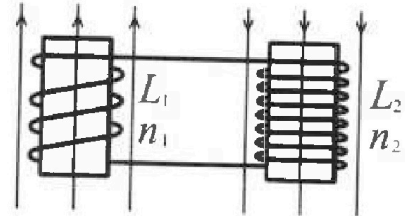
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

Вариант 11-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

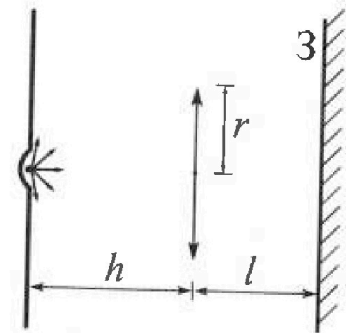


4. Две катушки с индуктивностями $L_1 = L$ и $L_2 = 4L$ и числами витков $n_1 = n$ и $n_2 = 2n$ помещены во внешние однородные магнитные поля с постоянными во времени индукциями (см. рис.). Площадь витка каждой катушки S . Индукции внешних полей направлены перпендикулярно плоскостям витков катушек. Катушки 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) нач нет 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 $B_0/2$, не изменив направления, а в катушке с индуктивностью L_2 индукция внешнего поля уменьшилась от $2B_0$ до $2B_0/3$, 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 $F = h/2$. Главная оптическая ось линзы горизонтальна и проходит через лампочку. Радиус линзы $r = 3$ см. Справа от линзы на расстоянии $l = 2h/3$ расположено параллельно стене плоское зеркало.



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

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

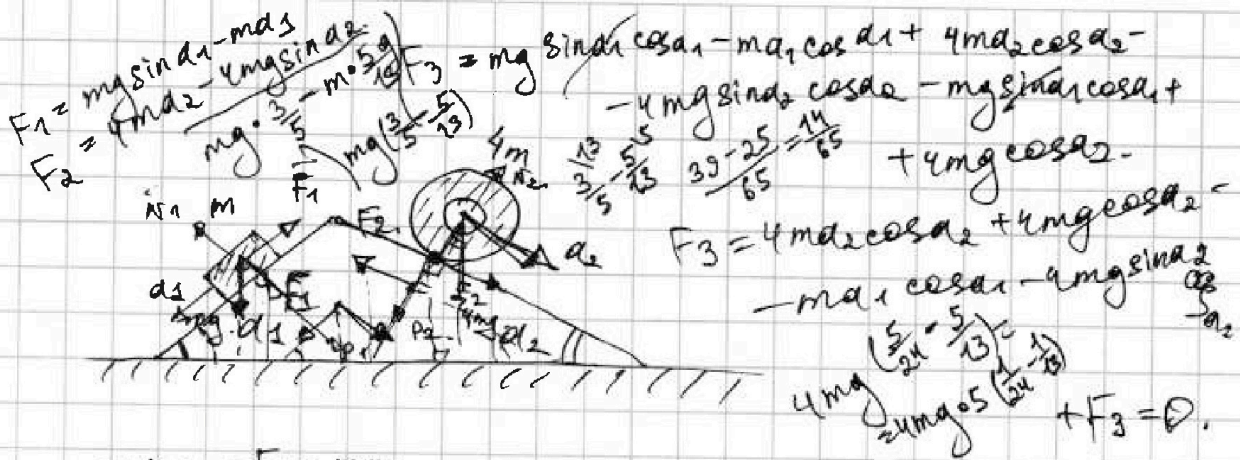


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
из

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

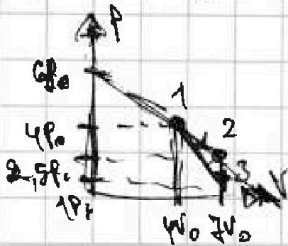


$mg \sin \alpha_1 - F_1 = ma_1$
 $N_1 - mg \cos \alpha_1 = 0$
 $N_2 - 4mg \cos \alpha_2 = 0$
 $4mg \sin \alpha_2 + F_2 = 4ma_2$

