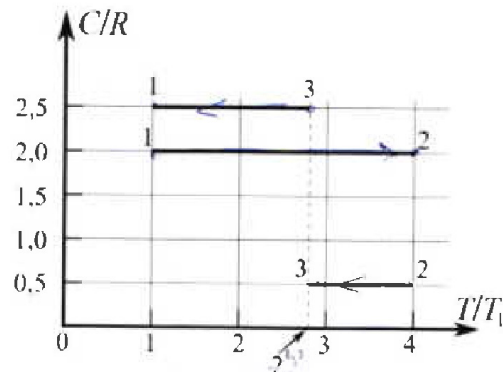


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

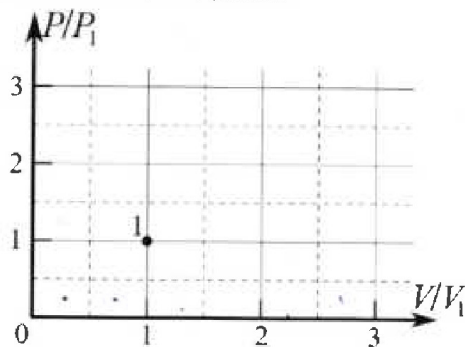
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 $T_1 = 400$ К, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

2) Найдите КПД η цикла.

3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объем в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



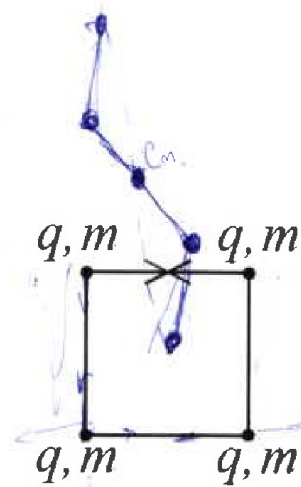
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

1) Найдите силу T натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость V любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?



Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за $T = 2$ с.

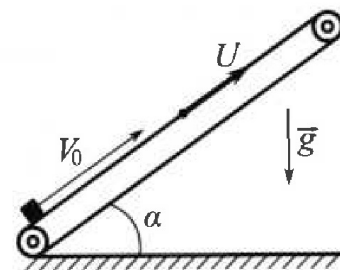
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью V_0 под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии $S = 20$ м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α такой, что $\sin \alpha = 0,8$ (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость $V_0 = 4$ м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте $\mu = \frac{1}{3}$. Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время T после старта коробка пройдет в первом опыте путь $S = 1$ м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

3) На какой высоте H , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же скорости V_0 за одинаковое время.

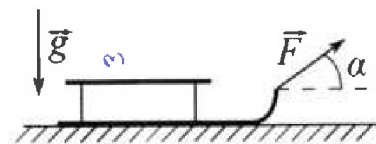
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости V_0 действие внешней силы прекращается.

1) Найдите коэффициент μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Через какое время T после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения g .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.





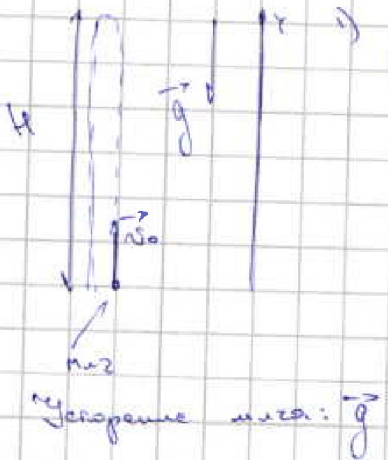
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

МФТИ

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



$$v_0 - v_0 = -gT$$

$$v_0 = gT = 2 \cdot 10 = 20 \text{ (м/с)}$$

Ускорение миза: $\vec{g}$.

2)

где $\vec{g}$ — ускорение по оси ox .

$$x(t) = v_0 \cos \alpha t \quad (1)$$

где $\vec{g}$ — ускорение по оси oy :

$$y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} \quad (2)$$

$$(1) \rightarrow t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha} \rightarrow (2)$$

(уравнение траектории)

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{x}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$= x \tan \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$y = x \tan \alpha - \frac{g x^2}{2 v_0^2} (\tan^2 \alpha + 1)$$

$$y = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (\tan^2 \alpha + 1)$$

Основ. триг. т-во:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \rightarrow \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\tan^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

Продифференцируем по α :

$$y' = S - \frac{g S^2}{v_0^2} \tan \alpha = 0$$

$$\tan \alpha = \frac{g S}{v_0^2} \rightarrow \tan \alpha = \frac{10 \cdot 20}{2 \cdot 10^2} = 1 \rightarrow \alpha = 45^\circ$$

$$y = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} (\tan^2 \alpha + 1)$$

$$= \frac{10 \cdot 20}{2} - \frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 10^2} (1 + 1) = 100 - 40 = 60 \text{ (м)}$$



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!

