



# 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.

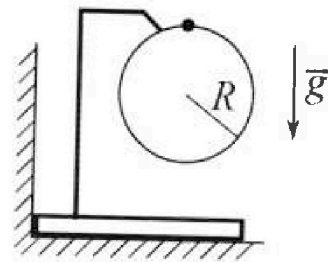
1) Найдите модуль  $P_2$  суммарного импульса  $\vec{P}_2$  всех остальных осколков в этот момент времени. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

2) Найдите угол  $\alpha$  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.



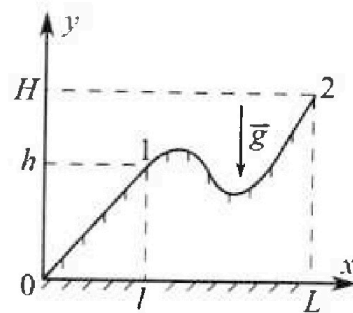
1) Найдите равнодействующую  $\vec{F}$  сил, приложенных к шарик в тот момент, когда сила, с которой вертикальная стенка действует на брусок, обращается в ноль. В ответе укажите модуль  $F$  и направление вектора  $\vec{F}$ .

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/с<sup>2</sup>. 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/с<sup>2</sup>.



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

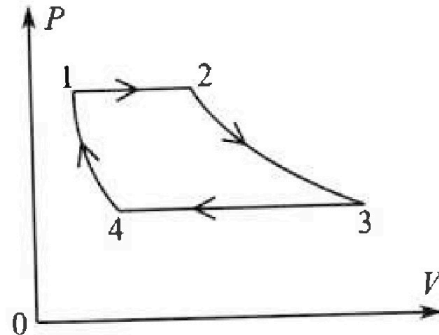
Вариант 10-04

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

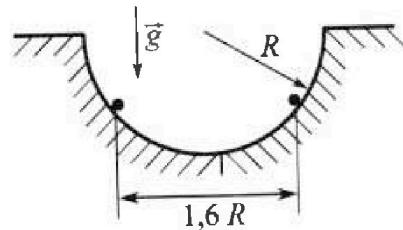


4. В цикле 1-2-3-4-1 тепловой машины две изобары и две изотермы (см. рис). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ. В процессе изобарного расширения объем газа увеличивается в четыре раза. В процессах изотермического расширения и изобарического сжатия газ совершает одинаковую по модулю работу  $A$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

- 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  $\eta$  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  $1,6R$ . Шарика одновременно отпускают, и они вылетают из лунки. Отсчитанная от края лунки максимальная высота, на которую поднимается в полете каждый шарик, равна  $2R$ . Шарика отрываются от гладких стенок лунки у краев.



- 1) Через какое время  $T$  после отрыва шарика впервые поднимется 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!

М-1

1) В малый промежуток времени  $\tau = \epsilon\epsilon$  суммарный импульс двух  
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  $\tau_0$ , где  $v_{y0} = 0$ , т.е.  $\frac{gT^2}{2} = h = 45 \text{ м}$ ,

где  $h$  - высота разрыва самолета.  $d = \sqrt{v_0^2 T^2 + P_0^2} \cdot t$ , где

самолет находится в полете, т.е.  $v < 72 \frac{\mu}{\text{с}}$  (иначе самолет уже был бы

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

Ответ: 1)  $30 \frac{\mu \cdot \text{м}}{\text{с}}$  2)  $0^\circ$  3)  $219 \text{ м}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

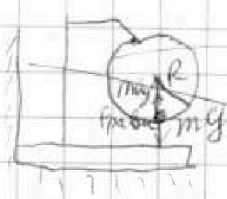
1  2  3  4  5  6  7

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. Призывает это, когда шарик будет находиться внизу каната в крайней правой точке кольца.

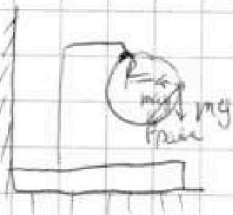


$$m a_y = m \frac{v^2}{R} \quad \text{По 3-ему закону Жерми } v = 2\sqrt{gR}$$

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

← сила вертикально вверх

2) К этому моменту можно и



$$m a_y = m \frac{v^2}{R} \quad \text{По 3-ему закону Жерми}$$

$$m a_y = 2mg \quad v = \sqrt{2gR}$$

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

Направлена сила вниз под углом к вертикали в  $30^\circ$ .