$P_1 \sin \alpha_1 - P_2 \sin \alpha_2 - F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 = 0$
 $mg \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - 4mg \cos \alpha_2 + F_3 = 0$
 $= (mg \sin \alpha_1 - ma_1) \cos \alpha_1 + (4ma_2 - 4mg \sin \alpha_2) \cos \alpha_2$
 $g \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - 4g \cos \alpha_2 = g \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - a_1 \cos \alpha_1 + 4a_2 \cos \alpha_2 - 4g \sin \alpha_2 \cos \alpha_2$
 $a_1 \cos \alpha_1 + 4g \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 = 4g \cos \alpha_2 + 4a_2 \cos \alpha_2$

1) ΔU_{23}

A_{23}
 $P_1 = 4P_0 \quad V_1 = 4V_0$
 $P_2 = 2.5P_0 \quad V_2 = 7V_0$
 $P_3 = P_0 \quad V_3 = 9V_0$



$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$
 $\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (P_3 V_3 - P_2 V_2) = \frac{3}{2} \nu R (P_3 - P_2) V_0$
 $A'_{23} = 0$
 $Q_{23} = \Delta U_{23} + A'_{23}$
 $Q_{31} = \Delta U_{31} + A'_{31}$
 $A'_{12} = P P \Delta V$
 $A'_{12} = \frac{3P_0 + 4P_0}{2} \cdot 3V_0$
 $A'_{31} = -\frac{P_0 + 4P_0}{2} \cdot 3V_0$
 $A_{23} = A'_{12} + A'_{31} = P_0 V_0 \left(\frac{3+4}{2} - \frac{3+4}{2} \right) = 0$
 $P = k \frac{V}{V_0} + b$
 $\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \frac{V}{V_0} + 6$
 $P = -\frac{1}{2} V_0 \frac{P}{P_0} + 6P_0$
 $P = -\frac{1}{2} V_0 \frac{P}{P_0} + 6P_0$
 $P = -\frac{P_0}{2} \frac{V}{V_0} + 6P_0$
 $P = -\frac{P_0}{2} \frac{V}{V_0} + 6P_0$
 $P = -\frac{P_0}{2} \frac{V}{V_0} + 6P_0$



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
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 непустима!

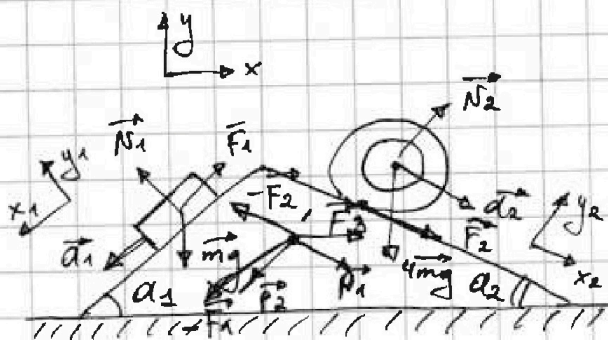
Дано: $a_1 = \frac{5g}{13}$, $a_2 = \frac{5g}{24}$,

$m, 4m,$

$\sin \alpha_1 = \frac{3}{5}$; $\sin \alpha_2 = \frac{5}{13}$

$\cos \alpha_1 = \frac{4}{5}$; $\cos \alpha_2 = \frac{12}{13}$

$F_1 - ?$ $F_2 - ?$ $F_3 - ?$



Решение:

1. $Ox_1: ma_1 = mgsin\alpha_1 - F_1$, $F_1 = mgsin\alpha_1 - ma_1$

$Ox_2: 4ma_2 = 4mgsin\alpha_2 + F_2$, $F_2 = 4ma_2 - 4mgsin\alpha_2$

2. По 3-ью закону Ньютона $N_1 = P_1$, $N_2 = P_2$.

