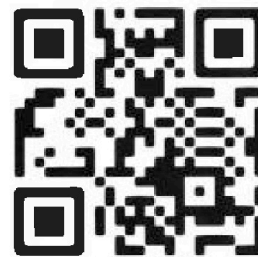


# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03

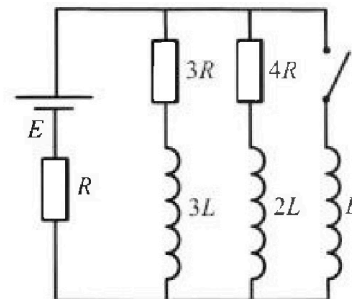
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



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

- 1) Найти ток  $I_0$  через резистор с сопротивлением  $3R$  при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью  $L$  сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд протечет через резистор с сопротивлением  $3R$  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  $n_в = 1,0$ . Точечный источник света S расположен на расстоянии  $a = 90$  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.

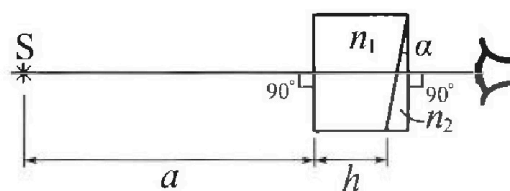


рис.). Угол  $\alpha = 0,1$  рад можно считать малым, толщина  $h = 14$  см. Толщина призмы с показателем преломления  $n_2$  на прямой «источник – глаз» намного меньше  $h$ . Отражения в системе не учитывать.

- 1) Считая  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , найдите на какой угол отклонится системой луч, идущий от источника перпендикулярно левой грани системы.
- 2) Считая  $n_1 = n_в = 1,0$ ,  $n_2 = 1,7$ , 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.



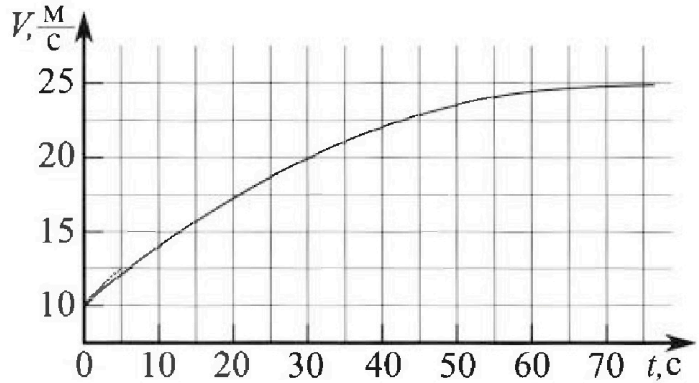
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 11-03



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

1. Автомобиль массой  $m = 1500$  кг движется с постоянной скоростью и затем разгоняется на прямолинейном горизонтальном участке дороги. График зависимости скорости от времени при разгоне показан на рисунке. В конце разгона сила тяги двигателя равна  $F_k = 600$  Н. Считать, что при разгоне сила сопротивления движению пропорциональна скорости.



- 1) Используя график, найти ускорение автомобиля в начале разгона.
- 2) Найти силу тяги  $F_0$  в начале разгона.
- 3) Какая мощность  $P_0$  передается от двигателя на ведущие колеса в начале разгона?

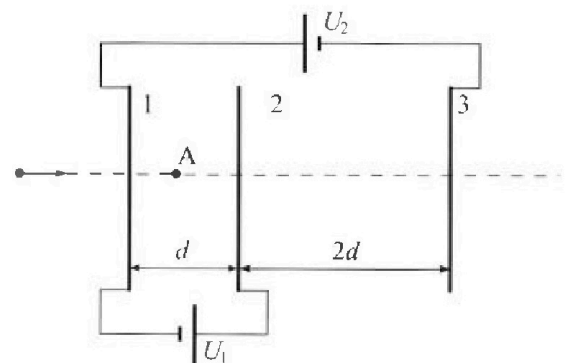
Требуемая точность численного ответа на первый вопрос ориентировочно 10%.