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)  $2\sqrt{5} \text{ Н}$ ,  $30^\circ$  2)  $0.6 \text{ м}$  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.

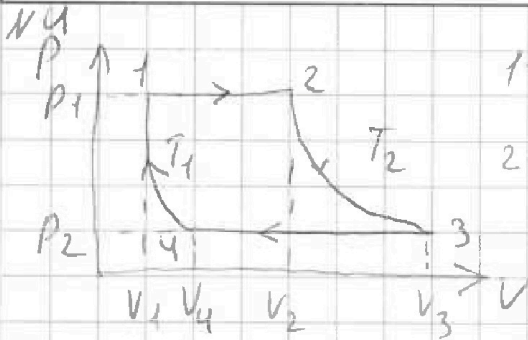
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7

МФТИ

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

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_1 V_2 = \nu R T_2$$

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

$$T_2 = 4T_1$$

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

$$p_2 V_3 = \nu R 4T_1$$

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

$$p_2 V_4 = \nu R T_1$$

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

$$V_3 = 4V_4$$

$$A_{12} = p_1 \Delta V = 3\nu R T_1$$

$$|A_{34}| = A = |p_2 \Delta V| = 3\nu R T_1 \Rightarrow A_{12} = A$$

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

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

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

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

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

$$\eta = 21\%$$

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



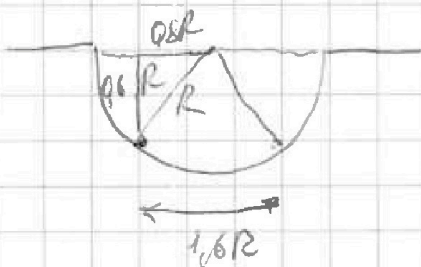
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$g \frac{l^2}{2} = h \rightarrow \frac{14}{1+3} \cdot 17 + 4 \cdot 2,8$$

$$10 \cdot 9 \cdot 10 = h = 45 \text{ м}$$

$$498 + 1,4 \cdot 32 = h = 468 \text{ м}$$

$$256 R^2 = 2R^2 - 2R^2 \cos \alpha$$

$$5 \cdot 230 = 186$$

$$-0,28 = \cos \alpha$$

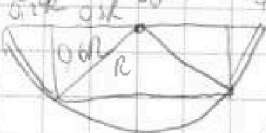
$$43600 = mgh = \frac{m l^2}{2} = A_{\text{up}}$$