Реш: 1.

1) На коробку действуют:
 $\vec{N}$, $\vec{mg}$, $\vec{F}_{\text{тр}}$.

Но трение скольжения: $F_{\text{тр}} = \mu N$
но сила из сил не меняется:
скорость движения равноускоренно

2) Σ и N :

$$\Sigma x: -ma = mg \sin \alpha - \mu N$$

$$\Sigma y: 0 = -mg \cos \alpha + N$$

$$\Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

$$\Rightarrow ma = \mu mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$$

$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

равномер. гл. уе.

$$S = v_0 T + a \frac{T^2}{2}$$

$$-(g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) \frac{T^2}{2} + v_0 T - S = 0$$

решаем кв. ур-ие:

$$-10 \frac{0,8 + 0,2}{2} T^2 + 4T - 120 = 0$$

$$-5T^2 + 4T - 120 = 0$$

$$D = 16 - 4(-5)(-120) < 0$$

(Рассчитываем максимальное время движения коробки до того как она начнет двигаться в обратном направлении.)

$$L = \frac{v_0^2}{2(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha)} = \frac{16}{2(0,2 + 0,8)} \cdot 10 = \frac{16}{20} \text{ м} < 1 \text{ м}$$

2) Сила действующая на коробку никак не компенсируется силой с противоположным направлением.
Передвигается вправо.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

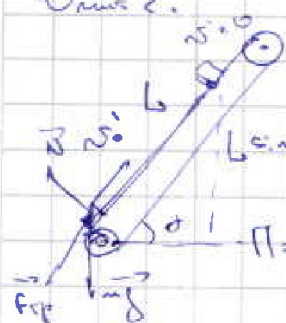
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

Омис 2.



$$v_0 = 2 \text{ м/с. } \approx 10 \text{ м/с}$$

Скорость в со земле будет равна v ,
коробка соскальзывает вниз.

ЗСД: сила $\vec{N}$ не совершает работы: $\perp \vec{v}$

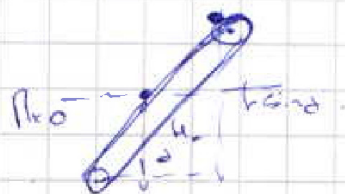
$$(0 + mgl \sin \alpha)_k - \left(\frac{mv_0^2}{2} \right)_k = - \mu mgl \cos \alpha$$

$$Lg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$L = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{2^2}{2 \cdot 10 \cdot 1} = 0,2 \text{ (м)}$$

3) Поле допустимых макс. значений коробки

нашей скорости будет, следовательно, поле
ее скорости будет равно $v_0 = 10 \text{ м/с}$ и со землей
" наклонной бего, тогда в МСО коробка
будет скользить. $\vec{N} \perp \vec{v} \rightarrow A\vec{N} = 0$.



$$\text{ЗСД: } \left(\frac{mv^2}{2} \right)_k - (0 + mgl \sin \alpha - k)_k = - \mu mgl \cos \alpha$$

$$\frac{v^2}{2} - g(L \sin \alpha - k) + \mu g(L - \frac{k}{\sin \alpha}) \cos \alpha = 0$$

$$\frac{v^2}{2} - gL \sin \alpha - gk + \mu gL \cos \alpha - \mu gk \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = 0$$

$$\frac{v^2}{2} - gL \sin \alpha + \mu gL \cos \alpha = gk \left(1 + \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \right)$$

$$\frac{2^2}{2} - 10 \cdot 0,2 - 0,8 + \frac{1}{3} \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 10 \cdot k \left(1 + \frac{0,6}{0,8} \right)$$