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 гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент система находилась в равновесии при давлении  $P_0 = P_{\text{атм}}/2$  ( $P_{\text{атм}}$  - нормальное атмосферное давление) и при комнатной температуре  $T_0$ . При этом жидкость занимала объём  $V/4$ . Затем цилиндр медленно нагрели до  $T = 373$  К. Установившийся объём его верхней части стал равен  $V/5$ .

По закону Генри, при заданной температуре количество  $\Delta v$  растворённого газа в объёме жидкости  $v$  пропорционально парциальному давлению  $p$  газа:  $\Delta v = kpv$ . Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры  $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$  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.

- 1) Найти отношение количеств вещества в газообразном состоянии в верхней и нижней частях до нагревания.
- 2) Определить отношение конечной и начальной температур в сосуде  $T/T_0$ .

3. Три проводящие плоские мелкие сетки находятся друг напротив друга на расстояниях  $d$  и  $2d$  (см. рис.). Размеры сеток значительно больше  $d$ . Изначально сетки не заряжены. К сеткам подсоединили источники с напряжением  $U_1 = U$  и  $U_2 = 3U$ . 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.



- 1) Найти модуль ускорения частицы в области между сетками 1 и 2.
- 2) Найти разность  $K_1 - K_2$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — кинетические энергии частицы при пролете сеток 1 и 2.
- 3) Найти скорость частицы в точке А на расстоянии  $d/4$  от сетки 1.

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!

1) Для нахождения ускорения посмотрим на касательную к графике разгона

в момент начала движения. Угол наклона этой касательной - это ускорение в этот момент ( $\operatorname{tg} \alpha$ ).  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \text{ с}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  (угол на графике  $\sim 45^\circ$ )

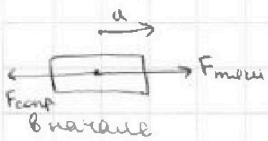
2) в конце сила тяги равна силе сопротивления, т.к. скорость стремится к  $v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  (то есть почти постоянна  $\Rightarrow a = 0$ )

$$F_k = \lambda v_k \Rightarrow \lambda = F_k / v_k = 600 / 25 = 24 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$$

в начале:  $ma = F_{\text{тяги}} - F_{\text{сопр}}$  (II З.Н.)

$$ma = F_0 - \lambda v_0$$

$$F_0 = ma + \lambda v_0 \Rightarrow F_0 = 1500 \cdot 0,5 + 24 \cdot 10 = 750 + 240 = 990 \text{ Н}$$



$$3) P_0 = \frac{dA}{dt} = \frac{dS \cdot F}{dt} = F_0 v_0 = 990 \cdot 10 = 9900 \text{ Вт}$$

Ответ: 1)  $a = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2)  $F_0 = 990 \text{ Н}$ ; 3)  $P_0 = 9900 \text{ Вт}$



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!



1) По направлению (индекс 1):  $V_{21} = \frac{V}{2}$ ;  $V_{y1} = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$ .

$\frac{1}{2} P_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{2} = p_2 RT_0$ ;  $\frac{1}{2} P_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{4} = p_{y1} RT_0$  разделим одно на другое  
 $2 = \frac{p_2}{p_{y1}}$  (или ввели индекс для кол-ва ушкислого газа, т.к. часть растворена в воде и его кол-во не меняется). Значит ответ на 1 вопрос: 2

$p_2$	капит	$V_{21}$
$p_{y1}$	ч.г.	$V_{y1}$

2) растворенной ушкислой газ  $\Delta V = k p w = k \cdot \frac{P_{\text{атм}}}{2} \cdot \frac{V}{4}$

газообразной:  $p_{y1} = \frac{1}{2} P_{\text{атм}} \cdot \frac{V}{4} \cdot \frac{1}{RT_0} \Rightarrow P_{\text{атм}} V = 8 p_{y1} \cdot RT_0 \Rightarrow \Delta V = \frac{k}{8} \cdot P_{\text{атм}} V = k RT_0 p_{y1}$

