

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 11-04

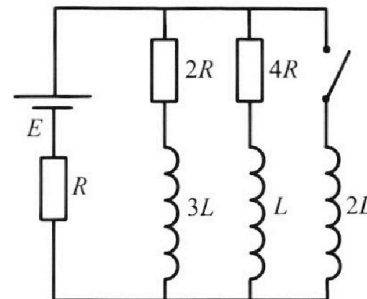
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



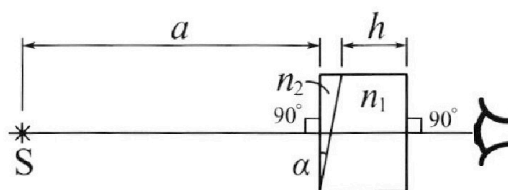
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 1) Найти ток I_{20} через резистор с сопротивлением $4R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью $2L$ сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением $4R$ при замкнутом ключе?

Ответы давать с числовыми коэффициентами в виде обыкновенных дробей.



5. Оптическая система состоит из двух призм с показателями преломления n_1 и n_2 и находится в воздухе с показателем преломления $n_v = 1,0$. Точечный источник света S расположен на расстоянии $a = 100$ см от системы и рассматривается наблюдателем так, что источник и глаз наблюдателя находятся на прямой, перпендикулярной наружным поверхностям призм (см. рис.). Угол $\alpha = 0,1$ рад можно считать малым, толщина $h = 14$ см. Толщина призмы с показателем преломления n_2 на прямой «источник – глаз» намного меньше h . Отражения в системе не учитывать.



- 1) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая $n_1 = n_v = 1,0$, $n_2 = 1,7$, найдите расстояние между источником и его изображением, которое будет видеть наблюдатель.
- 3) Считая $n_1 = 1,4$, $n_2 = 1,7$, найдите на каком расстоянии от источника будет его изображение, которое увидит наблюдатель.



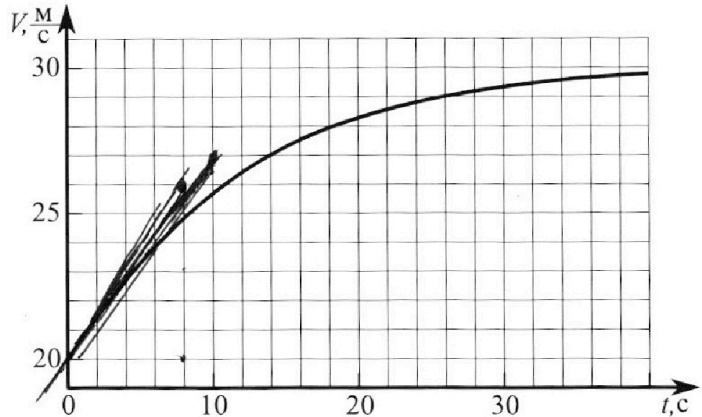
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 11-04



Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

1. Мотоциклист массой (вместе с мотоциклом) $m = 240$ кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги так, что мощность, передаваемая от двигателя на ведущее колесо, остается постоянной. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила сопротивления движению равна $F_k = 200$ Н.



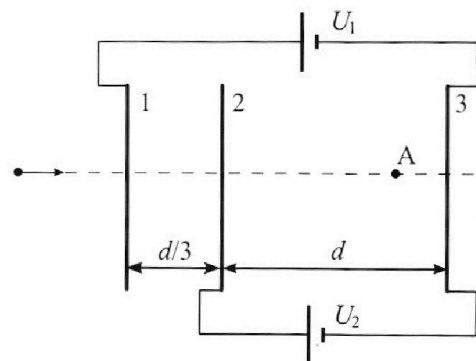
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению F_0 в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность числа нного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объемом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится углекислый газ, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при комнатной температуре T_0 . При этом жидкость занимала объём $3V/8$. Затем цилиндр медленно нагрели до $T = 4T_0/3 = 373$ К. Установившийся объём его верхней части стал равен $V/8$.