$$2 - 1,6 + 0,6 = 10 \cdot 1,25 \cdot k$$

$$1 = 12,5 \cdot k$$

$$\frac{2}{25} = k = 0,08 \text{ (м)}$$



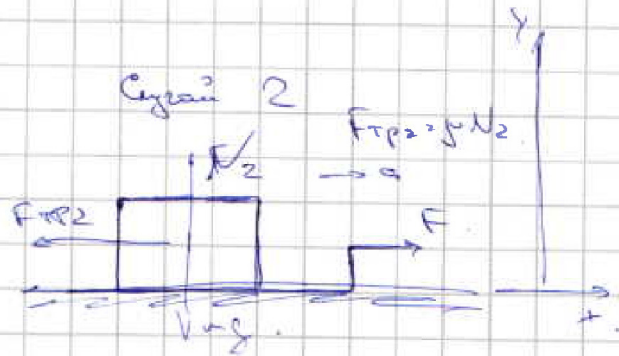
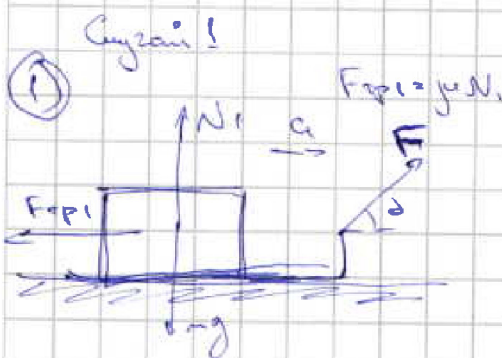
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



т.е. g_0 одинаково $\rightarrow$ той же скоростью разбежались
за одинаковое время, то ускорение тоже

2-3-й к.

1) $\Sigma F_y: F \cos \alpha - mg + N_1 = 0, \quad N_1 = mg - F \cos \alpha.$

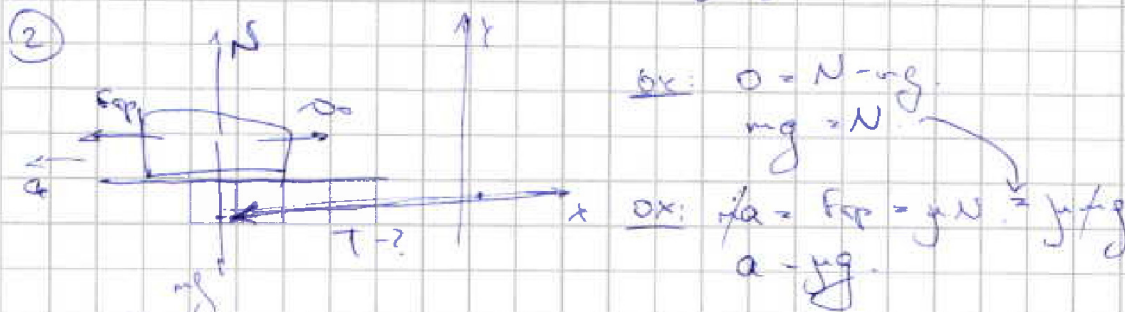
2) $\Sigma F_y: -mg + N_2 = 0, \quad N_2 = mg.$

1) $\Sigma F_x: F \sin \alpha - \mu N_1 = am.$

2) $\Sigma F_x: F - \mu N_2 = am.$

$F \sin \alpha - \mu mg + \mu F \cos \alpha = F - \mu mg$

$\sin \alpha + \mu \cos \alpha = 1, \quad \mu = \frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha}$



главное равенство:

$\mu = \frac{a}{g} \rightarrow \mu = \frac{a}{g} T. \quad T = \frac{N_0}{\mu g} = \frac{N_0}{\left(\frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha}\right) g}$



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)

$Q = A + \Delta U$ - первое начало термодинамики.

$\delta Q = C \Delta T$ (в каждом из процессов $C = \text{const}$) $\Rightarrow Q = C \Delta T$.

$\Delta U = \frac{3}{2} SR \Delta T$.

т.к. движение идеальное.

$\int C_{p12} \Delta T = A + \frac{3}{2} SR \Delta T$.

масса газа постоянна
процесса 12

$C_{p12} = 2R$

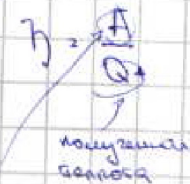
$\Delta T_{12} = 3T_1$

$A_{12} = \int C_{p12} \Delta T_{12} - \frac{3}{2} SR \Delta T_{12}$

$= 1 \cdot 2R \cdot 3 \cdot 400 - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R \cdot 3 \cdot 400$

$= 2400 R - 1800 R = 600 R = 600 \cdot 8,31 = 4986 \text{ Дж}$

2)



$Q_1 = Q_{12} = \int C_{p12} \Delta T_{12} = 1 \cdot 2R \cdot 3 \cdot 400 = 2400 R$

суммарная абсолютная работа $A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$ с учетом знака.