Значит  $p_{y2} = p_{y1} (1 + \frac{k}{8} \cdot 8 RT_0) = p_{y1} (1 + k RT_0)$  [ $p_{y2} = \Delta V + p_{y1}$ ]

$$p_k = \frac{5 p_2 RT}{V} = \frac{5 p_2 RT \cdot 20}{11V} \Rightarrow 5 p_2 = \frac{20}{11} p_{y2} = \frac{20}{11} p_{y1} (1 + k RT_0)$$

$$\frac{p_2}{p_{y1}} = \frac{4}{11} (1 + k RT_0) = 2 \Rightarrow 1 + k RT_0 = \frac{22}{4} = 5,5 \Rightarrow k RT_0 = 4,5 \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{T \cdot k R}{4,5} =$$

$$= RT \cdot \frac{k}{4,5} = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{9} = 10^3 \cdot \frac{10^{-3}}{3} = \frac{1}{3}$$

Ответ: 1) 2; 2)  $\frac{1}{3} = 0,33$

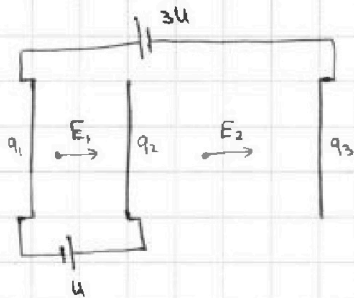
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Печать QR-кода неопустима!



Пусть потенциал на 1 пластине  $3U$  тогда на 2-ой  $4U$ ; на 3-ей  $0$ .

Все заряды предполагаем положительными

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0}; E_2 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} - \frac{\sigma_3}{2\epsilon_0}$$

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{S} \Rightarrow \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0 \text{ как и } q_1 + q_2 + q_3 = 0$$

по закону сохранения заряда в закрытой системе (в начале конденсатора не заряжены).  $\Rightarrow E_1 = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0} - \frac{1}{2\epsilon_0}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$

$$E_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{2\epsilon_0} - \frac{2\sigma_3}{2\epsilon_0} = -\frac{\sigma_3}{\epsilon_0}$$

между 1 и 2:

$$U = -E_1 \cdot d = -\frac{\sigma_1}{\epsilon_0} \cdot d \Rightarrow \sigma_1 = -\frac{U\epsilon_0}{d}$$

$$3U = E_1 d + E_2 \cdot 2d = \frac{\sigma_1 d}{\epsilon_0} - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} = \frac{d}{\epsilon_0} \left( -\frac{U\epsilon_0}{d} - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} \right) = -U - \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} \Rightarrow \frac{2d\sigma_3}{\epsilon_0} = -4U \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_3 = -\frac{4U\epsilon_0}{2d} = -\frac{2U\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_2 = 0 - \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{U\epsilon_0}{d} + \frac{2U\epsilon_0}{d} = 3 \frac{U\epsilon_0}{d}$$

$$\sigma_1; \sigma_2 = -3\sigma_3; \sigma_3 = 2\sigma_1 \quad (\sigma_1 = -\frac{U\epsilon_0}{d})$$

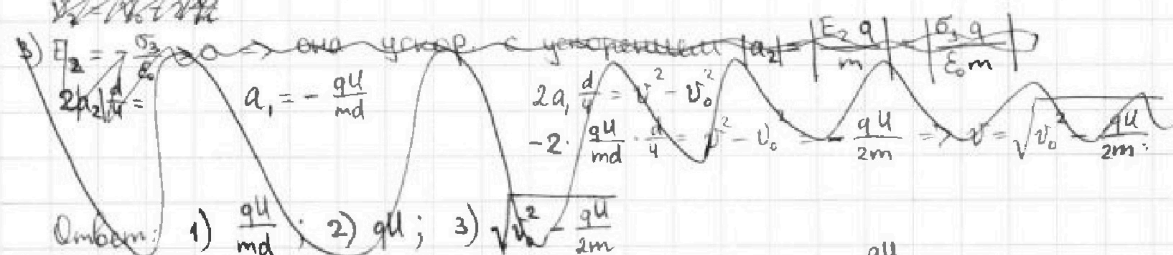
Получим ускор.  $|a| = \frac{|F|}{m} = \frac{|E|q}{m}$  (т.к.  $q \ll Q_{сетки}$  мы предполагаем нераспределенности зарядов на сетках)

$$a = \left| \frac{\sigma_1 q}{\epsilon_0 m} \right| = \frac{qU\epsilon_0}{\epsilon_0 m d} = \frac{qU}{md}$$

