



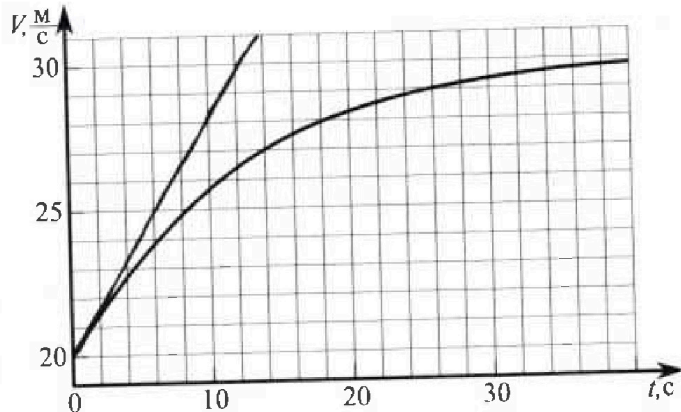
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.



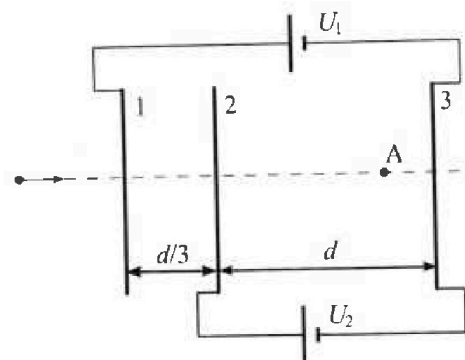
- Используя график, найти ускорение мотоцикла в начале разгона.
- Найти силу сопротивления движению  $F_0$  в начале разгона.
- Какая часть мощности, передаваемой на ведущее колесо, идет на преодоление силы сопротивления движению в начале разгона? Требуемая точность численного ответа на первый вопрос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

2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом  $V$  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  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости и 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/(м<sup>3</sup>·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.



Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023



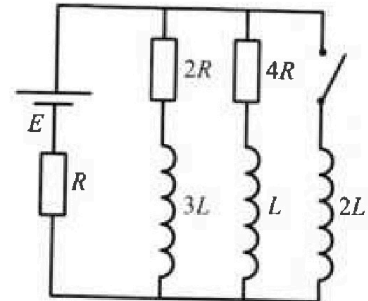
Вариант 11-04

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

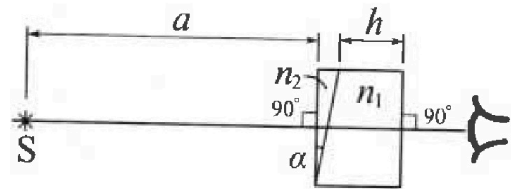
4. Параметры цепи указаны на схеме, все элементы идеальные. Ключ разомкнут, режим в цепи установился. Затем ключ замыкают.

- 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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

МФТИ



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!

Построим касательную к графику  $v(t)$  в точке  $t=0$ , угловой коэффициент касательной будет равен ускорению мотоцикла в начале разгона  $a_0$ .

$a_0 = \frac{5}{6} \text{ м/с}^2$  ЗСЭ для мотоциклиста с мотоциклом:

$$P dt = d\left(\frac{mv^2}{2}\right) + v F_c dt = mV dV + F_c dt V$$

$$P = mVa + F_c v \quad F_c - \text{сила сопротивления}$$

$P$  - мощность двигателя  $v$  в конце разгона  $a=0$ :

$$P = F_k v_k \quad v_k - \text{скорость в конце разгона}$$

$$\text{В начале разгона: } P = mV_0 a_0 + F_c V_0$$

$V_0$  - скорость в начале разгона  $F_c$  - сила сопротивления в начале разгона

$$F_c = \frac{P}{V_0} - ma_0 = F_k \frac{v_k}{V_0} - ma_0 = 200 \cdot \frac{30}{20} - 240 \cdot \frac{5}{6} =$$

$$= 300 - 200 = 100 \text{ Н} \quad \eta - \text{доля мощности двигателя идущая на преодоление силы сопротивления в начале разгона}$$

$$\eta = \frac{F_c V_0}{P} = \frac{F_c v_k}{F_k v_k} = \frac{100 \cdot 20}{200 \cdot 30} = \frac{2000}{6000} = \frac{1}{3}$$