1) $A_{12} = 600 R$

$C_{p23} = 0,5 R$

$\Delta T_{23} = T_1(4-8)$

$A_{23} = \int C_{p23} \Delta T_{23} - \frac{3}{2} SR \Delta T_{23}$

$A_{31} = \int C_{p31} \Delta T_{31} - \frac{3}{2} SR \Delta T_{31}$

$C_{p31} = 2,5 R$

$\Delta T_{31} = T_1(8-1)$

$A_{23} = (1 \cdot 0,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) (-T_1(4-8)) = T_1 R(4-8)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(4-8) = -R T_1(4-8)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(8-1) = R T_1(8-1)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(8-1) = R T_1(8-1)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(8-1) = R T_1(8-1)$

$A_{31} = (1 \cdot 2,5 R - \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R) T_1(8-1) = R T_1(8-1)$

$A = 600 R + 7 R \cdot 4 - 7 R \cdot 8 - 7 R \cdot 8 + 7 R \cdot 8$

$= 600 R + 2800 R - 5600 R = -800 R$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

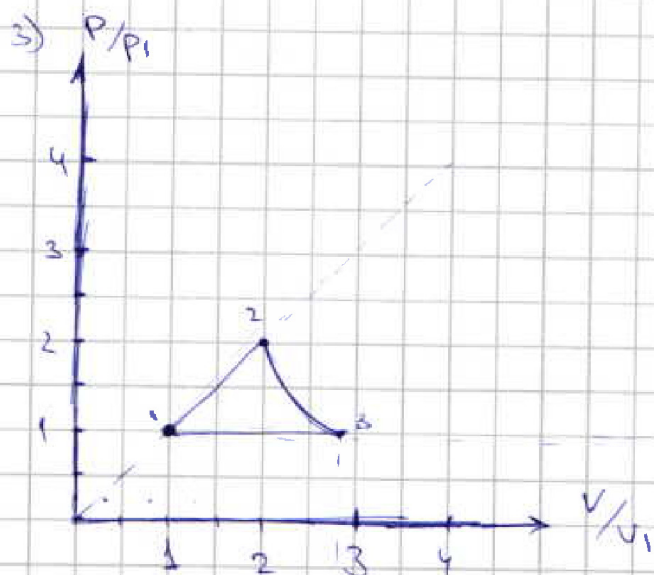
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

$$\eta = \frac{600R + 2000R - 800R}{2400R} = \frac{26R - 88R}{24R} = \frac{13R - 44R}{12R} = \frac{13 - 44}{12}$$



Известный график:
Процесс, в котором температура не изменяется: политропный

$$PV^n = \text{const, где}$$

n - показатель политропы.

$$n = \frac{C_p - C_m}{C_p - C_v}$$

$$C_v = \frac{3}{2}R$$

$$C_p = \frac{5}{2}R$$

Процесс 1-2: $n = \frac{2 - 2,5}{2 - 1,5} = \frac{-0,5}{0,5} = -1$

процесс: $\frac{P}{V} = \text{const}$: процесс изобарно-изотермический

Процесс 2-3: $n = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = \frac{-2}{-1} = 2$

процесс: $PV^2 = \text{const}$ или $P = \frac{\text{const}}{V^2}$.
Квадратичная зависимость, характерная для...

Процесс 3-1: $n = 0$

процесс: $P = \text{const}$: изобарный процесс

Заметим, что для любой точки 2, где температура в 2 раза больше, чем в 1, то есть $P_1 = 1$ и $V_1/V_2 = 2$.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☒

6 ☐

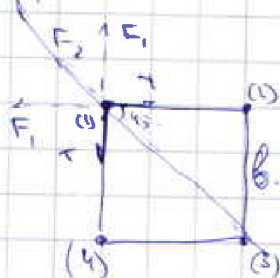
7 ☐

МФТИ

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

~~Задача 5~~

1)



т.к. система симметрична, все тела имеют одинаковое положение

по закону Кулона, (1) взаимодействует с (2), (4) как $F_1 = \frac{kq^2}{\beta^2}$

(3) как $F_2 = \frac{kq^2}{2\beta^2}$

2-й т.:

$$\text{ор: } F_2 + 2F_1 \cos 45^\circ - 2T \cos 45^\circ = 0$$

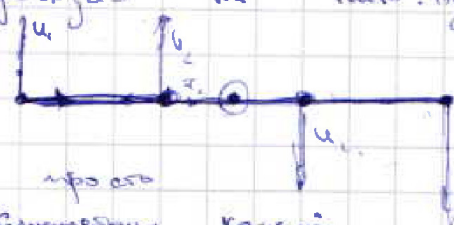
$$\frac{kq^2}{2\beta^2} + \sqrt{2} \frac{kq^2}{\beta^2} - 2T \frac{1}{\sqrt{2}} = 0$$

$$\frac{kq^2}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2} \right) = T \sqrt{2}$$

$$T = \frac{kq^2}{\beta^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + 1 \right)$$

3) по т. о движении у.т., т.к. все тело сим. и не движется.