2) при пролете 1 сетки  $K_1 = \frac{mv_0^2}{2}$  (скор =  $v_0$ )

затем до сетки 2 она движется замедленно ( $E_1$  - такой же знак  $\sigma_1$  отрицательно) с ускорением  $a_1 = -\frac{qU}{md}$ ;  $2a_1 d = v_2^2 - v_0^2 \Rightarrow -2 \cdot \frac{qU}{md} \cdot d = v_2^2 - v_0^2 \Rightarrow$

$$v_2^2 - v_0^2 = 2 \frac{qU}{m} \Rightarrow \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = qU = K_1 - K_2$$



3) По закону сохранения энергии ускорение  $|a| = \frac{qU}{md}$  замедляет частицу.

$$2a_1 d = v_0^2 - v^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - 2 \frac{qUd}{m}} = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

Ответ: 1)  $\frac{qU}{md}$ ; 2)  $qU$ ; 3)  $\sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

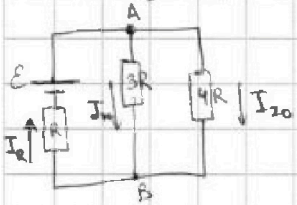
1  2  3  4  5  6  7



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



1) Т.к. процесс установился, токи постоянны и на катушке напряжение нет - заменили их на перемычку.



$$I_{10} \cdot 3R = I_{20} \cdot 4R \Rightarrow I_{20} = \frac{3}{4} I_{10}$$

$$I_0 R + I_{10} \cdot 3R = \varepsilon \Rightarrow (I_{10} + I_{20})R + 3RI_{10} = \varepsilon \Rightarrow$$

$$(I_{10} + \frac{3}{4} I_{10})R + 3RI_{10} = \varepsilon \Rightarrow (\frac{7}{4} + 3) I_{10} R = \varepsilon \Rightarrow \varepsilon = I_{10} R \cdot \frac{19}{4} \Rightarrow$$

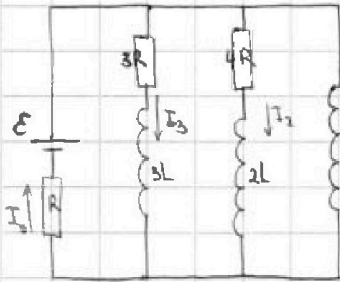
$$I_{10} = \frac{4\varepsilon}{19R}$$

2) когда ключ только только замкнули токи еще не успели поменяться и напряжение между точками A и B все еще  $3RI_{10} = LI_1$

$$I_1 = \frac{3RI_{10}}{L} = \frac{3R}{L} \cdot \frac{4\varepsilon}{19R} = \frac{12\varepsilon}{19L}$$

3) После замыкания ключа ток на катушке L возрастает. В установившемся режиме ток через 3R и 4R не течет, ток через L - постоянен, а значит  $I_0 R = \varepsilon$  (катушка L - перемычка).

Обозначим ток через R -  $I_0$ ; через 3R -  $I_3$ ; через 4R -  $I_2$ ; через L -  $I_1$ .



