

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

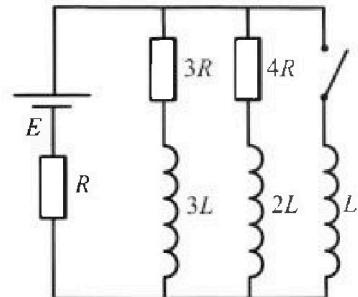
Вариант 11-03

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

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

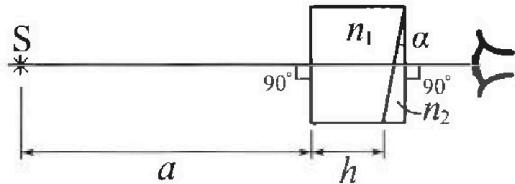
- 1) Найти ток I_{10} через резистор с сопротивлением $3R$ при разомкнутом ключе.
- 2) Найти скорость возрастания тока в катушке индуктивностью L сразу после замыкания ключа.
- 3) Какой заряд q протечет через резистор с сопротивлением $3R$ при замкнутом ключе?

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 $n_b = 1,0$. 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.

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

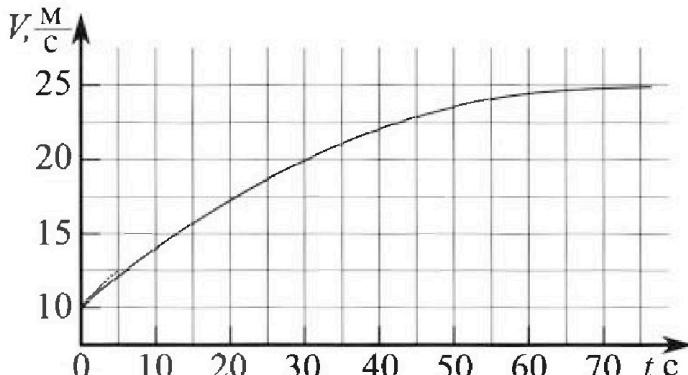
Вариант 11-03

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%.



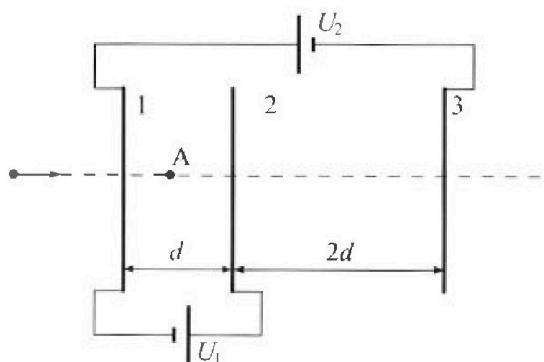
2. Герметичный вертикальный цилиндрический сосуд объёмом V разделён тонким невесомым теплопроводящим герметичным поршнем (диск соосный с сосудом) на две равные части. Поршень может перемещаться без трения. В верхней части цилиндра находится гелий, а в нижней - вода и углекислый газ. В начальный момент 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 Δv растворённого газа в объёме жидкости и пропорционально парциальному давлению p газа: $\Delta v = k p w$. Объём жидкости при этом практически неизменен. Для углекислого газа константа Генри для данной комнатной температуры $k \approx 0,5 \cdot 10^{-3}$ моль/(м³·Па). При конечной температуре T углекислый газ в воде практически не растворяется. Можно принять, что $R T \approx 3 \cdot 10^3$ 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:

- | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| <input checked="" 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!

1) Для начального ускорения посмотрим на касательную к графику
изменения скорости в начальный момент времени. Угол наклона этой касательной -

это ускорение в этот момент ($\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0}{t}$). $\operatorname{tg} \alpha = \frac{5}{10} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (угол на графике $\approx 45^\circ$)

2) В конце сна масса равна силе сопротивления, т.к. скорость

$$strebimetsya k v_k = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (\text{то есть масса постоянна} \Rightarrow a=0)$$
$$F_k = d v_k \Rightarrow d = F_k / v_k = 600 / 25 = 24 \frac{\text{Н}\cdot\text{с}}{\text{м}}$$

$$\begin{array}{c} \xrightarrow{a} \\ \text{в начале: } ma = F_{\text{неш}} - F_{\text{сопр}} \quad (\text{II З.Н.}) \\ ma = F_0 - d v_0 \\ F_0 = ma + d v_0 \Rightarrow F_0 = 1500 \cdot 0,5 + 24 \cdot 10 = 750 + 240 = 990 \text{ Н} \end{array}$$

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

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

МФТИ

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): $V_{21} = \frac{V}{2}$; $V_{31} = \frac{V}{2} - \frac{V}{4} = \frac{V}{4}$.