у.т. системы (из центра - центр квадрата) не движется. Пусть у.т. системы (из центра - центр квадрата) не движется. Пусть у.т. системы (из центра - центр квадрата) не движется.



и также масса в центре симметричных масс и не имеет вращательного движения.

Будет движение. Система также не движется относительно (тоже у.т. это у.т. тела, т.к. тело не движется).



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!

Из этих соотношений:

$$U_1 = 3U_2$$

По закону Гаусса ЭОС:

Потенциальная энергия заряда бесконечного цилиндра

$$W_k = kq^2 \left(\frac{1}{2b} + \frac{1}{2b} + \frac{1}{2\sqrt{2}b} \right)$$

$$W_k = 2kq^2 \left(\frac{1}{2b} + \frac{1}{4b} \right) + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b}$$

$$W_k = 2 \left(\frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{4b} \right) + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b} = \frac{3kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b}$$

Найдём силу притяжения крайних зарядов:

ЭОС:

$$F_1 = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{4b^2} + \frac{kq^2}{9b^2} = \left(\frac{10}{9} + \frac{1}{4} \right) \frac{kq^2}{b^2}$$

$$F_2 = \frac{kq^2}{4b^2}$$

крайний:

или удерживающая.

F_1, T_1
 T_1, F_2, T_2

$$\frac{9kq^2}{1,56} = \left(\frac{10}{9} + \frac{1}{4} \right) \frac{kq^2}{b^2} + T_1 = 8 \frac{mk^2}{b}$$

$$\frac{mk^2}{0,56} = \frac{1}{4} \frac{kq^2}{b^2} + T_2 - T_1 = 2 \frac{mk^2}{b}$$

5)



Вектор направления г.м.

$$d = \sqrt{b^2 + \frac{b^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2} b$$

МФТИ



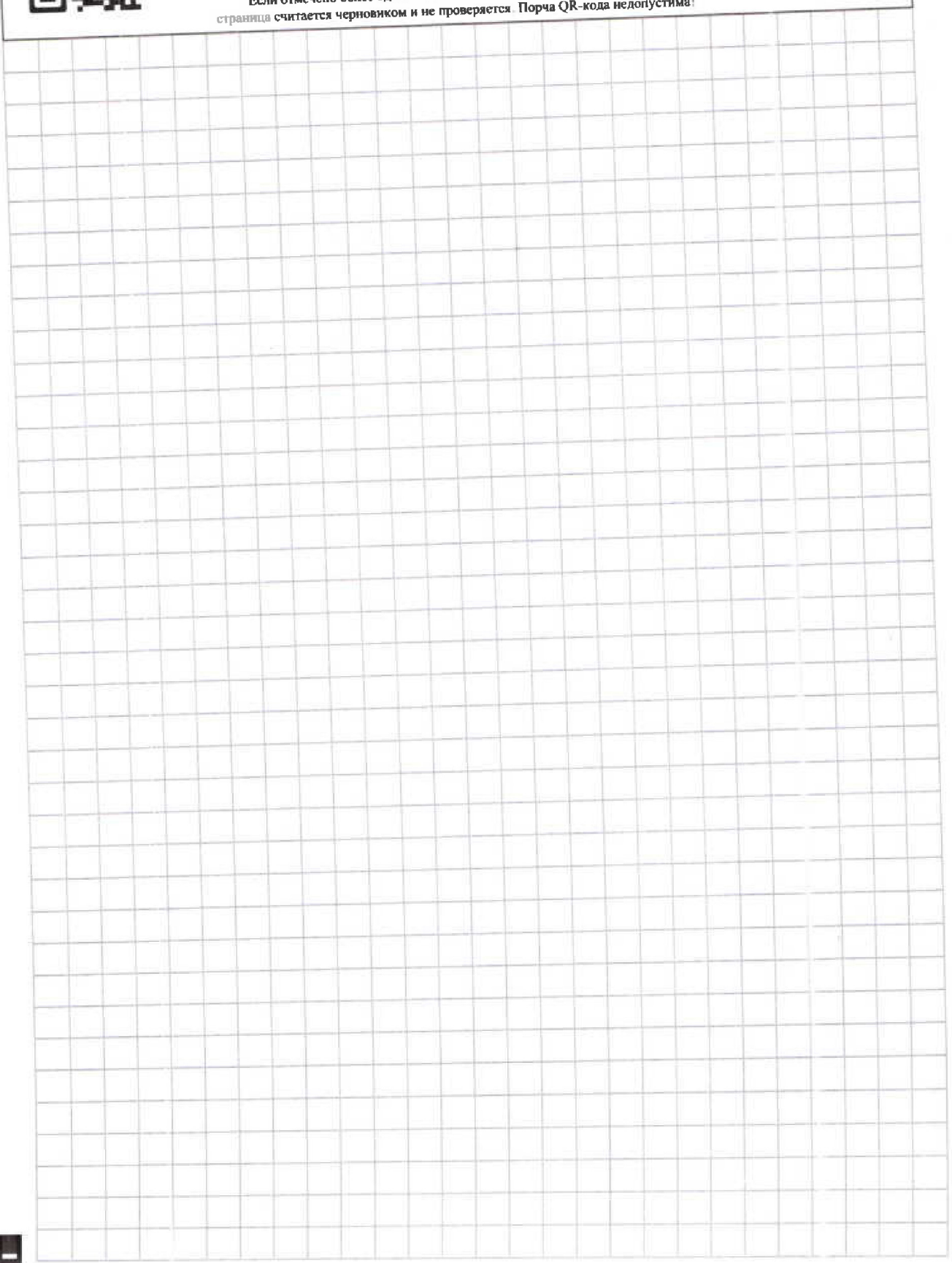
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