$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3; \quad LI_1 = 3RI_3 + 2LI_2 = 4RI_2 + 2LI_2 = \varepsilon - I_0 R$$

$$LI_1 dt = 3RI_3 dt + 2LI_2 dt$$

$$LdI_1 = 3Rdq_3 + 2LdI_2$$

$$L \cdot I_0 = 3Rq_3 + 2L(-I_0)$$

$$L \cdot \frac{\varepsilon}{R} = 3Rq_3 + 2L \cdot \frac{4\varepsilon}{19R} \Rightarrow q_3 = \left( \frac{L\varepsilon}{R} + \frac{2L\varepsilon}{19R} \right) \cdot \frac{1}{3R} = \frac{31L\varepsilon}{19R \cdot 3R} = \frac{31L\varepsilon}{57R^2}$$

Ответ: 1)  $\frac{4\varepsilon}{19R}$ ; 2)  $\frac{12\varepsilon}{19L}$ ; 3)  $\frac{31L\varepsilon}{57R^2}$



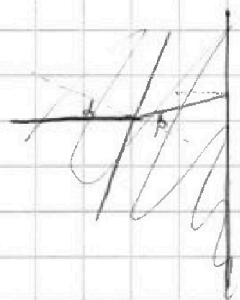
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

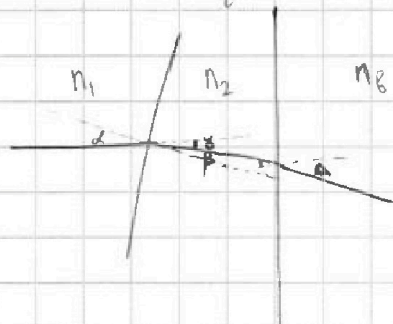


1)  $\sin \alpha \cdot n_1 = \sin \beta \cdot n_2 \Rightarrow \sin \alpha = \sin \beta \cdot 1,7 \approx 0,1 \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{17} \Rightarrow$

$\beta \approx \frac{1}{17}$

$\gamma$  (угол падения луча на вертикальную часть)

$\gamma = \alpha - \beta \quad n_2 \sin \gamma = n_1 \sin \Delta$



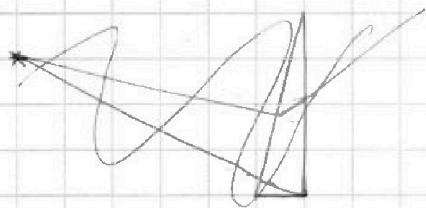
$n_2 (\alpha - \beta) = \sin \Delta$

$1,7 (0,1 - \frac{1}{17}) = \sin \Delta \approx \Delta$

$0,17 - 0,1 = 0,07 \approx \Delta$

2) То, что луч уходит вертикально, означает, что угол из преломленных призмаи лучей

показ в шаг.



Ответ: 1) 0,07 рад.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

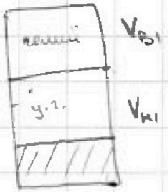
Отметьте крестиком номер задачи.

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. Поиск QR-кода недопустим!



$$\frac{P_{\text{красная}}}{2} V_{01} = \rho_2 R T_0$$

$$V - \frac{V}{4} - \frac{V}{5} = \frac{20V - 5V - 4V}{20}$$

$$\frac{P_{\text{белая}}}{2} V_{02} = \rho_1 R T_0$$

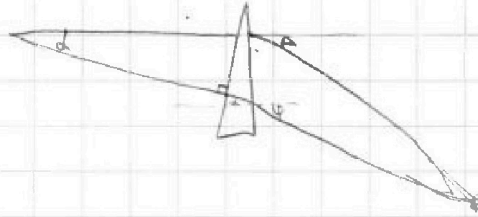
$$\frac{11V}{20}$$

$$\rho_1 = \rho_2 - k \frac{P_{\text{красная}}}{2} \cdot \frac{V}{4}$$

$$\sin \alpha \cdot 1,7 = \sin \varphi$$

$$E d = U = \frac{q}{C}$$

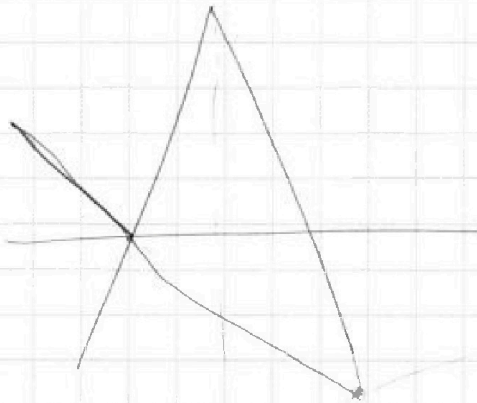
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$3R$