По закону Генри, при заданной температуре количество Δv растворённого газа в объёме жидкости w пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = kpw$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $RT \approx 3 \cdot 10^3$ Дж/моль, где R - универсальная газовая постоянная. Давлением водяных паров при комнатной температуре и изменением объёма жидкости в процессе нагревания пренебречь. Все газы считать идеальными.

- Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- Определите начальное давление в сосуде P_0 . Ответ выразить через $P_{\text{атм}}$ (нормальное атмосферное давление) с числовым коэффициентом в виде обыкновенной дроби.

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях d и $d/3$ (см. рис.). Размеры сеток значительно больше d . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением $U_1 = 5U$ и $U_2 = U$. Частица массой m и зарядом $q > 0$ движется по направлению к сеткам и перпендикулярно сеткам, имея скорость V_0 на расстоянии от сеток, намного большем их размеров. Частица пролетает через сетки, не отклоняясь от прямолинейной траектории. Заряд q намного меньше модуля зарядов сеток.



- Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 2 и 3.
- Найти разность $K_3 - K_2$, где K_2 и K_3 — кинетические энергии частицы при пролете сеток 2 и 3.
- Найти скорость частицы в точке А на расстоянии $3d/4$ от сетки 2.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



2-й 3-й Ньютона:

$$-F_{\text{центр}} + F_{\text{тяж}} = ma$$

a - угол наклона кривой $v(r)$ в точке K_1

в покое резонанс $a = \frac{g}{c^2} \frac{M}{c^2}$ (Находим, проводя касательную)

$$1) a = \frac{1}{2} \frac{M}{c^2} = 0,45 \frac{M}{c^2}$$

$F_{\text{тяж}} = F_{\text{резонанс в покое}}$, т.к. $a \ll 1$.

$$F_{\text{тяж}} = 200 \text{ Н}$$

$$2) F_{\text{центр в покое}} = F_{\text{тяж}} - ma = 200 \text{ Н} - 240 \cdot \text{Н} \cdot \frac{3}{4} = 20 \text{ Н}$$

$$3) \eta = \frac{F_{\text{центр в покое}} \cdot v}{F_{\text{тяж}} \cdot v} =$$

$$\eta = \frac{F_{\text{центр в покое}}}{F_{\text{тяж}}} = \frac{20 \text{ Н}}{200 \text{ Н}} = 0,1$$

Ответ: 1) $0,45 \frac{M}{c^2}$; 2) 20 Н; 3) 0,1.

1/8

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\frac{\partial_2}{\partial_1'} = \frac{\frac{5}{8}V - V_x}{V_x} ; V_x = \frac{1}{8}V, \text{ и. } \frac{3}{8}V + C_x = \frac{V}{2}$$

$$\partial_1 = \partial_1' + R V_x \rho = \partial_1' (1 + R T_0 K)$$

$$1) \frac{\partial_2}{\partial_1'} = \frac{\frac{5}{8} - \frac{1}{8}}{\frac{1}{8}} = 4$$

$$2) \frac{\partial_2}{\partial_1} = \left(1 - \frac{P_{\text{min}}}{P'}\right) \cdot 4 = \frac{\partial_2}{\partial_1'} \frac{1}{1 + R T_0 K} = 4 \frac{1}{1 + R T_0 K}$$

$$P' = \left(4 \left(1 - \frac{1}{1 + R T_0 K}\right)\right) / \frac{1}{P_{\text{min}}} =$$

$$= P_{\text{min}} \cdot \frac{1}{4 \left(1 - \frac{1}{1 + R T_0 K}\right)} = P_{\text{min}} \frac{1 + R T_0 K}{4 R T_0 K} =$$

$$= \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4 R T_0 K}\right) P_{\text{min}} = \left(\frac{1}{4} + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{4 R T_0 K}\right) P_{\text{min}} =$$

$$= \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1,8}\right) P_{\text{min}} = \left(\frac{1}{4} + \frac{5}{27}\right) P_{\text{min}} =$$

$$= \frac{44}{108} P_{\text{min}}$$

Ответ: 1) 4, 2) $\frac{44}{108} P_{\text{min}}$

$$\frac{\partial_2}{\partial_1} = \left(1 - \frac{P_{\text{min}}}{P'}\right) \cdot 4 \Rightarrow P' = P_{\text{min}} \left(\frac{1}{1 - \frac{K R T_0 + 1}{16}}\right) =$$

$$= \frac{320}{243} P_{\text{min}} ; P_0 = \frac{P'}{4} = \frac{80}{243} P_{\text{min}} \quad 3/8$$