3. $Oy_1: N_1 - mg\cos\alpha_1 = 0$; $Oy_2: N_2 - 4mg\cos\alpha_2 = 0$

$Ox: P_1\sin\alpha_1 - P_2\sin\alpha_2 - F_1\cos\alpha_1 - F_2\cos\alpha_2 = 0$

$mgsin\alpha_1\cos\alpha_1 - 4mgsin\alpha_2\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1(mgsin\alpha_1 - ma_1) -$
 $-\cos\alpha_2(4ma_2 - 4mgsin\alpha_2) + F_3 = 0$

$F_3 = 4mgsin\alpha_2\cos\alpha_2 + 4ma_2\cos\alpha_2 - 4mgsin\alpha_2\cos\alpha_2 -$
 $-md_1\cos\alpha_1 = 4ma_2\cos\alpha_2 - md_1\cos\alpha_1$

~~$F_3 = 4mgsin\alpha_2\cos\alpha_2 + 4ma_2\cos\alpha_2 - 4mgsin\alpha_2\cos\alpha_2 - md_1\cos\alpha_1$~~ $\Rightarrow F_1 = \frac{14}{65}mg = mg\left(\frac{3}{5} - \frac{5}{13}\right)$,

$F_2 = 4mg\left(\frac{5}{24} - \frac{5}{13}\right)$, $|F_2| = \frac{55}{78}mg$

Ответ: $F_1 = \frac{14}{65}mg$; $|F_2| = \frac{55}{78}mg$; $F_3 = \frac{10}{13}mg - \frac{4}{13}mg = \frac{6}{13}mg$

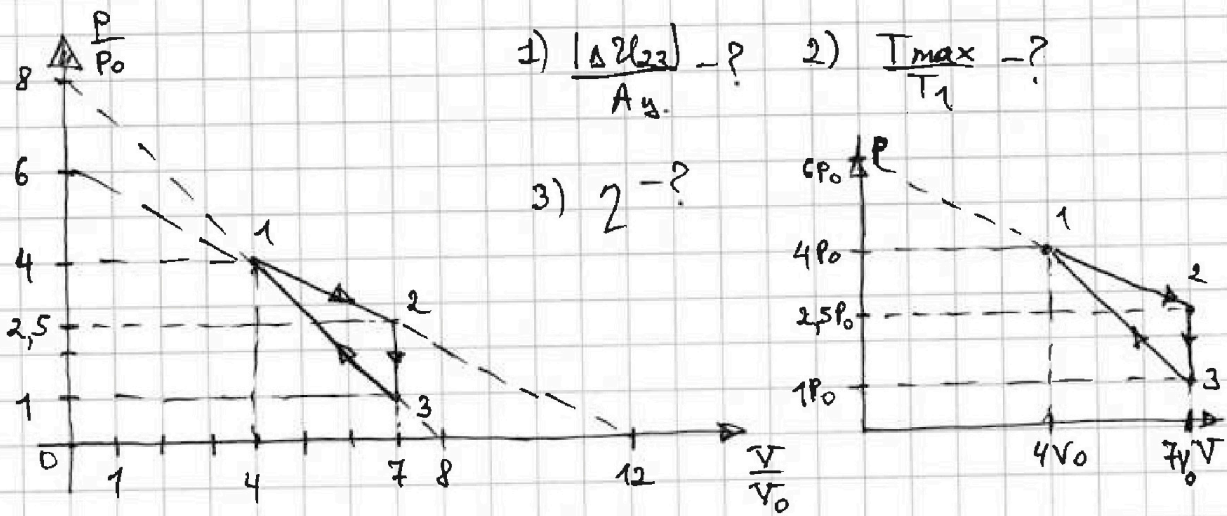
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
1 ИЗ 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) $\frac{|\Delta U_{23}|}{A_{ц}}$ - ? 2) $\frac{T_{max}}{T_1}$ - ?

3) η - ?

Решение: 1. $|\Delta U_{23}| = \frac{3}{2} |p_3 V_3 - p_2 V_2| = \frac{3}{2} \cdot 7V_0 \cdot 1,5P_0$

$A_{ц} = A_{12} + A_{31} = \frac{2,5P_0 + 4V_0}{2} \cdot 3V_0 - \frac{P_0 + 4P_0}{2} \cdot 3V_0$

$\frac{p}{P_0} = -\frac{1}{2} \frac{V}{V_0} + 6$, $p = -\frac{P_0}{2V_0} \cdot V + 6P_0$ т.е. та же прямая для 1-2.