$$\dot{U} = \epsilon - I_0 R =$$







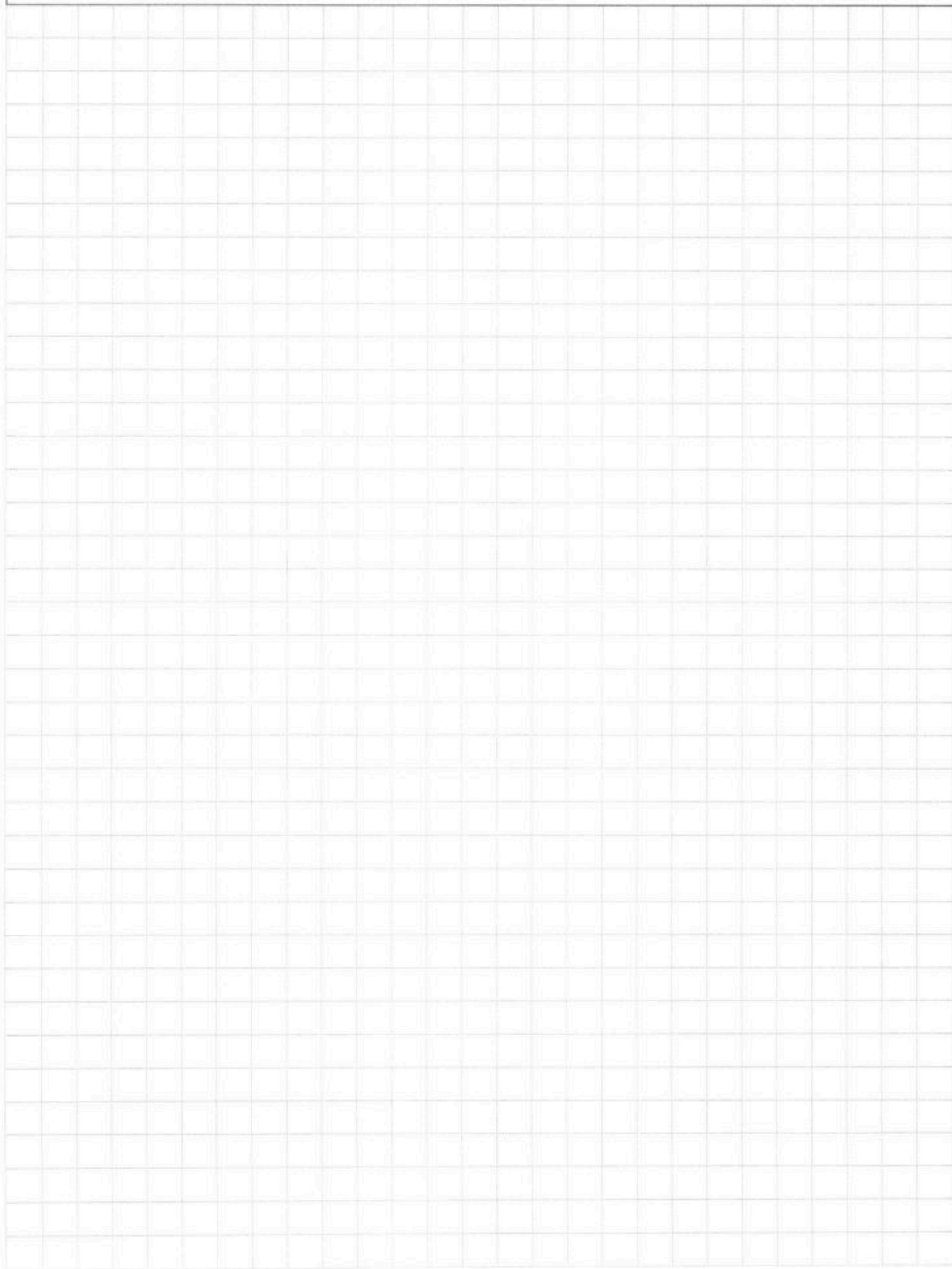
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