Ответ: 1) 4; ~~$\frac{320}{243} P_{\text{min}}$~~ $\frac{80}{243} P_{\text{min}}$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



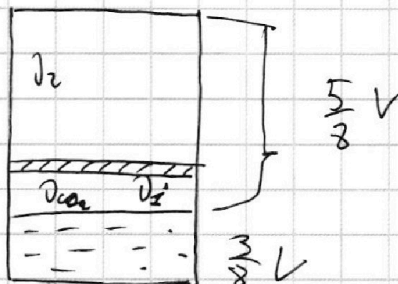
Исходно:

$$p_1' R T_0 = p V_x$$

$$p_2 R T_0 = p \left(V - \frac{3}{8} V - V_x \right)$$

$$\frac{p_2}{p_1'} = \frac{\frac{5}{8} V - V_x}{V_x} \quad (1)$$

Исходно:



После нагревания:

$$p_1' R T = (p_1' - p) \frac{V}{2}$$

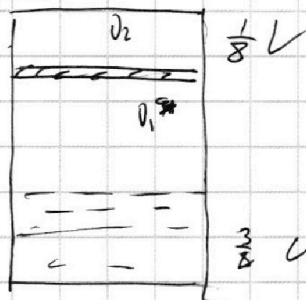
$$p_2 R T = p' \frac{V}{8}$$

3-й (Барн)

$$p_1 = k p V_x, \quad p_1' = k p' \frac{V}{2}$$

$$p_1 R T_0 = p V_x$$

После нагрева:



$$p_{\text{атм}}(T) = p_{\text{атм}}(100^\circ\text{C}) = 101325 \text{ Па} = p_{\text{атм}}$$

← известная величина.

$$\frac{p_2}{p_1'} = \frac{\frac{5}{8} V - k p R T_0}{k p R T_0}$$

$$k p V_x R T_0 = p V_x$$

$$p_1' = p_2 = k p V_x$$

$$(p_2 - p_1) R T = p_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{2}, \quad 4 p_2 - p_1 = \frac{2 p_{\text{атм}}}{R T}$$

$$4 p_2 - p_1' - k p V_x = \frac{2 p_{\text{атм}}}{R T}, \quad 4 p_2 - p_1' = \frac{2 p_{\text{атм}}}{R T} + k p V_x$$

2/8

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

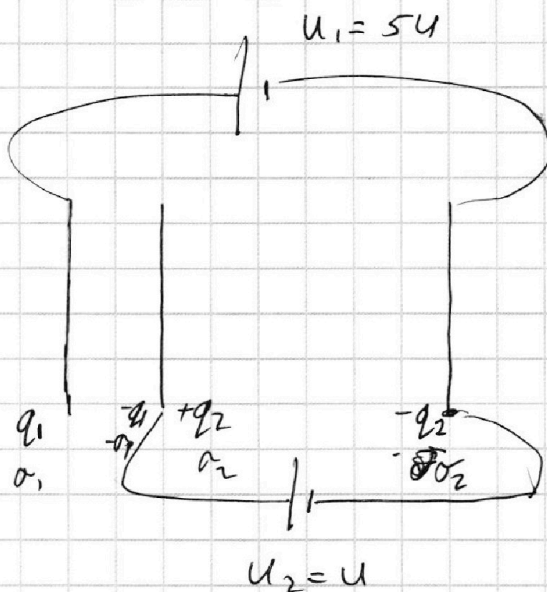


Представим таблицу в виде 2 конденсаторов:

$$\frac{\sigma_1}{\epsilon_0} \cdot \frac{d}{3} = 5U + \frac{\sigma_2}{\epsilon_0} d = 5U$$

$$\frac{\sigma_2}{\epsilon_0} d = U$$

$$\frac{\sigma_1}{\epsilon_0} \frac{d}{3} = 4U$$



$$E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0} = 12U/d; E_2 = \frac{\sigma_2}{\epsilon_0} = \frac{U}{d}$$

$$1) a_{23} = \frac{U}{dm} g = \frac{Ug}{md}$$

$$2) k_3 - k_1 = E_2 g \cdot d = Ug$$

3) З.С.Э.