$A'_{23} = 0$, т.к. $V_2 = V_3$.

$\Rightarrow A_{ц} = \frac{9}{4} P_0 V_0$, $\frac{|\Delta U_{23}|}{A_{ц}} = \frac{9}{4} \cdot 7 P_0 V_0 : \frac{9}{4} P_0 V_0 = 7$.

2. $\frac{T_{max}}{T_1} = \frac{\gamma R T_{max}}{\gamma R T_1} = \frac{(pV)_{max}}{16 P_0 V_0} = \frac{1}{16} \left(\frac{pV}{P_0 V_0} \right)_{max}$

1-2: $\frac{pV}{P_0 V_0} = \frac{p}{P_0} \cdot \frac{V}{V_0} = \left(-\frac{1}{2} \frac{V}{V_0} + 6 \right) \cdot \frac{V}{V_0} = -\frac{1}{2} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + 6 \frac{V}{V_0}$. Это парабола ветвящая вниз $\Rightarrow \left(\frac{pV}{P_0 V_0} \right)_{max}$ при $\frac{V}{V_0} = \frac{-6}{-1} = 6$. \Rightarrow

$\Rightarrow \left(\frac{pV}{P_0 V_0} \right)_{max} = \left(-\frac{1}{2} \cdot 6 + 6 \right) \cdot 6 = 18$, $\frac{T_{max}}{T_1} = \frac{18}{16} = \frac{9}{8}$.

3. $\eta = \frac{A_{ц}}{Q_{н.}} = \frac{9 P_0 V_0}{4 Q_{н.}}$ Это первая из задач термодинамики:



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!

$$Q_{12} = A_{12}' + \Delta Q_{12} = \frac{6,5 \cdot 3}{2} P_0 V_0 + \frac{3}{2} P_0 V_0 (17,5 - 16) > 0$$

$$Q_{23} = \frac{3 \cdot 7 P_0 V_0}{2} - \frac{9}{2} \cdot 2,5 \cdot 7 P_0 V_0 < 0$$

$$Q_{31} = -\frac{5 \cdot 3}{2} P_0 V_0 + \frac{3}{2} (16 P_0 V_0 - 7 P_0 V_0) > 0$$

$$\Rightarrow Q_H = Q_{12} + Q_{31} = \frac{3}{2} (1,5 + 6,5 + 4) = 18 P_0 V_0$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{9 P_0 V_0}{4 \cdot 18 P_0 V_0} = \frac{1}{8}$$

$$\text{Ответ: } \frac{|Q_{23}|}{A_{12}} = 7; \frac{T_{\max}}{T_1} = \frac{9}{8}; \eta = \frac{1}{8}.$$

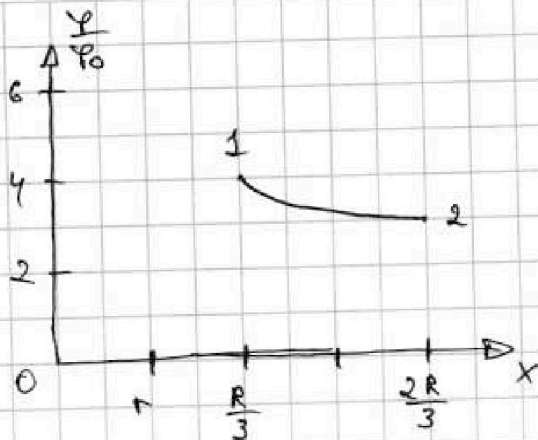
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1 2 3 4 5 6 7

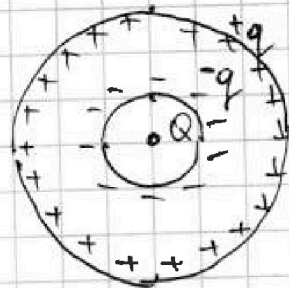
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!



