



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-04

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



1. Снаряд массой $M = 5$ кг летит по вертикали и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, летящих во всевозможных направлениях с равными по модулю скоростями. Через $t_1 = 0,6$ с после разрыва все осколки находятся в полете, в этот момент один из осколков движется по вертикали вниз, импульс осколка $P_1 = 50$ кг·м/с.

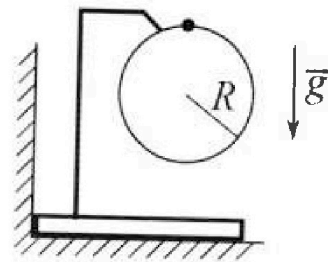
1) Найдите модуль P_2 суммарного импульса \vec{P}_2 всех остальных осколков в этот момент времени. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

2) Найдите угол α между векторами \vec{P}_2 и \vec{g} в этот момент времени.

Продолжительность полета осколков, упавших на горизонтальную поверхность на максимальном расстоянии от точки разрыва, $T = 3$ с.

3) На каком максимальном расстоянии d от точки разрыва такие осколки упали на горизонтальную поверхность? Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Брусок установлен вплотную к вертикальной стенке (см. рис.). На бруске закреплено в вертикальной плоскости кольцо радиуса $R = 0,6$ м, на которое надет шарик. Массы шарика и бруска одинаковы и равны $m = 0,2$ кг. Кольцо и держатель легкие. Трения нет. Из верхней точки кольца шарик скользит с пренебрежимо малой начальной скоростью.



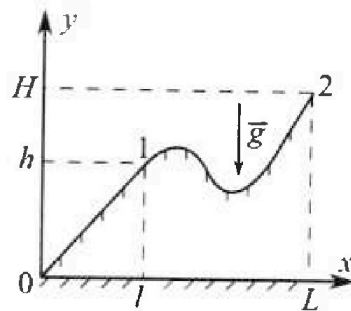
1) Найдите равнодействующую \vec{F} сил, приложенных к шарик в тот момент, когда сила, с которой вертикальная стенка действует на брусок, обращается в ноль. В ответе укажите модуль F и направление вектора \vec{F} .

2) Найдите горизонтальное перемещение S шарика к этому моменту времени.

3) Найдите скорость V шарика в тот момент, когда скорость бруска наибольшая. Брусок безотрывно движется по гладкой горизонтальной плоскости.

Все перемещения происходят в одной вертикальной плоскости. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². В процессе движения брусок не отрывается от гладкой горизонтальной плоскости.

3. На рисунке к задаче показан в вертикальной плоскости профиль горки, на которую школьник втаскивает санки. Масса санок $m = 7$ кг, вертикальная координата точки 1 $h = 5$ м. Из точки 1 санки съезжают с нулевой начальной скоростью и достигают у основания горки в точке 0 скорости $V = 6$ м/с. Коэффициент трения скольжения санок по горке одинаков на всей поверхности горки. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



1) Какую работу A_1 следует совершить, чтобы медленно втащить санки на горку из точки 0 в точку 1 по линии скатывания, прикладывая силу вдоль плоской поверхности горки?

Школьник медленно перемещает санки по горке из точки 1 в точку 2. На этом перемещении работа внешней силы $A_2 = 1,4$ кДж.

2) На какую высоту H школьник втащил санки?

Горизонтальные координаты точек 1 и 2 связаны соотношением $L = 6l$. На каждом элементарном перемещении вектор силы, которую школьник прикладывает к санкам, и вектор перемещения санок лежат на одной прямой. Все перемещения происходят в одной вертикальной плоскости.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