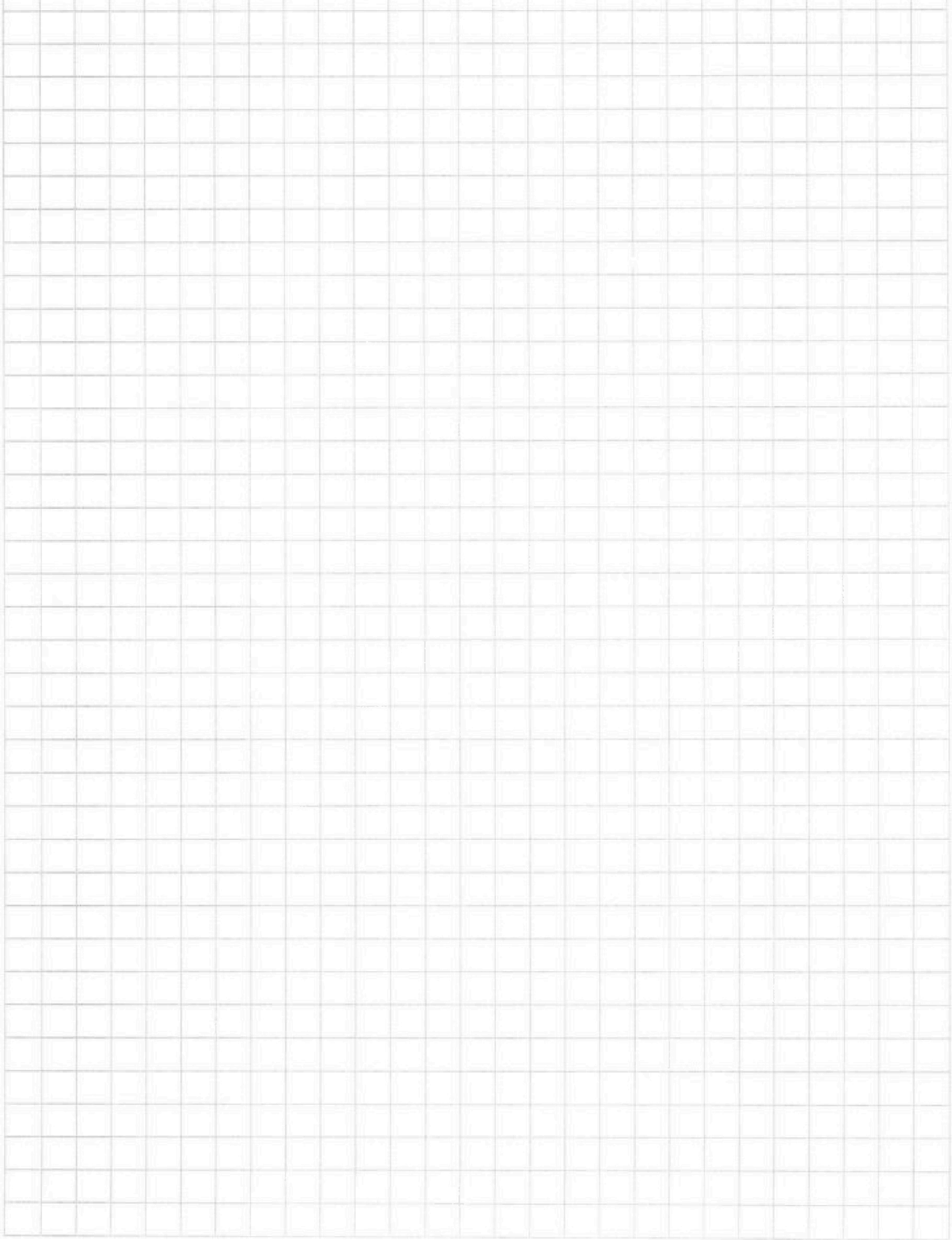
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Печка QR-кода недопустима!