Дано: r, R, Q, ϵ (для п.1)

Найти: $\varphi(\frac{R}{4}) - ?; \epsilon - ?$



Решение:

$$1. k \frac{Q}{x^2 \epsilon} = k \frac{Q}{x^2} - k \frac{q}{x^2}, \quad q = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} Q$$

$$\varphi(x) = k \frac{Q}{x} - k \frac{q}{x} + k \frac{q}{R}, \quad \varphi(\frac{R}{4}) = k \frac{4Q}{R} - k \frac{4Q(\epsilon - 1)}{\epsilon R} + k \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon R}$$

$$2. \varphi_1 = 4\varphi_0 = k \frac{3Q}{R} - k \frac{3Q(\epsilon - 1)}{\epsilon R} + k \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon R}$$

$$\varphi_2 = 3\varphi_0 = k \frac{3Q}{2R} - k \frac{3Q(\epsilon - 1)}{2\epsilon R} + k \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon R}$$

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{4}{3} = \frac{3Q - \frac{3Q(\epsilon - 1)}{\epsilon} + \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon}}{\frac{3Q}{2} - \frac{3Q(\epsilon - 1)}{2\epsilon} + \frac{Q(\epsilon - 1)}{\epsilon}}, \quad \epsilon = 4$$

$$6Q - 6Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} + 4Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} = 9Q - 9Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} + 3Q \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$$

$$\text{Ответ: } \varphi(\frac{R}{4}) = k \frac{Q}{R} (4 - \frac{4(\epsilon - 1)}{\epsilon} + \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}) = k \frac{Q}{R} (4 - \frac{3(\epsilon - 1)}{\epsilon});$$

$$\epsilon = 4.$$



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!

Дано: $L_1 = L$, $L_2 = 4L$, $n_1 = n$, $n_2 = 2n$, S

Найти: \dot{I} - ? ; I_k - ?

Решение:

$$1) \mathcal{E}_1 = -L_1 \dot{I} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\Delta B S n_1}{\Delta t} = -a S n_1$$

$$\dot{I} = \frac{a S n_1}{L_1}$$

$$2) \frac{dB_1 S n_1}{dt} = L_1 \frac{dI_1}{dt}, \quad \left(\frac{2B_0}{3} - B_0\right) S n_1 = L_1 I_1$$

$$\frac{dB_2 S n_2}{dt} = L_2 \frac{dI_2}{dt}, \quad \left(\frac{2B_0}{3} - 2B_0\right) S n_2 = L_2 I_2$$

$$|I_k| = |I_1 - I_2| = \left| \frac{4B_0}{3} \cdot \frac{S n_2}{L_2} - \frac{B_0 S n_1}{2L_1} \right|$$

$$\text{Ответ: } \dot{I} = \frac{a S n_1}{L_1}; \quad |I_k| = \left| \frac{4B_0 S n_2}{3L_2} - \frac{B_0 S n_1}{2L_1} \right|$$