$$\frac{mV_0^2}{2} = -\frac{mV_A^2}{2} + \frac{d}{3} \cdot \frac{12U}{d} g + \frac{3}{4} d \frac{U}{d} g = -\frac{mV_A^2}{2} + 4,75Ug$$

$$V_A = \sqrt{V_0^2 + 9,5 \frac{U}{m} g}$$

Ответ: 1) $\frac{Ug}{md}$; 2) Ug ; 3) $\sqrt{V_0^2 + 9,5 \frac{U}{m} g}$

4/8

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

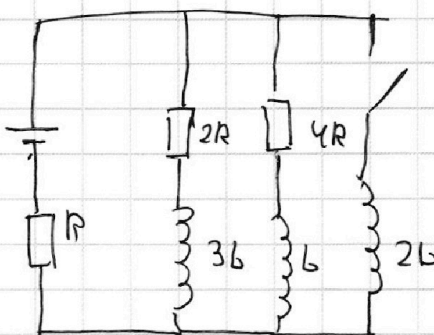
 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$1) \bar{I}_{\text{то}} = \frac{1}{3} I_{\text{тоу}} = \frac{3}{14} \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot \frac{1}{3} = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$I_{\text{тоу}} = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{8R}{6}} =$$

$$= \frac{\mathcal{E}}{R} \frac{1}{1 + \frac{4}{3}} = \frac{3}{7} \frac{\mathcal{E}}{R}$$



$$2) 2L \dot{I} \neq I_{\text{тоу}} R = \mathcal{E}$$

$$\dot{I} = \frac{\mathcal{E}}{4L} \quad I = \left(\mathcal{E} - \frac{3}{7} \mathcal{E} \right) \frac{1}{2L} = \frac{2}{7} \frac{\mathcal{E}}{L}$$

$$3) R I_{\text{тоу}} + L \dot{I}' + 4R I = \mathcal{E}$$

$$R I_{\text{тоу}} + 2L \dot{I} = \mathcal{E}$$

$$L \dot{I}' + 4R I = 2L \dot{I}$$

$$L \Delta I' + 4R q = 2L \Delta I$$

$$L \left(0 - \frac{1}{7} \frac{\mathcal{E}}{R} \right) + 4R q = 2L \frac{\mathcal{E}}{R}$$

$$q = \frac{31}{56} \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Ответы: 1) $\frac{1}{4} \frac{\mathcal{E}}{R}$; 2) $\frac{2}{7} \frac{\mathcal{E}}{L}$; 3) $\frac{15}{28} \frac{\mathcal{E}L}{R^2}$

5/8

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

$$\begin{aligned} 3) n' &= d(n_2 - n_1) \left(1 + h \left(1 - \frac{1}{n_1} \right) \right) = \\ &= 0,1 \cdot (0,3) \left(100 \text{ см} + 14 \text{ см} \left(1 - \frac{1}{14} \right) \right) = \\ &= 3 \cdot 10^{-2} (100 + 14 - 10) \text{ см} = \\ &= 312 \cdot 10^{-2} \text{ см} = \underline{3,12 \text{ см}} \end{aligned}$$