Ответ:  $\frac{5}{6} \text{ м/с}^2$ ;  $100 \text{ Н}$ ;  $\frac{1}{3}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

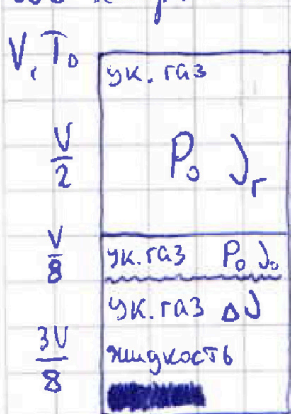
- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

До нагревания:

После нагревания:



$$\eta = \frac{J_\Gamma}{J_0} = \frac{\frac{V}{2}}{\frac{V}{8}} = \frac{4V}{V} = 4$$

На схемах показаны, какая величина что обозначает



$$P \frac{V}{8} = J_\Gamma RT$$

$$P = \frac{J_\Gamma RT}{V/2} + P_{atm}$$

$$J = J_0 + \Delta J$$

$$P \frac{V}{2} = J_0 RT + \Delta J RT +$$

$$+ P_{atm} \frac{V}{2} = 4 J_\Gamma RT$$

$$\frac{P_0}{6} + \frac{3kRT P_0}{8} + \frac{P_{atm}}{2} = \frac{8P_0}{3}$$

$$\frac{P_0}{2} + \frac{9kRT P_0}{8} + \frac{3P_{atm}}{2} = 8P_0$$

$$4P_0 + 9kRT P_0 + 12 P_{atm} = 64 P_0$$

$$\alpha = \frac{4}{20 - 3 \cdot \frac{3}{5} \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^8} = \frac{4}{20 - \frac{27}{5}}$$

$$= \frac{20}{100 - 27} = \frac{20}{73}$$

Ответ:  $4; \frac{20}{73} P_{atm}$

$$\frac{P_0 V}{8T_0} T + k P_0 \frac{3V}{8} RT + P_{atm} \frac{V}{2} =$$

$$= \frac{P_0 V}{2T_0} \cdot 4T \quad T = \frac{4}{3} T_0 \quad \frac{T}{T_0} = \frac{4}{3}$$

$$P_0 = P_{atm} \frac{12}{60 - 9kRT} = \alpha$$

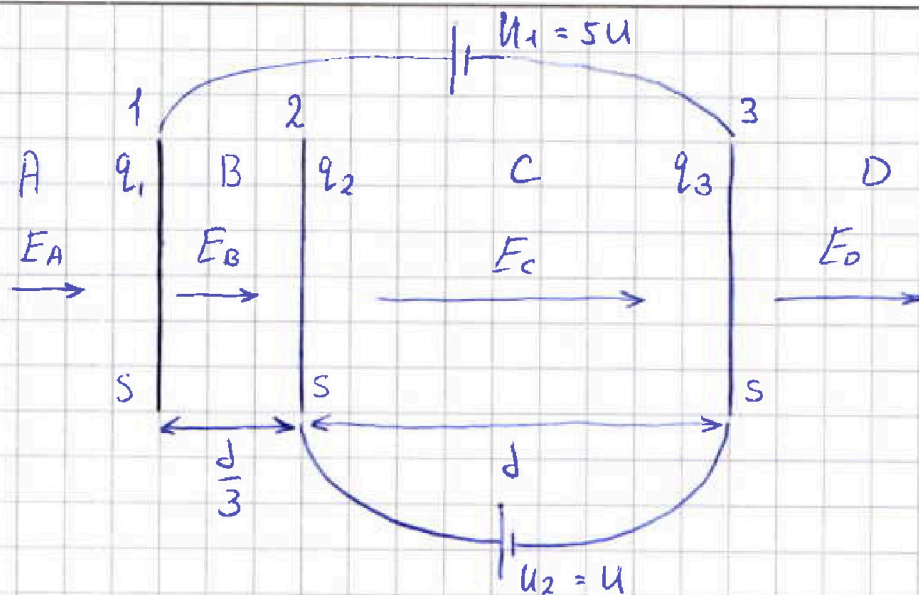
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