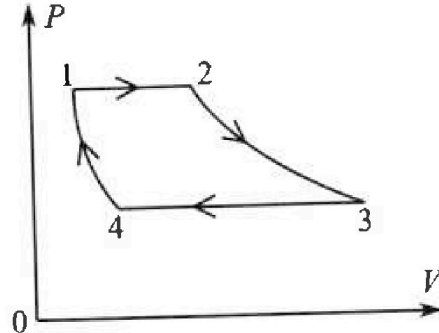
Вариант 10-04

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

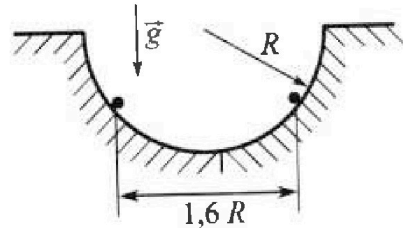


4. В цикле 1-2-3-4-1 тепловой машины две изобары и две изотермы (см. рис). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ. В процессе изобарного расширения объем газа увеличивается в четыре раза. В процессах изотермического расширения и изобарического сжатия газ совершает одинаковую по модулю работу A .

- 1) Найдите количество Q_{34} теплоты, отведенной от газа в процессе изобарического сжатия ($Q_{34} > 0$).
- 2) Найдите количество $Q_{\text{подв}}$ теплоты, подведенной к газу в процессах 1-2-3.
- 3) Найдите КПД η цикла.



5. В гладкой горизонтальной плоскости сделана полусферическая лунка радиуса R , в которой на одном горизонтальном уровне удерживаются два заряженных шарика. Заряд каждого шарика Q , расстояние между шариками $1,6R$. Шарики одновременно отпускают, и они вылетают из лунки. Отсчитанная от края лунки максимальная высота, на которую поднимается в полете каждый шарик, равна $2R$. Шарики отрываются от гладких стенок лунки у краев.



- 1) Через какое время T после отрыва шарики впервые поднимутся на максимальную высоту?
 - 2) Найдите массу m каждого шарика.
 - 3) Найдите наибольшую скорость V каждого шарика после вылета из лунки. Соударения шариков с горизонтальной плоскостью абсолютно упругие.
- Ускорение свободного падения g . Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k .

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"/> | <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!

№ 1

1) В малый промежуток времени $\tau = \epsilon\epsilon$ суммарный импульс всех
равен 0: $\vec{P}_{00} + \vec{P}_{01} + \vec{P}_{02} + \dots + \vec{P}_{0n} = 0$. Поскольку кризотам-
ная составляющая скорости не зависит от времени

(вместе со падением), то и кризотамная составляющая

импульса не изменяется. Возьмем направление \vec{g} за поло-

жительное. Начальная скорость $v_{0y}, v_{0y}, -v_{ny}$ изменяется от

v до $-v$ (где v начальная скорость самолета). Изменим

вертикальную ком. скорости к $t_1 = 2\tau$. Тогда $\vec{P}_2 =$

$$= \underbrace{\vec{P}_{00} + \vec{P}_{01} + \dots + \vec{P}_{0n}}_0 + (m\vec{g}t_1) \cdot N \quad (\text{где } m \text{ масса самолета, а } N \text{ - их кол-во})$$

То есть $\vec{P}_2 = M\vec{g}t_1$, а значит $P_2 = 30 \text{ кВ} \cdot \frac{\mu}{\text{с}}$

2) Из $\vec{P}_2 = M\vec{g}t$ следует, что $d = 0^\circ$ в момент t_1 .

3) Максимальное расст. пролетит τ_0 , где $v_y = 0$, т.е. $\frac{gT^2}{2} = h = 45 \text{ м}$,

где h - высота разрыва самолета. $d = \sqrt{v^2 T^2 + P_{0y}^2}$ в t_1 , все

самолеты находились в месте, т.е. $v < 72 \frac{\mu}{\text{с}}$ (иначе один уже был только

угол) ~~и $v > 72 \frac{\mu}{\text{с}}$~~ . Тогда макс. расстояние $d \approx 219 \text{ м}$

Ответ: 1) $30 \frac{\mu\text{В}}{\text{с}}$ 2) 0° 3) 219 м .

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!

12

1) Сила, с которой стенка вертикальная действует на брусок обратится в ноль, когда брусок сойдет с него. Призывает это, когда шарик будет находиться внизу каната в крайней правой точке кольца.