Ответ: 1) 0,04
2) 4 см
3) 3,12 см

8/8

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

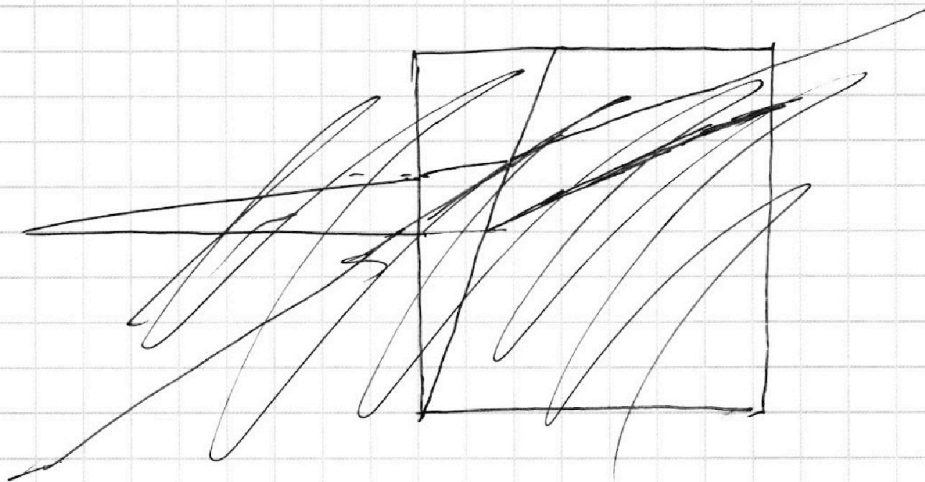
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$z = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) + \delta \frac{1}{n_1}$$



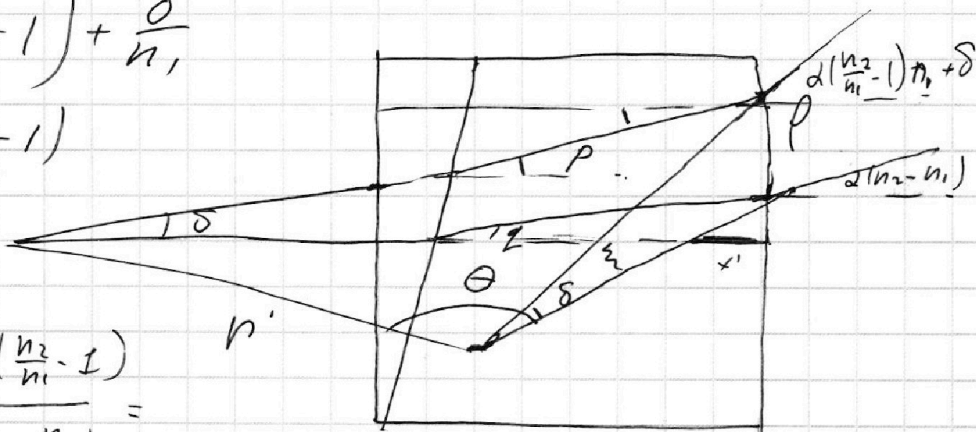
$$p = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) + \frac{\delta}{n_1}$$

$$q = d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right)$$

$$p = h \cdot \frac{\delta}{n_1}$$

$$x' = \frac{h \left(d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \right)}{2(n_2 - n_1)} =$$

$$= \frac{h}{n_1}$$



$$\theta = 180^\circ - (90^\circ - p) = 90^\circ + p$$

7. условие

$$\frac{n'}{\sin(d(n_2 - n_1))} = \frac{a + h - \frac{h}{n_1}}{\cos p} \quad p < 45^\circ, \text{ тогда}$$

$$n' = 2(n_2 - n_1) \left(a + h \left(1 - \frac{1}{n_1} \right) \right) \quad \frac{4}{8}$$

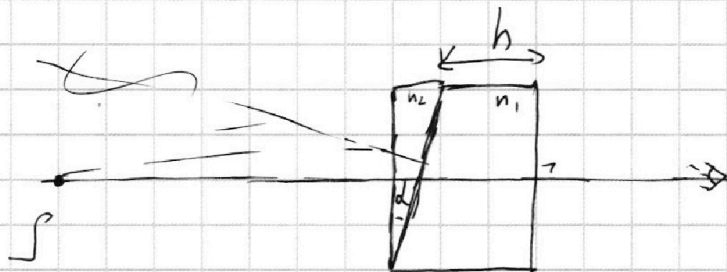
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