$$439$$

$$436000 + 59$$

$$436000$$

$$436000$$



$$\frac{kQ^2}{16R} = \frac{m v^2}{2} + \frac{m g l}{2}$$

$$45400 \text{ м}^2/\text{с}^2 + m g l = \frac{m l^2}{2} = m(2gh - l)$$

$$P_0 + m g t + P_{\text{el}} + m g t$$

$$2 m g t \quad y \quad \frac{v}{2}$$

$$\sum_n = M g t = \sum_n \cdot g t$$

$$\frac{M}{M S} = \frac{M}{M g t} = P_1$$

$$v t + \frac{g t^2}{2} = h$$

$$m(v + g t) - P$$

$$m g h - \frac{m v^2}{2} = m g h_0 - \frac{m(2gh - l)}{2}$$

$$P + m g t = 50$$

$$P_1 + m g t = P_2 + m g t = 0 + m g t$$

$$m(v + g t) = 50$$

$$n(7 + 16) =$$

$$F_{\text{TD}} = 1,4 \text{ кДж}$$

$$P_1 + P_2 = \frac{2 P_3}{N} = 2 \frac{M}{N} g t$$

$$\frac{m g v^2}{2} = m g h = \frac{n(2gh - l)}{2} \cdot m g h = 2 m g h (2R)$$

$$\frac{n(12 \cdot 2 + 136)}{2} = m g (h - h_0)$$

$$68 \cdot 10 = g(h - h_0)$$

$$\frac{k Q^2}{16R} = m g \cdot 2,6R$$

$$\frac{k Q^2}{16R} \geq m g \cdot 5,2R$$

$$\frac{k Q^2}{16R} = \frac{m v^2}{2} + \frac{m g l}{2} + \frac{k Q^2}{2R}$$

$$m = \frac{k Q^2}{532 g R^2}$$

$$\sqrt{2gh} = v = 30 \text{ м/с}$$

$$\frac{m l^2}{2} = 43200$$

$$\frac{m l^2}{2} = 4160$$

$$\frac{m l^2}{2} = 4160$$

$$\frac{m l^2}{2} = 4160$$

$$m(v_{\text{max}} + g t) = 50$$

$$m(v_{\text{max}} - g t) = ?$$

$$M v_x = 0$$

$$g t^2 = g t_{\text{max}} - g t_{\text{min}}$$

$$4 + M = \Delta P$$

$$9$$

$$\frac{m l^2}{2} + \frac{m g l}{2} = m(2gh - l)$$

$$\frac{m l^2}{2} = 58 \cdot 560$$

$$\frac{m l^2}{2} = 58 \cdot 560$$

$$v t + \frac{g t^2}{2} = h$$

$$350 - \frac{t^2}{2} = 224 \text{ м} = f_{\text{up}}$$

$$m(v + g t) - P$$

$$m(2gh - l) = 1403 - 5 \cdot 26 + 4344 = 560 \text{ м}$$

$$P + m g t = 50$$

$$P_1 + m g t = P_2 + m g t = 0 + m g t$$

$$Q_2 = A \cdot \Delta U = \frac{5}{2} \int R A T$$

$$5224 = 1120$$

$$P_1 v_1 = \int R v_1$$

$$P_1 4 v_1 = \int R v_2 = 4 v_1$$

$$2 \int \ln v_2 = P_3 \Delta V$$

$$2 \int \ln v_2 = P_3 \Delta V$$

$$Q_2 = 2,5 \text{ Дж}$$

$$P_1 v_1 = \int R v_1$$

$$P_1 4 v_1 = \int R v_2 = 4 v_1$$

$$2 \int \ln v_2 = P_3 \Delta V$$

$$2 \int \ln v_2 = P_3 \Delta V$$

$$\frac{5}{2} \int R \Delta T = \frac{5}{2} P_3 \Delta V$$

$$522 + 8312 = \frac{1}{2} \cdot 416R$$

$$\frac{54}{32} = \frac{k Q^2}{8R} = 2 m l^2$$

$$\frac{54}{32} = \frac{k Q^2}{8R} = 2 m l^2$$

$$\frac{54}{32} = \frac{k Q^2}{8R} = 2 m l^2$$

$$\frac{54}{32} = \frac{k Q^2}{8R} = 2 m l^2$$

$$\frac{54}{32} = \frac{k Q^2}{8R} = 2 m l^2$$



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!

$P_2$   
 $P_1$   
  
 $T_2 = \nu T_1 \quad \nu R(T_2 - T_1) = A$   
 $T_2 - T_1 = \frac{A}{\nu R} = 3\sqrt{1} = 3\sqrt{1}$   
 $P_2 \nu V_1 = P_1 \nu V_2$  (1)  
 $P_2 V_1 = P_1 V_2$  (2)  
 $Q_{12} = 0$   
 $Q_{23} = A = \nu R \Delta T$   
 $\Delta U_{23} = 0$   
 $A_{23} = A$   
 $Q_{12} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} A = \nu R (T_2 - T_1)$   
 $Q_{12} = 3.5A$   
 $\nu R T \left( \ln \frac{\nu V_2}{\nu V_1} \right)$   
 $A_{12} + A_{23} - A_{34} - A_{14}$   
 $P_2 3V_1 - A$   
 $\frac{3}{4}A$   
 $\frac{14}{4}A$   
 $P_1 3V_2 = A$   
 $P_1 V_2 = P_2 V_1$   
 $\nu t - \frac{g t^2}{2} = 2R$   
 $2\sqrt{gR}t - \frac{g t^2}{2} = 2R$   
 $\nu(t - t_0) - \frac{g}{2}(t^2 - t_0^2) = 0$   
 $(t - t_0) \left( \nu - \frac{g}{2}(t + t_0) \right) = 0$   
 $g t^2 - 2\sqrt{gR}t - 2R = 0$   
 $D = 4gR + 8Rg = 2\sqrt{3}gR$   
 $2\sqrt{gR} + 2\sqrt{3}gR = 2t$