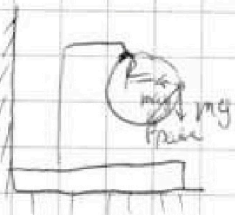
$$m a_y = m \frac{v^2}{R}$$

По 3-ему закону $v = 2\sqrt{gR}$

$$m a_y = 4mg \quad F_{\text{стен}} = 4mg \quad mg = 3mg, \text{ направлена}$$

← сила вертикально вверх

2) К этому моменту m



$$m a_y = m \frac{v^2}{R}$$

По закону 3-его закона $v = \sqrt{2gR}$

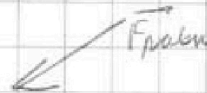
$$m a_y = 2mg$$

$$v = \sqrt{2gR}$$

$$F_{\text{стен}} = \sqrt{(2mg)^2 + (mg)^2} = \sqrt{5} mg = 2\sqrt{5} \text{ Н}$$

Направлена сила вниз под углом к горизонту

в 30° .



2) S (горизонтальное перемещение) $= R = 0.6 \text{ м}$

3) Скорость бруска будет наибольшей, когда их скорости сравняются $v = \frac{2\sqrt{gR}}{2} = \sqrt{gR}$ (т.к. массы одинаковые)
 $v \approx 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Ответы: 1) $2\sqrt{5} \text{ Н}$, 30° 2) 0.6 м 3) $\approx 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

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 checked="" 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!

№3

По закону сохранения энергии: $mgH = \frac{mv^2}{2} + A_{тр}$ $A_{тр}$ работа трения

$$A_{тр1} = m \left(\frac{2gh - v^2}{2} \right) \quad A_1 = A_{тр1} + mgh = m \left(\frac{4gh - v^2}{2} \right) = 574 \text{ Дж}$$

$$A_2 = mg(H-h) + A_{тр2} = 140 \text{ Дж}$$

$$\frac{A_{тр1}}{A_{тр2}} = \frac{L}{L'} = \frac{1}{6-1} = \frac{1}{5} \quad A_2 = mg(H-h) + 5m \left(\frac{4gh - v^2}{2} \right)$$

$$\frac{A_2 + mgh}{mg} = 11 = 9 \mu$$

Ответ: 574 Дж и) 9 м.

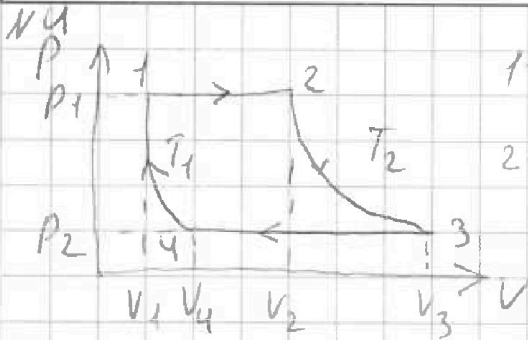
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



1-2 $p = \text{const}$, 3-4 $p = \text{const}$

2-3 $T = \text{const}$, 4-1 $T = \text{const}$

По первому началу термодинамики $Q_{34} = A_{34} + \Delta U_{34}$

$A_{34} = A_{23} = A$ из условия

$4V_1 = V_2$ из условия

Ур. Менделеева-Клапейрона

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_1 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4} \Rightarrow T_2 = 4T_1$$

$$T_2 = 4T_1$$

$$A_{23} = A = \nu R 4T_1 \ln \frac{V_3}{V_2} = \nu R 4T_1 \ln \frac{V_4}{V_1}$$

$$P_2 V_3 = \nu R 4T_1$$

$$|A_{41}| = \nu R T_1 \ln \frac{V_1}{V_4}$$

$$P_2 V_4 = \nu R T_1$$

$$A_{41} = \nu R T_1 \ln \frac{V_4}{V_1} \Rightarrow A_{41} = \frac{A}{4}$$

$$V_3 = 4V_4$$

$$A_{12} = P_1 \Delta V = 3\nu R T_1$$

$$|A_{34}| = A = |P_2 \Delta V| = 3\nu R T_1 \Rightarrow A_{12} = A$$

$$Q_{34} = \left| \frac{5}{2} \nu R (T_1 - T_2) \right| = \frac{5}{2} \nu R 3T_1 = \frac{5}{2} A$$