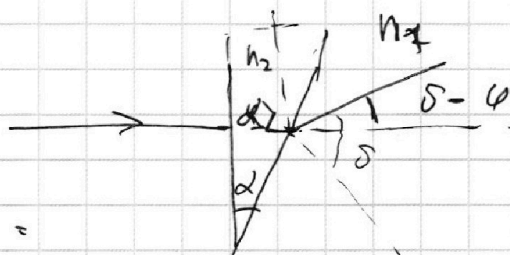


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$n_2 \delta = n_1 \delta$$

$$\delta - \alpha = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \alpha$$

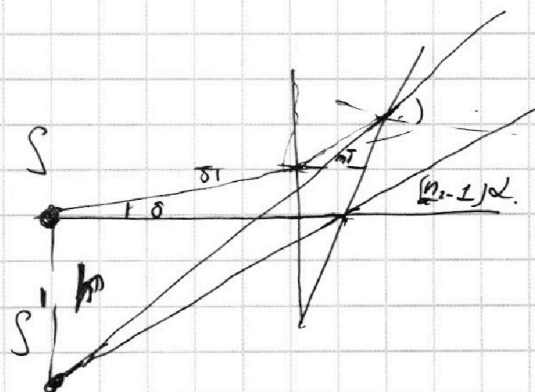


$$1) \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \alpha = 0,4 \cdot 0,1 = 0,04$$

$$2) n_1 = n_2 = 1$$

$$(n_2 - 1) \alpha \cdot a = r$$

$$r = (n_2 - 1) \alpha \cdot a = 4 \text{ см}$$

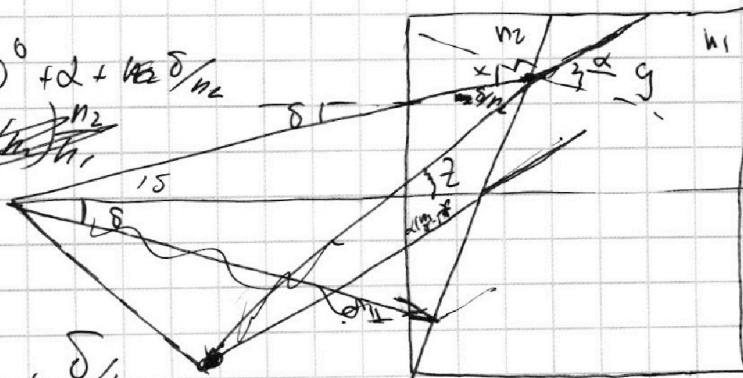


$$3) \alpha = 90^\circ = 90^\circ + \alpha + \frac{1}{n_2} \delta$$

$$x = d + \frac{\delta}{n_2}$$

$$y = d \frac{n_2}{n_1} + \frac{\delta}{n_1}$$

угол поворота $d \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) + \delta \left(\frac{1}{n_1} - 1 \right)$