Разобьем все пространство на области A, B, C и D

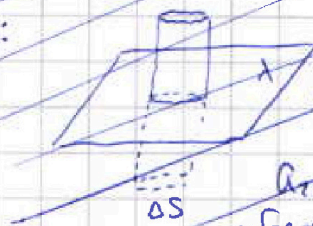
$E_A, E_B, E_C$  и  $E_0$  - электрические поля в областях A, B, C и D соответственно

$q_1, q_2$  и  $q_3$  - заряды сетки 1, 2 и 3 соответственно

~~Будем считать большую плоскость длиной сетки бесконечной плоскостью. Находим выражение для поля бесконечной плоскости:~~

~~По теореме Гаусса:~~

~~$$2E\Delta S = \frac{\lambda\Delta S}{\epsilon_0} \quad E = \frac{\lambda}{2\epsilon_0}$$~~



~~$\lambda$  - поверхностная плотность заряда~~

~~$a_{23}$  - ускорение электрона в области между сетками 2 и 3~~

$$E_C = \frac{U}{d} \quad E_C q = m a_{23} = \frac{qU}{d} \quad a_{23} = \frac{qU}{md}$$

$$U_3 - U_2 = E_C q d = U q$$

Ответ:  $\frac{qU}{md}; qU; -$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

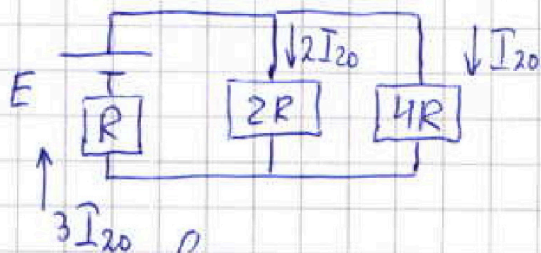
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



В установившемся режиме  $\frac{dI}{dt} = 0$ , поэтому напряжения на катушках равны 0.



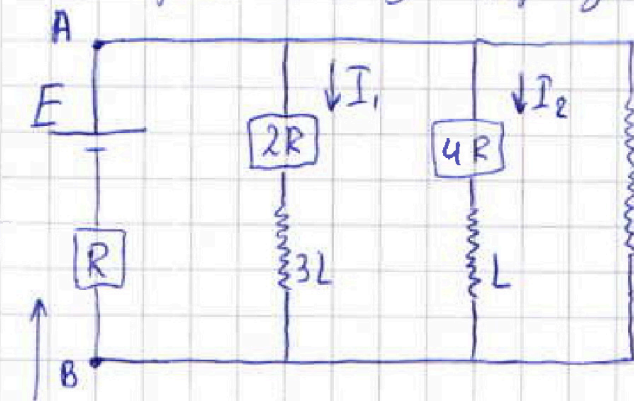
$$E = 3I_{20}R + 4I_{20}R$$

$$I_{20} = \frac{E}{7R}$$

Сразу после замыкания ключа ток не успеет измениться, поэтому напряжение на катушке  $2L$  равно  $\frac{4}{7}E$

$$\frac{4}{7}E = 2L \dot{I}_2 \quad \dot{I}_2 = \frac{dI_2}{dt} = \frac{2E}{7L}$$

Рассмотрим схему в произвольный момент времени:



$$\varphi_A - \varphi_B = E - (I_1 + I_2 + I_3)R$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 2I_1R + 3L \frac{dI_1}{dt}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 4I_2R + L \frac{dI_2}{dt}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = 2L \frac{dI_3}{dt}$$