$$Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R 3T_1 = \frac{5}{2} A$$

$$Q_{123} = \frac{5}{2} A + A = \frac{7}{2} A = Q_{\text{подв}}$$

$$Q_{23} = A, \text{ т.к. } \Delta U = 0, \text{ всего } T = \text{const}$$

$$\eta = \frac{P_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}}{Q_{\text{подв}}} = \frac{A + A - A - \frac{A}{4}}{\frac{7}{2} A} = \frac{\frac{3}{4} A}{\frac{7}{2} A} = \frac{3}{14} \approx 21\%$$

$$\eta = 21\%$$

Ответы: 1) $\frac{5}{2} A$ 2) $\frac{7}{2} A$ 3) 21%

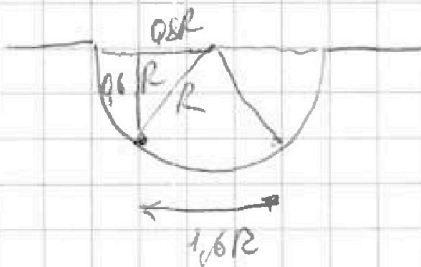
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



По закону сохранения энергии:

$$\frac{kQ^2}{1.6R} = \frac{kQ^2}{2R} + 2 \cdot mg \cdot 0.6R + 2 \cdot \frac{mv^2}{2}$$

Когда будут у края лунки:

$$\frac{kQ^2}{8R} = m(1.2gR + v^2)$$

После того, как они вылетят из лунки вертикаль. ось скорости перестанет увеличиваться, значит $\frac{v^2}{g} = 2R$,

$$v^2 = 2gR \quad \frac{kQ^2}{8R} = m(5.2gR) \quad m = \frac{kQ^2}{41.6gR^2}$$

$$v = 2\sqrt{gR} \quad v = gT \quad T = \frac{2\sqrt{gR}}{g} = 2\sqrt{\frac{R}{g}}$$

После вылета из лунки максимальная скорость будет

Тогда, когда они перестанут взаимодействовать в обратную и будут двигаться по горизонтальной плоскости

$$\frac{kQ^2}{1.6R} = 2mg \cdot 0.6R + 2 \cdot \frac{mv^2}{2} \quad \frac{kQ^2}{1.6R} = m(1.2gR + v^2) \quad v = \sqrt{\frac{kQ^2}{1.6Rm} - gR} = \sqrt{24.8gR} \approx 5\sqrt{gR}$$

Ответ: 1) $2\sqrt{\frac{R}{g}}$ 2) $\frac{kQ^2}{41.6gR^2}$ 3) $\approx 5\sqrt{gR}$

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!

P_2
 P_1

$T_2 = \nu T_1 \Rightarrow R(T_2 - T_1) = A$
 $T_2 - T_1 = \frac{A}{R} = 3\sqrt{1} = 3\sqrt{1}$
 $P_2 \nu V_1 = P_1 \nu V_3$ (И)
 $P_2 V_1 = P_1 V_3$ (ИТ)
 $Q_{12} = 0$
 $Q_{23} = A \cdot \Delta U_{23}$
 $\Delta U_{23} = 0$
 $A_{23} = A$
 $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R \cdot \frac{A}{R} = \frac{5}{2} \nu A = \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} \nu A = \nu R (T_2 - T_1)$
 $\nu R T \left(\frac{\nu V_2}{\nu V_1} \right) = P_2$
 $P_2 = 3P_1$
 $P_1 \nu V_2 = P_2 \nu V_1$
 $\nu t - \frac{g t^2}{2} = 2R$
 $\nu(t - t_0) - \frac{g}{2}(t - t_0)^2 = 0$
 $(t - t_0) \left(\nu - \frac{g}{2}(t + t_0) \right) = 0$
 $g t^2 - 2\sqrt{gR} t - 2R = 0$
 $D = 4gR + 8Rg = 2\sqrt{3}gR$
 $2\sqrt{gR} + 2\sqrt{3}gR = 2t$