$\frac{1}{2}$ Равн. $\frac{V}{2} = P_2 RT_0$; $\frac{1}{2}$ Равн. $\frac{V}{4} = P_{y1} RT_0$ разделить одно на другое
 $2 = \frac{P_2}{P_{y1}}$ (из балла индекс для кон-ва умноженного
части, т.к. часть растворена в воде и это кон-во писать
нельзя). Значит ответ на 1 вопрос: 2

2) растворенный умножить на $\Delta P = k p w = k \cdot \frac{\text{Равн.}}{2} \cdot \frac{V}{4}$
разобранный: $P_{y1} = \frac{1}{2} \text{Равн.} \cdot \frac{V}{4} \cdot \frac{1}{RT_0} \Rightarrow \text{Равн.} V = 8 P_{y1} \cdot RT_0 \Rightarrow \Delta P = \frac{k}{8} \cdot \text{Равн.} V = k RT_0 P_{y1}$
значит $P_{y2} = P_{y1} (1 + \frac{k}{8} \cdot 8 RT_0) = P_{y1} (1 + k RT_0)$ [$P_{y2} = \Delta P + P_{y1}$]

$$P_k = \frac{5 P_2 RT}{V} = \frac{5 P_2 RT \cdot 20}{11 V} \Rightarrow 5 P_2 = \frac{20}{11} P_{y2} = \frac{20}{11} P_{y1} (1 + k RT_0)$$

$$\frac{P_2}{P_{y1}} = \frac{4}{11} (1 + k RT_0) = 2 \Rightarrow 1 + k RT_0 = \frac{22}{4} = 5,5 \Rightarrow k RT_0 = 4,5 \Rightarrow \frac{T}{T_0} = \frac{T \cdot k R}{4,5} =$$
$$= RT \cdot \frac{k}{4,5} = 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{9} = 10^3 \cdot \frac{10^{-3}}{3} = \frac{1}{3}$$

Ответ: 1) 2; 2) $\frac{1}{3} = 0,33$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

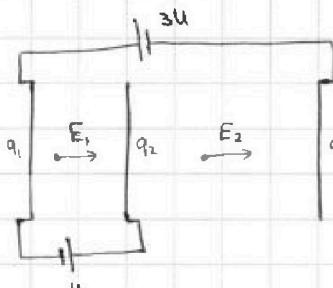
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|

МФТИ



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



Пусть потенциал на 1 пластине 3U, тогда на 2-й $4U$; на 3-й 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 начальном конденсаторах не заряжено). $\Rightarrow E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} - \frac{1}{2\epsilon_0}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0}$

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

между 1 и 2:

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

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

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

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

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

1) Согласно узору. $|a| = \frac{|F|}{m} = \frac{|E_1 q|}{m}$ (п.к. $q \ll Q_{\text{системы}}$ приобретаем первоначальное расположение зарядов на пластинах)

$$a_1 = \left| \frac{\sigma_1 q}{\epsilon_0 m} \right| = \frac{q U \epsilon_0}{\epsilon_0 m \cdot d} = \frac{q U}{md}$$

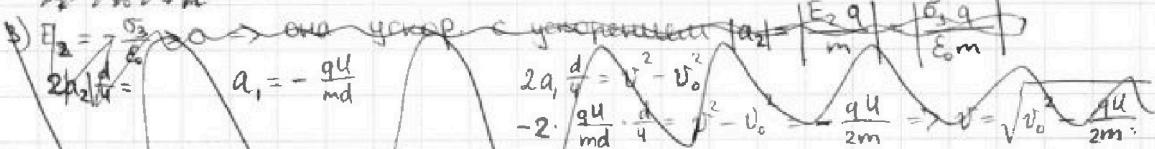
2) При прохождении 1-й пластины $K_1 = \frac{mv_0^2}{2}$ (скорость = 0)

затем до пластины 2 она движется замедленно (E_1 - такой же знак σ_1 -

изменяется) с ускорением $a_2 = \frac{-qU}{md}$; $2a_2 d = v_2^2 - v_1^2 \Rightarrow -2 \cdot \frac{qU}{md} \cdot d = v_2^2 - v_1^2 \Rightarrow$

$$v_1^2 - v_2^2 = 2 \frac{qU}{m} \Rightarrow \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = qU = K_1 - K_2$$

$\Rightarrow K_2 = \frac{qU}{m}$



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

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

$$2a_1 \frac{d}{4} = v_0^2 - v^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_0^2 - 2 \frac{qU}{2}} = \sqrt{v_0^2 - \frac{qUd}{md \cdot 2}} = \sqrt{v_0^2 - \frac{qU}{2m}}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" 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!