$$I_1 + I_2 + I_3$$

$$2L \frac{dI_3}{dt} = 4I_2R + L \frac{dI_2}{dt}$$

$$2L dI_3 = 4R I_2 + L dI_2$$

$$2L \frac{E}{R} = 4R I_2 + L(0 - I_{20}) \quad 2LE = 4R^2 I_2 - \frac{1}{7}LE$$

$$4R^2 I_2 = \frac{15}{7}LE \quad I_2 = \frac{15LE}{28R^2}$$

Ответ:  $\frac{E}{7R}$ ;  $\frac{2E}{7L}$ ;  $\frac{15LE}{28R^2}$

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

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

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

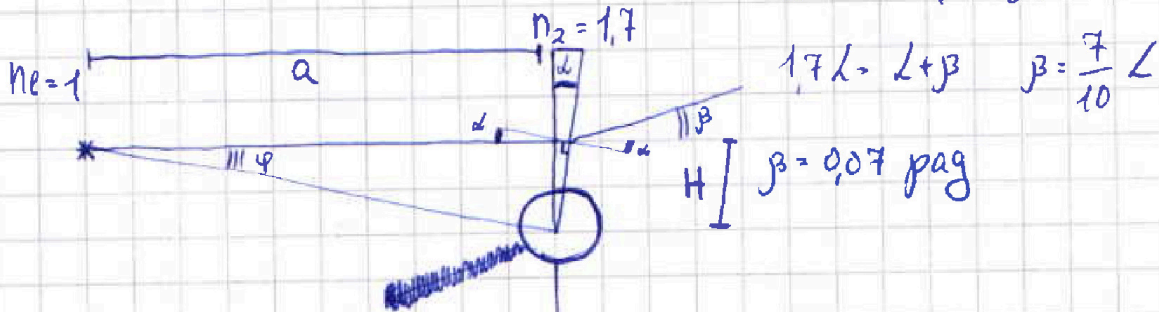


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Поря QR-кода недопустима!



Для пунктов 1 и 2:

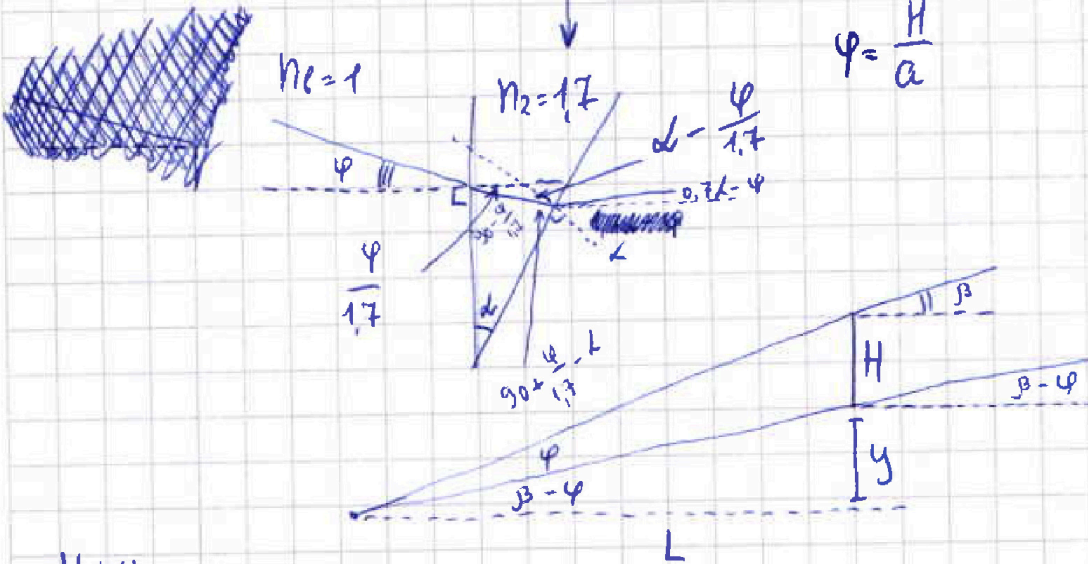
$$n_2 d = n_1 (d + \beta)$$



$$1.7L = L + \beta \quad \beta = \frac{7}{10} L$$

$$\beta = 0.07 \text{ рад}$$

$$\varphi = \frac{H}{a}$$



$$\frac{H+y}{L} = \beta$$

$$\frac{y}{L} = \beta - \varphi$$

$$\frac{H}{L} + \beta - \varphi = \beta$$

$$\frac{H}{L} = \varphi = \frac{H}{a} \quad L = a$$

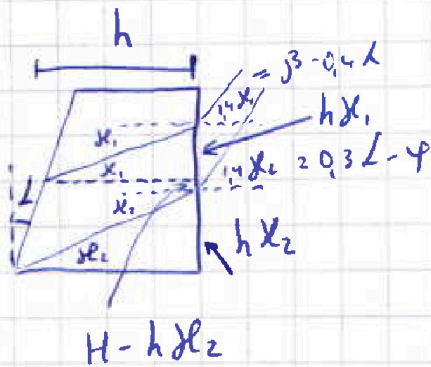
⇒ Расстояние между источником и изображением равно 0

Для пункта 3:

$$n_1 = 1, \quad n_2 = 1.4$$

$$\frac{\beta + d}{1.4} = \frac{L + \beta}{1.4} = \chi_1$$

$$\frac{1.7L - \varphi}{1.4} = \frac{0.3L - \varphi}{1.4} = \chi_2$$



$$H = h \chi_2$$





На одной странице можно оформлять только одну задачу.