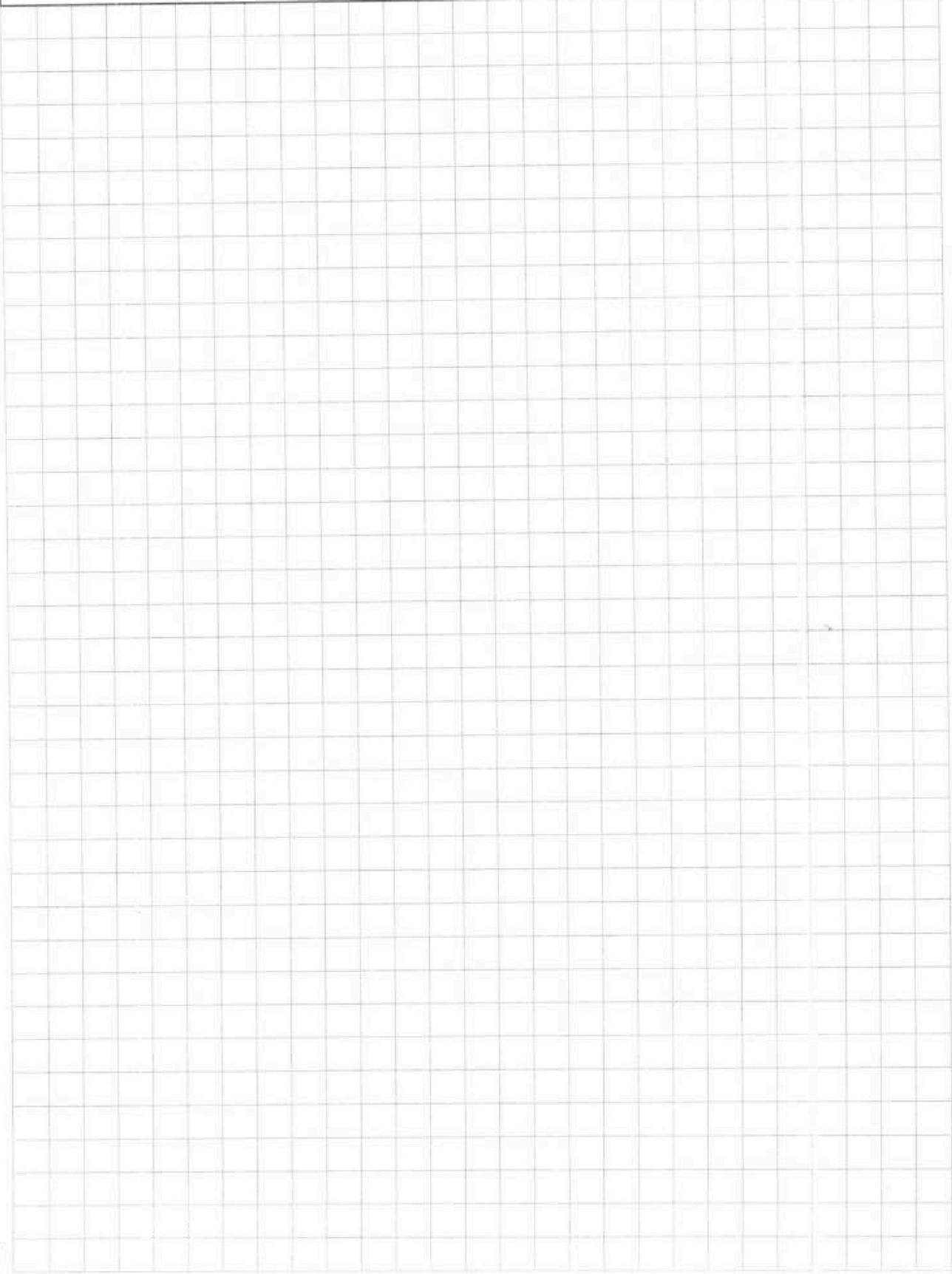
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!