6/8



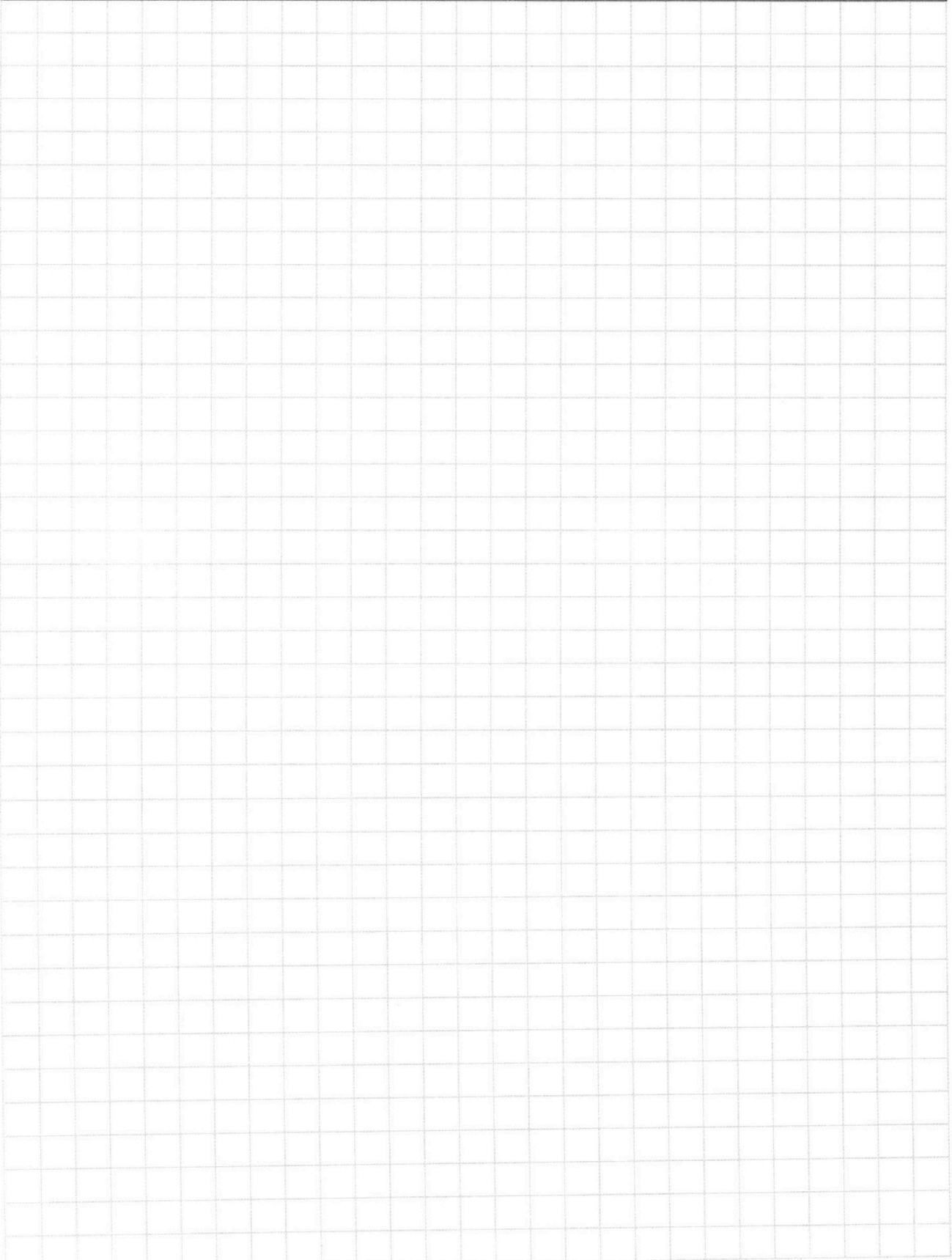
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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"/>