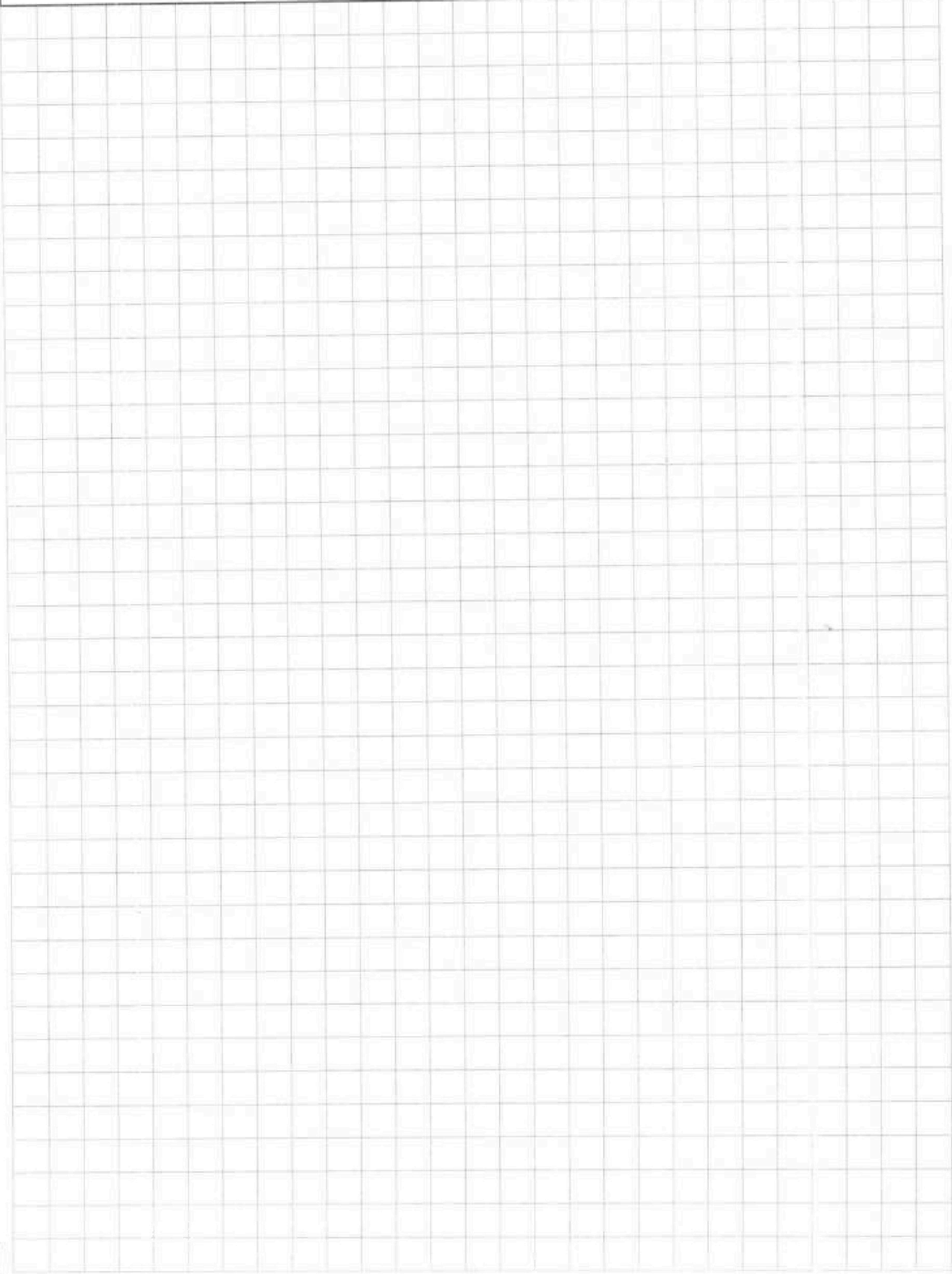
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