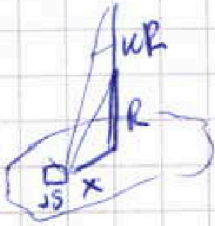
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



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!



$\alpha:$

$1:$

$$dR = \frac{dS}{\cos \alpha \sqrt{x^2 + R^2}}$$



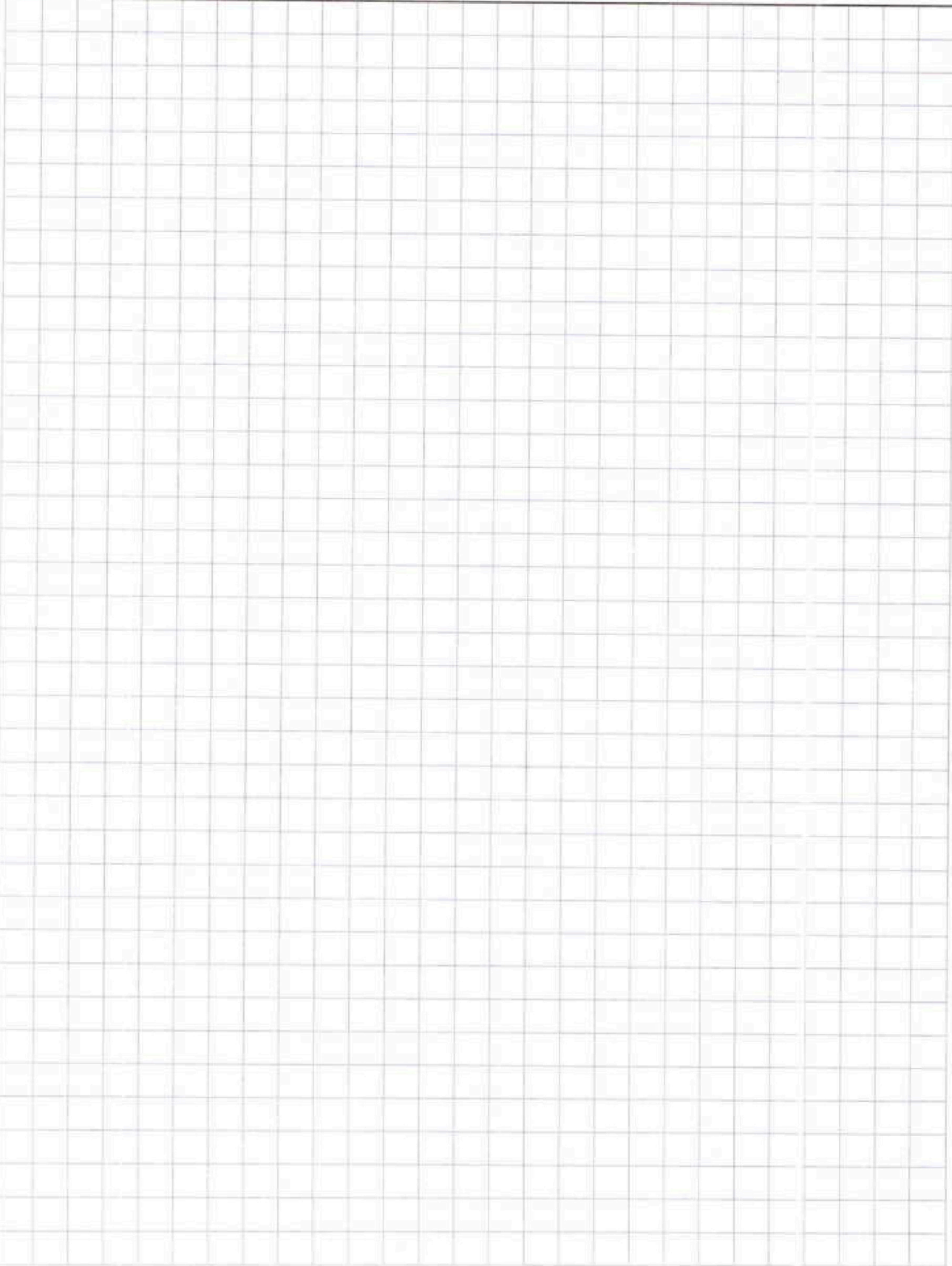
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