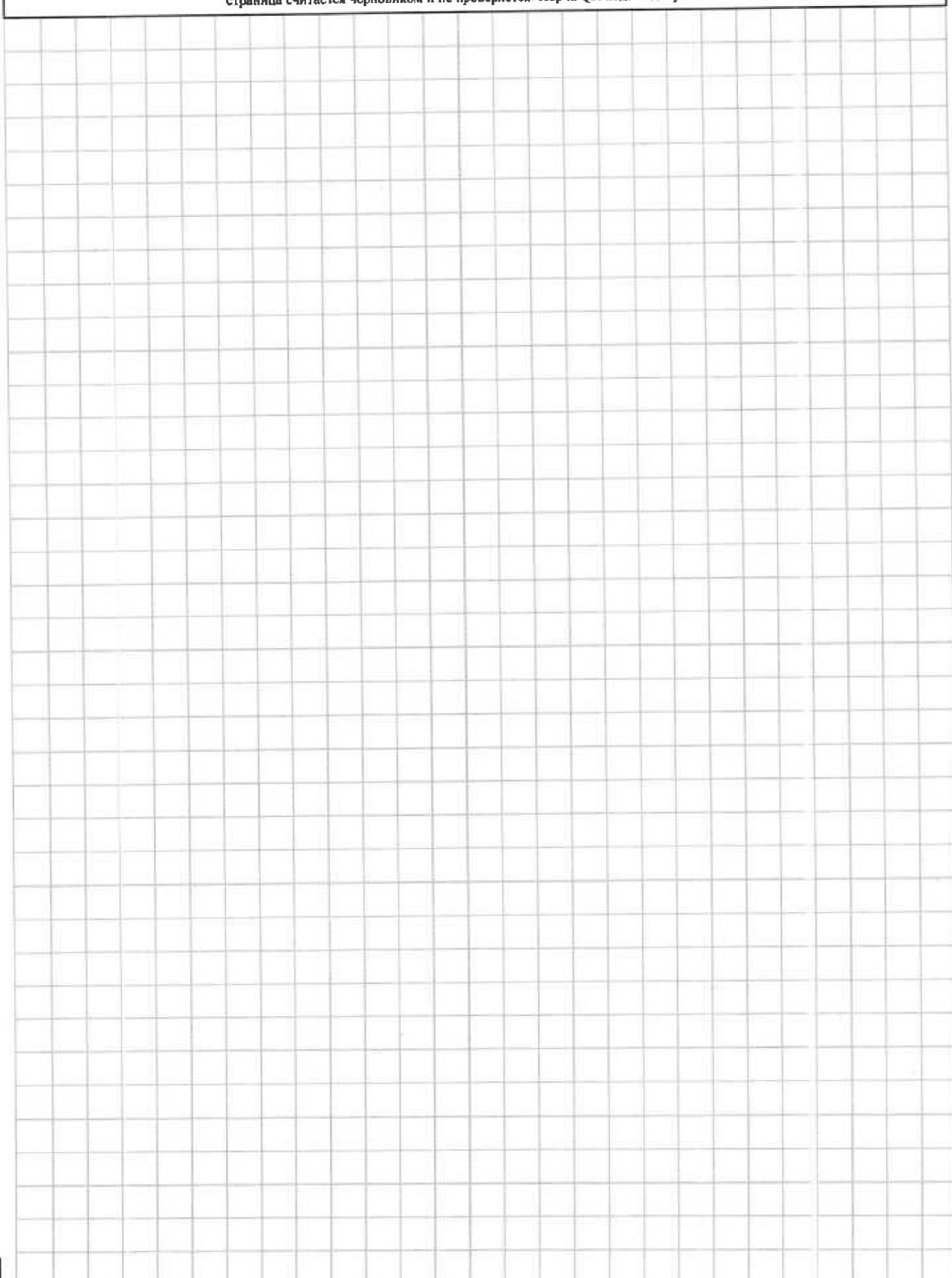
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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:

 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!



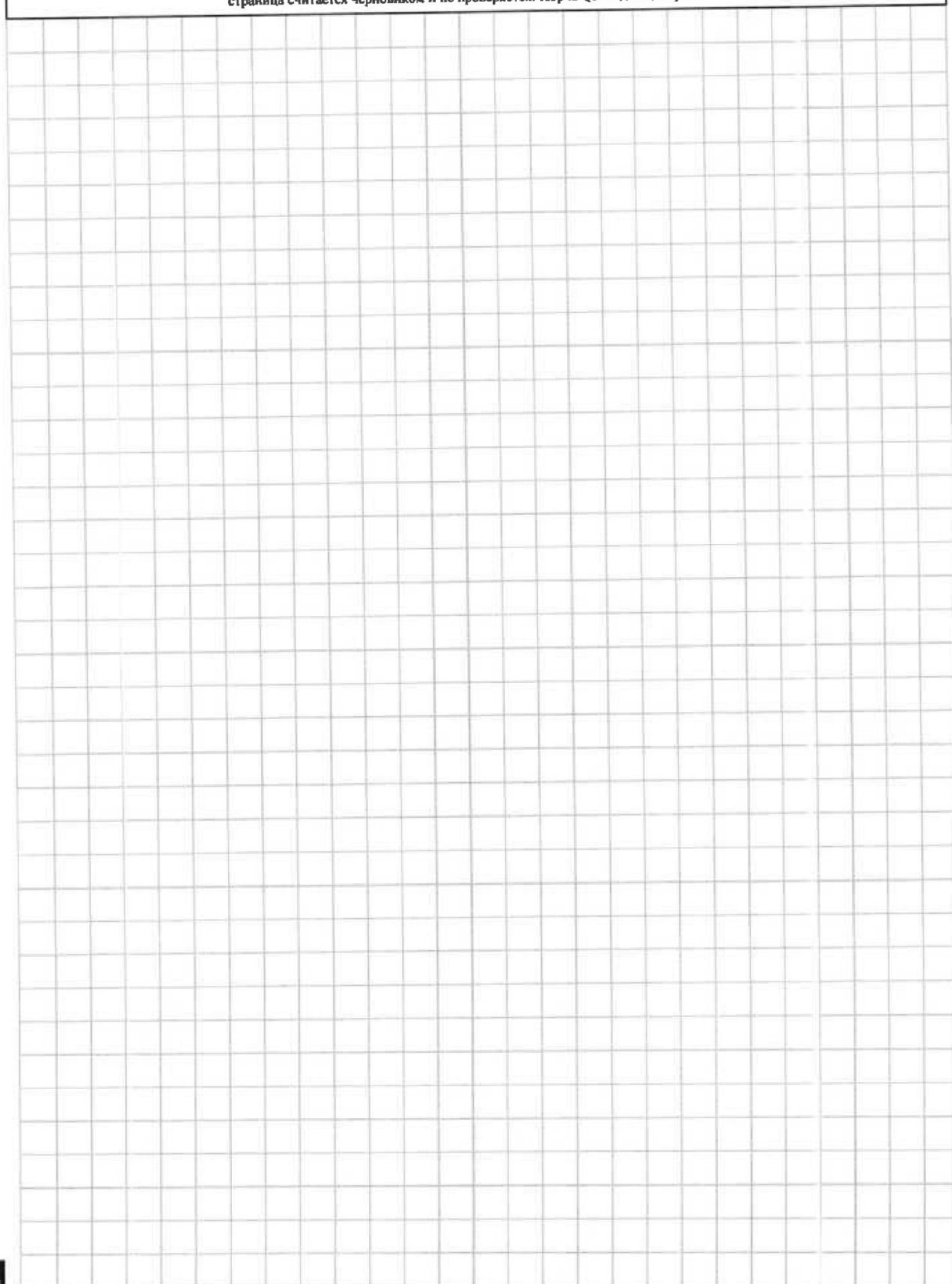
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