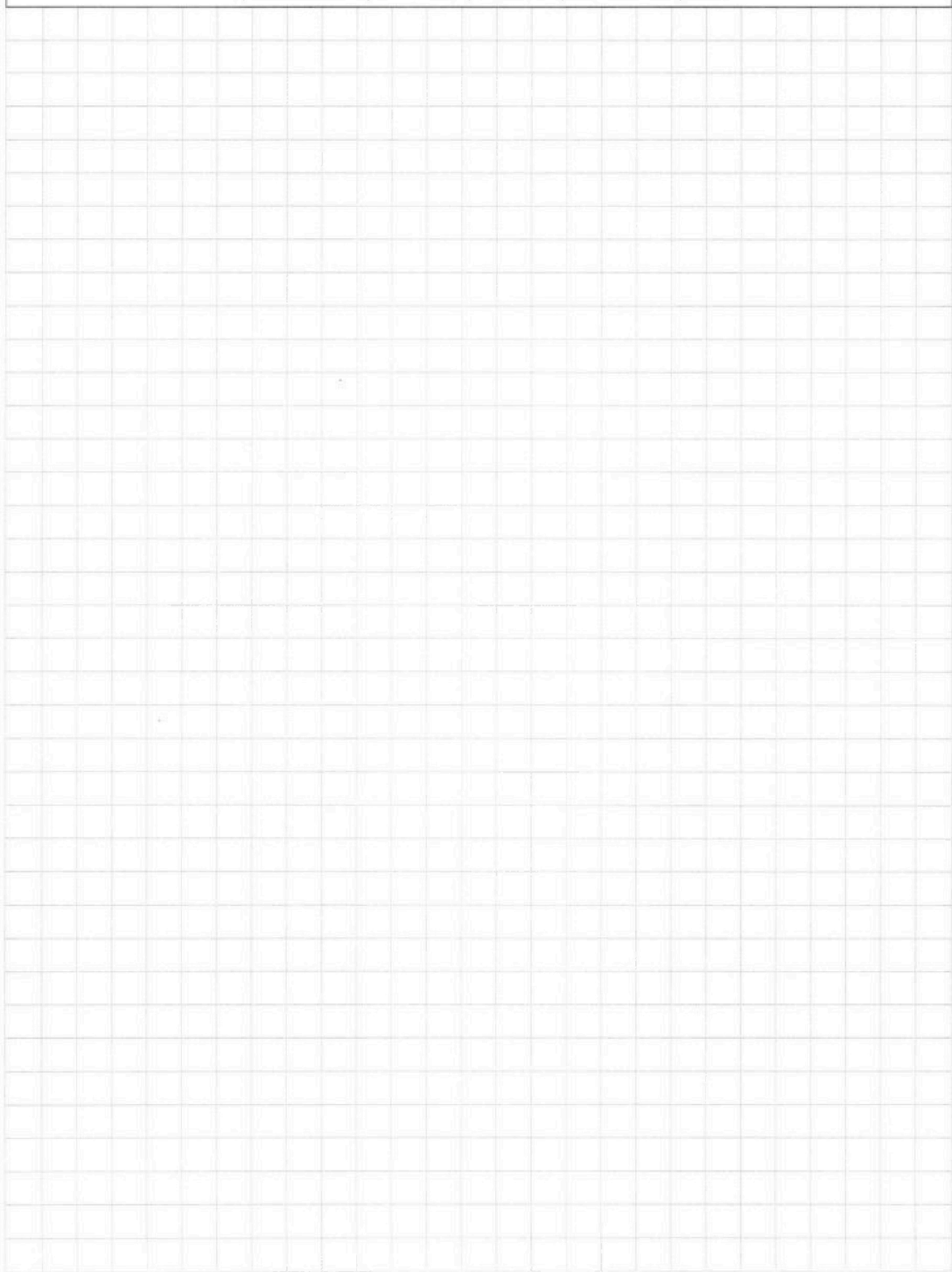
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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. Порядк QR-кода недопустима!