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





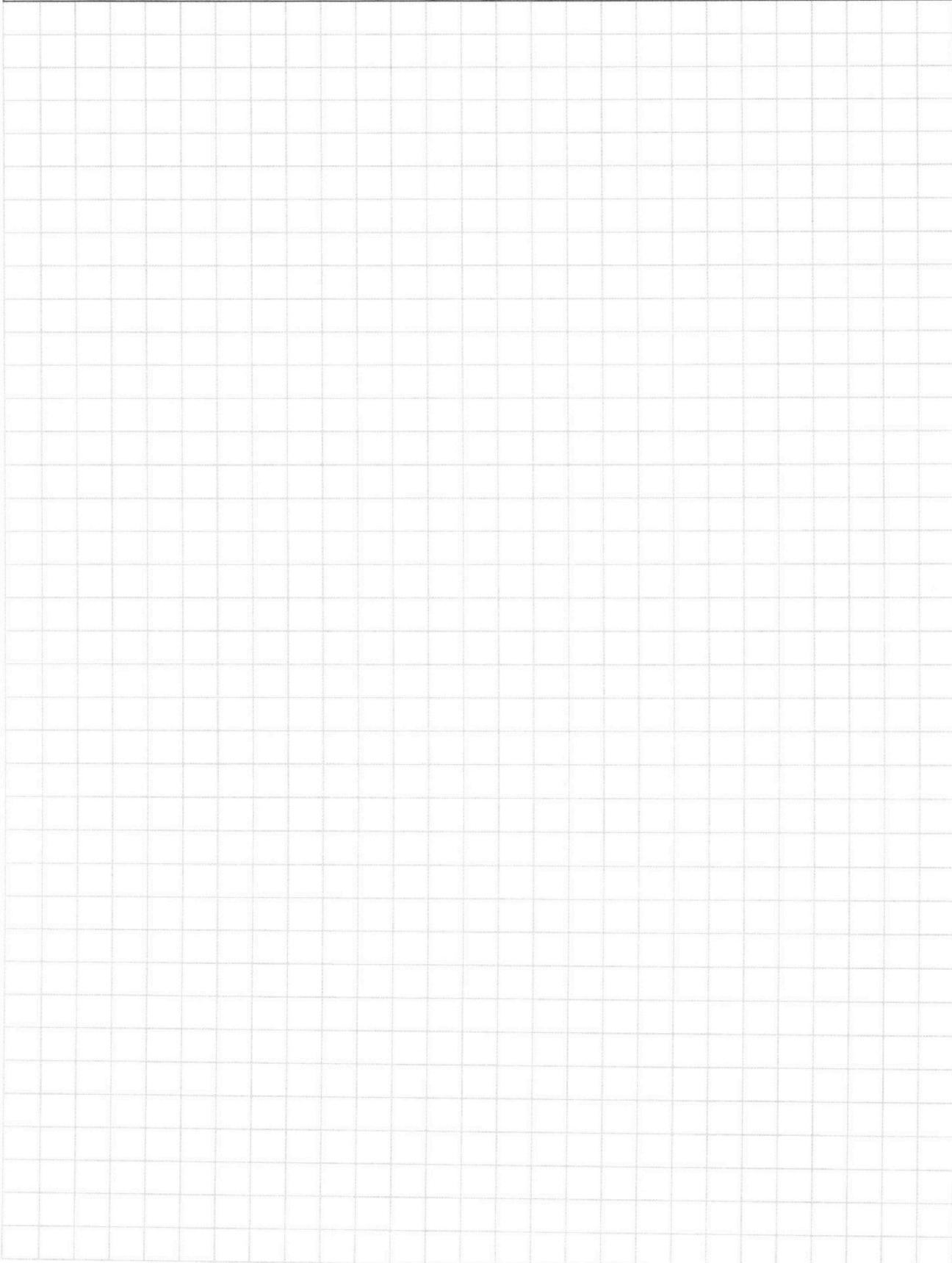
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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"/>



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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"/>

МФТИ

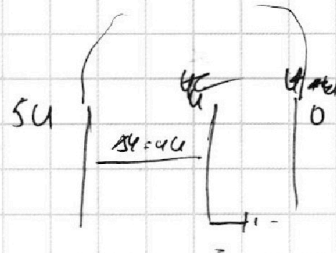
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$D_1 RT = (P' - P_{\text{ном}}) \frac{V}{2}$$

$$D_2 RT = P' \frac{V}{8}$$

$$\frac{1}{4} \frac{D_1}{D_2} = 1 - \frac{P_{\text{ном}}}{P'}$$



$$P' = P_{\text{ном}} \frac{1}{1 - \frac{1}{16} (1 + KR T_0)}$$

$$q_0 = \frac{3}{5}$$

$$KR T_0 = \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} = \frac{27}{20} = \frac{27}{20}$$

$$1 - \frac{44}{20 \cdot 16} = \frac{320 - 44}{320} =$$

$$= \frac{276}{320}$$

$$\frac{8R}{6} + R = \left(\frac{4}{3} + 1\right)R = \frac{7R}{3}, \quad I_0 = \frac{3}{4} \frac{P}{R}$$

$$\frac{P}{4R}$$

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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"/>

 МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

Через все ϕ

$$p \frac{V}{8} = D_1' RT_0$$

$$p \cdot \frac{V}{2} = D_2 RT_0$$

$$\frac{D_2}{D_1'} = 4$$

$$D_1 = D_1' + k p \frac{V}{8} = D_1' (1 + k RT_0)$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{p' - p_{\text{атм}}}{p'}$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{p' - p_{\text{атм}}}{p'}$$

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{p' - p_{\text{атм}}}{p'} \cdot 4 = \frac{p'}{4} \left(1 - \frac{p_{\text{атм}}}{p'} \right) 4 = \frac{1 + k RT_0}{4}$$

$$p' = \left(1 - \frac{1 + k RT_0}{16} \right) \frac{1 - p_{\text{атм}}}{p'} = \frac{1 + k RT_0}{16}$$