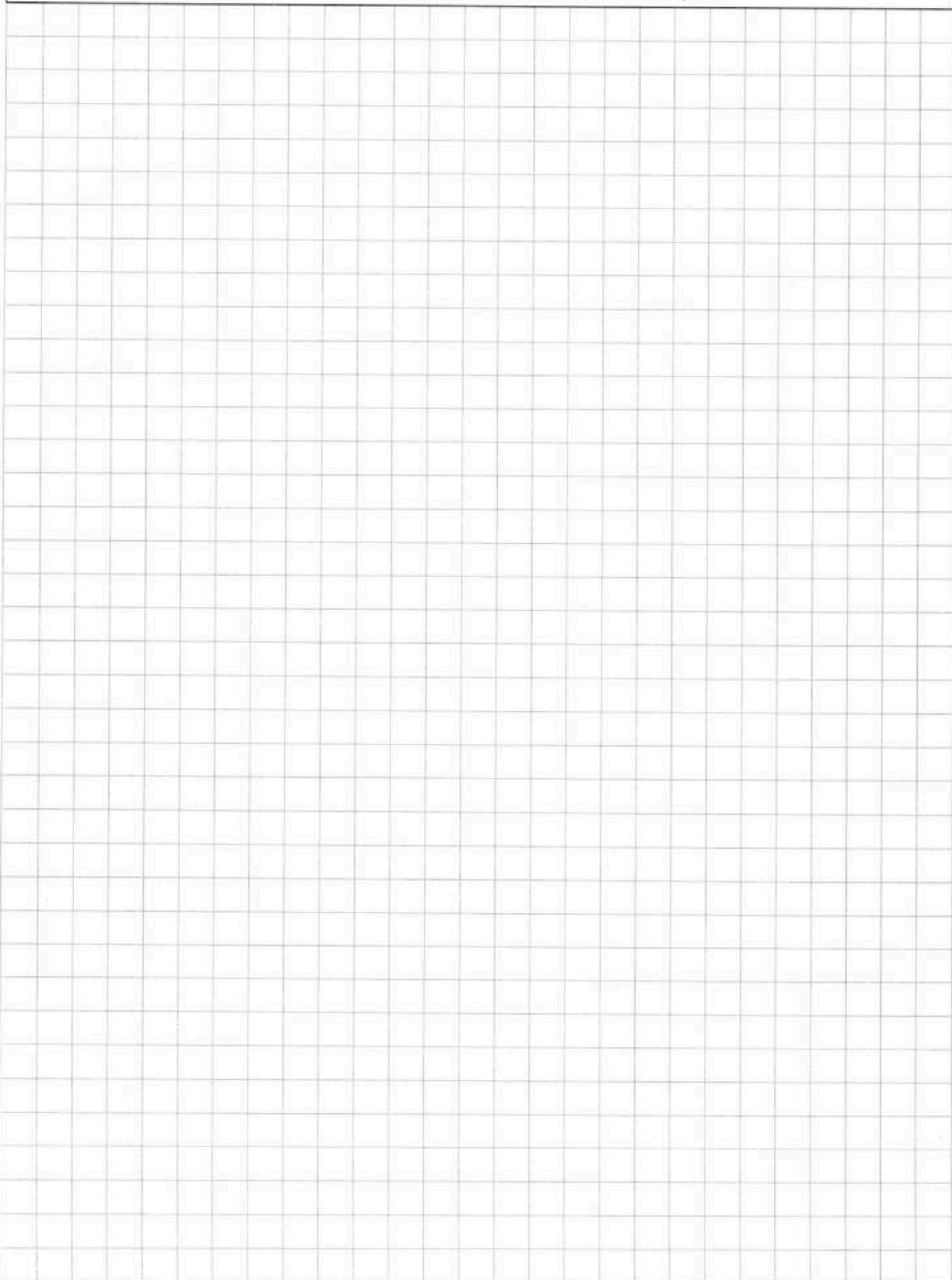
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