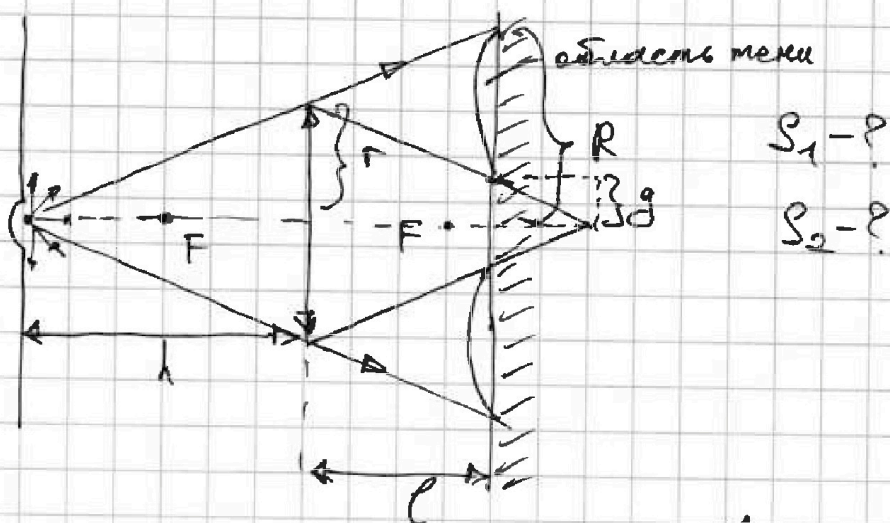


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

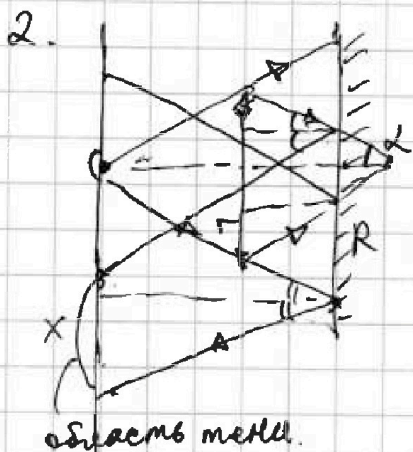
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Решение: $R = \sqrt{h^2 + l^2}$, $\frac{R}{r} = \frac{h}{h+l}$, $R = \left(\frac{3}{5}\right)^{-1} r = \frac{5}{3} r$

$$\frac{g}{r} = \frac{h-l}{h} = \frac{1}{3}, g = \frac{r}{3}, \Rightarrow R-g = \frac{5}{3}r - \frac{r}{3}$$

$$S_1 = \pi R^2 - \pi g^2 = \pi (R-g)(R+g) = \frac{8\pi r^2}{3} = 24\pi \text{ см}^2$$



$$2R - (h+l) \tan \alpha + g = x$$

$$\tan \alpha = \frac{r}{h}$$

$$x = \frac{10}{3}r - \frac{5r}{3} + \frac{r}{3} = \frac{6r}{3} = 2r$$

$$S_2 = 4\pi R^2 - \pi (2R-2r)^2 = 4\pi \left(R - \frac{2r}{3}\right) \cdot$$

$$\cdot \left(R + \frac{2r}{3}\right) = 4\pi \cdot \frac{7r^2}{3} = 28 \cdot \frac{2\pi}{3} \cdot 9 \text{ см}^2 =$$

$$= 84\pi \text{ см}^2$$

Ответ: $S_1 = 24\pi \text{ см}^2$; $S_2 = 84\pi \text{ см}^2$.



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!

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \alpha$$

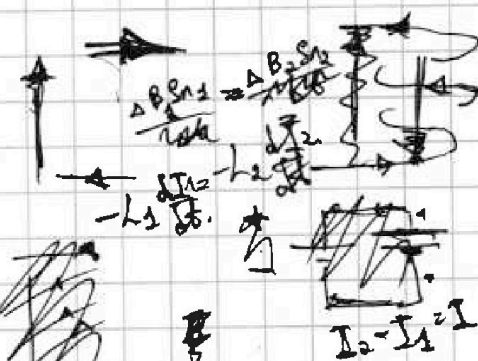
$$\epsilon_1 = -\frac{d\Phi}{dt} = -L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

$$I_1 = \frac{\Delta B S n_1}{L_1}$$

$$L_1: B_0 \rightarrow B_0/2 \quad \Delta t$$

$$L_2: 2B_0 \rightarrow 2B_0/3 \quad \Delta t$$

$$\epsilon_2 = -\frac{d\Phi_2}{dt} = -L_2 \frac{dI_2}{dt}$$

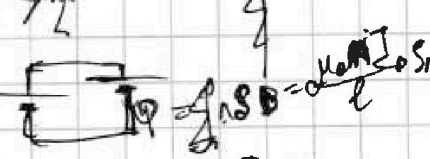


$$20 \text{ mV} \left(\frac{13 \cdot 24}{13 \cdot 24} \right)$$

$$5 \text{ mV} \left(\frac{17}{13 \cdot 24} \right)$$

$$5 \text{ mV} \left(\frac{24}{13} \right)$$

$$5 \text{ mV} \left(\frac{10}{13} \right)$$



$$BL = \mu_0 n I$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu_0 n^2 I b}{l}$$

$$\frac{\Delta B_1 S n_1}{\Delta t} = \frac{\Delta B_2 S n_2}{\Delta t} = -L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