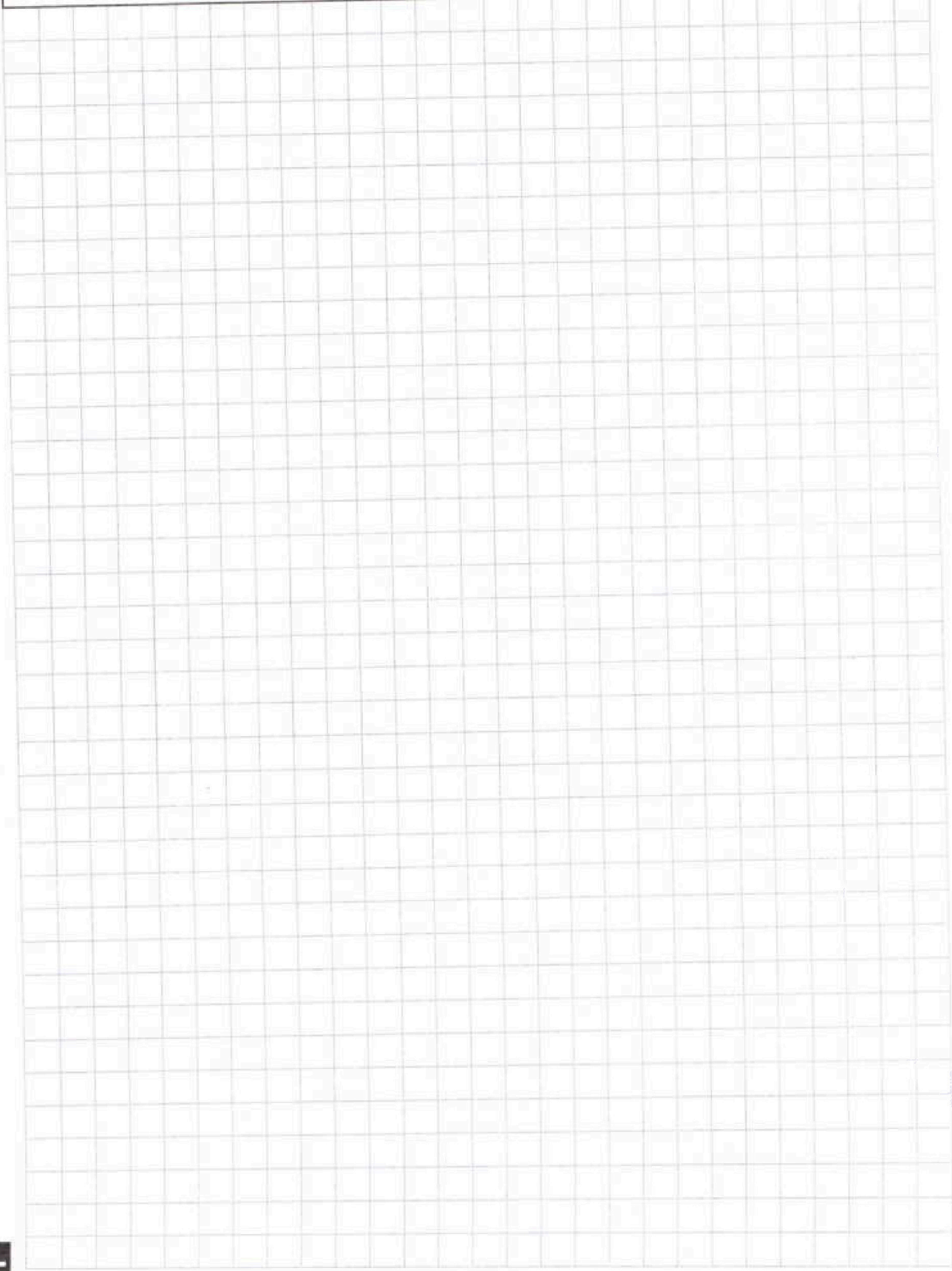


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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"/>



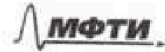
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!





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"/>



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