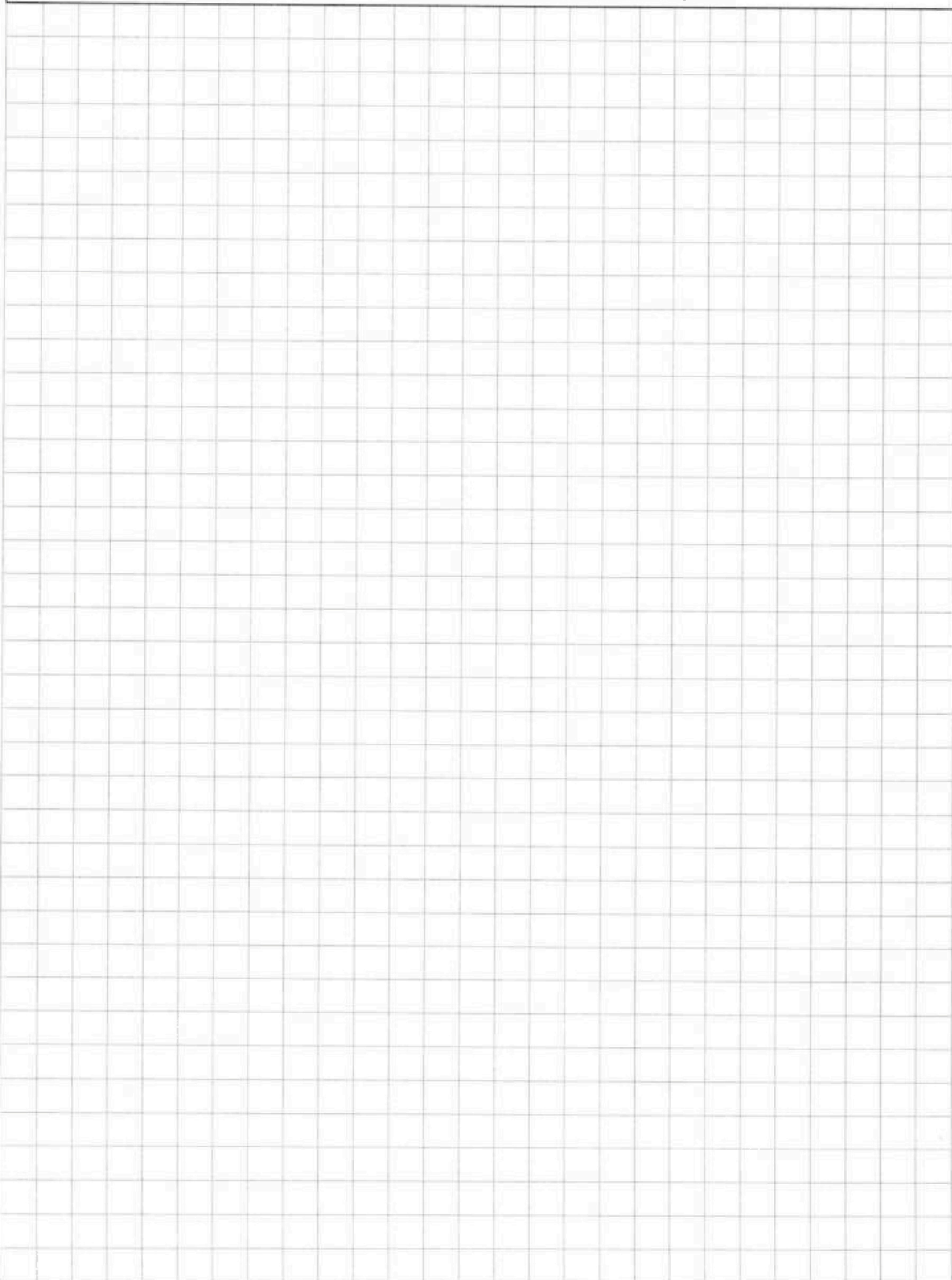
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