$$\Delta B_1 n_1 = \Delta B_2 n_2$$

$$(2B_0/3 - 2B_0) S n_2 = -L_2 I_2$$

$$I = I_1 - I_2$$

$$\frac{dB_1 S n_1}{dt} = \mu_0 L_1 \frac{dI_1}{dt}$$

$$(B_0/2 - B_0) S n_1 = -L_1 I_1$$

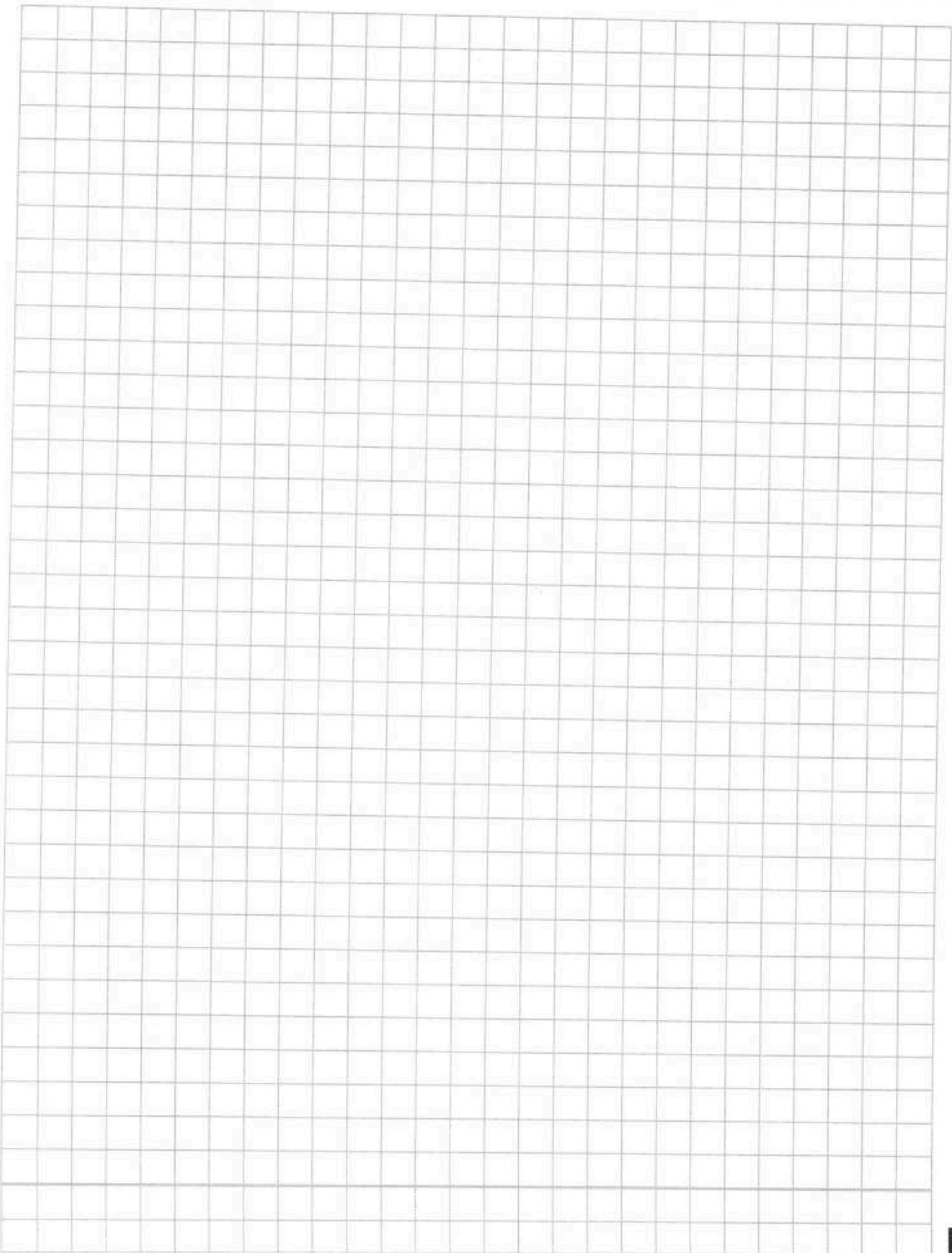


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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
<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!