1) Т.к. резисторы установлены, тогда посторонний и на катушке как напряжение нет - заменим их на переключатели.

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

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

$$(I_{10} + \frac{3}{4} I_{10})R + 3RI_{10} = E \Rightarrow (\frac{11}{4} + 3) I_{10} R = E \Rightarrow E = I_{10} R \cdot \frac{19}{4} \Rightarrow$$

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

2) когда катод только только замкнуты токи еще не успели поменяться и напряжение между точками A и B все еще $3RI_{10} = L\dot{I}$

$$\dot{I}_1 = \frac{3RI_{10}}{L} = \frac{3R}{L} \cdot \frac{4E}{19R} = \frac{12E}{19L}$$

3) После замыкания катода ток на катушке L возрастает. В установившемся режиме токи через $3R$ и $4R$ не меняются, ток через L - постоянен, а значит $I_o R = E$ (катушка L = переключатель).

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

$$I_o = I_1 + I_2 + I_3 ; \quad L\dot{I}_1 = 3RI_3 + 4RI_2 = 4RI_2 + 2L\dot{I}_2 = E - I_o R$$

$$L\dot{I}_1 dt = 3RI_3 dt + 4RI_2 dt$$

$$L dI_1 = 3R dq_3 + 4R dI_2$$

$$L \cdot I_o = 3Rq_3 + 4R(I_o - q_3)$$

$$L \cdot \frac{E}{R} = 3Rq_3 + 3L \cdot \frac{4E}{19R} \Rightarrow q_3 = \left(\frac{LE}{R} + \frac{12LE}{19R} \right) \cdot \frac{1}{3R} = \frac{31LE}{57R^2}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

МФТИ



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

1) $\sin \alpha = \frac{\text{дуга не преломленного в среze } n_1 (=n_0)}{\sin \beta \cdot n_2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\sin \beta \cdot 1,7}{\sin \beta + 0,1} \Rightarrow \sin \beta = \frac{1}{17} \Rightarrow$

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

γ (угол падение дуги на вертикальную часть)

$\gamma = \alpha - \beta \quad n_2 \sin \gamma = n_0 \sin \alpha$

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

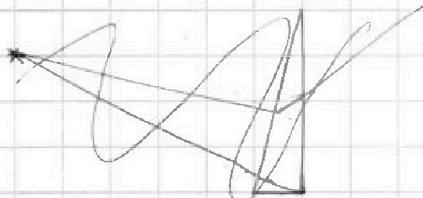
$1,7 (0,1 - \frac{1}{17}) = \sin \alpha \approx \Delta$

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



2) То, что ~~луч~~ увидел истощител, заслонил ~~луч~~
~~один из преломленных пришедших дуг~~

~~нане в мас.~~



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 |
|---|---|---|---|---|---|---|

МФТИ



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



$$\frac{P_{\text{разр}}}{2} V_{B1} = \rho_1 R T_0$$

$$\frac{P_{\text{разр}}}{2} V_{H1} = \rho_1 R T_0$$

$$\rho_1 = \rho_{10} - k \frac{P_{\text{разр}}}{2} \cdot \frac{V}{4}$$

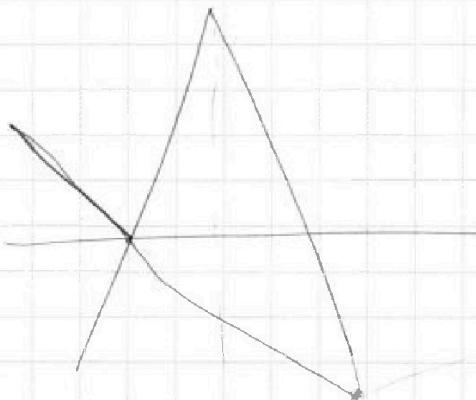
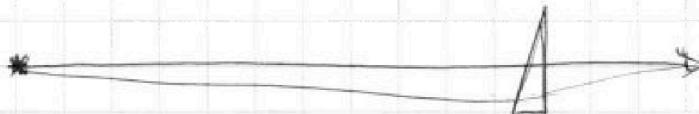
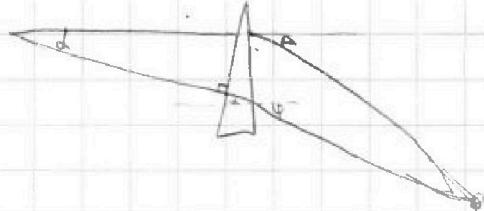
$$q = Ed = U = \frac{q}{a}$$

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

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

$$3R$$

$$\dot{I} = \mathcal{E} - I_o R =$$





На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1

2

3

4

5

6

7

МФТИ

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

МФТИ

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

МФТИ

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

МФТИ

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