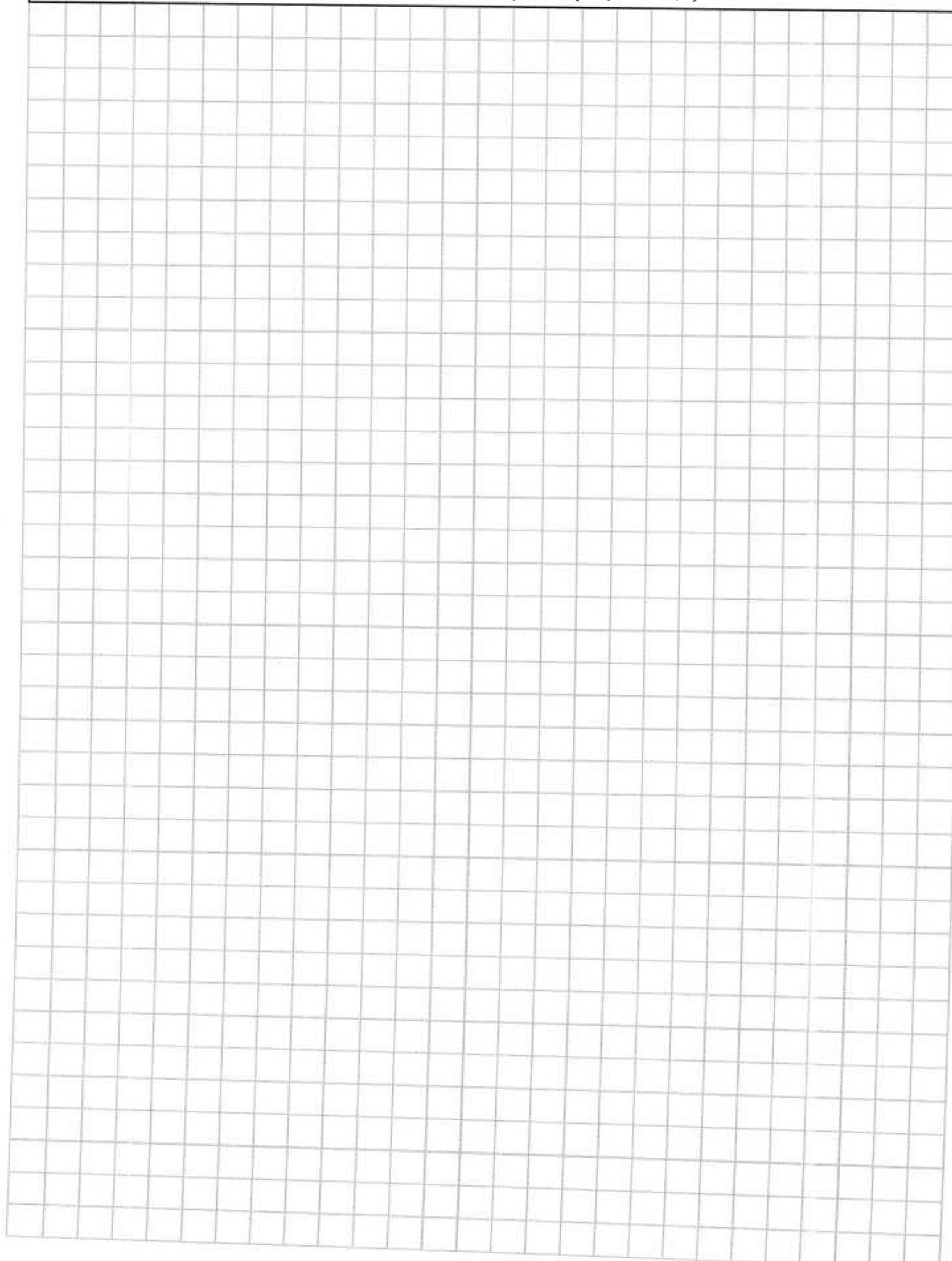
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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.

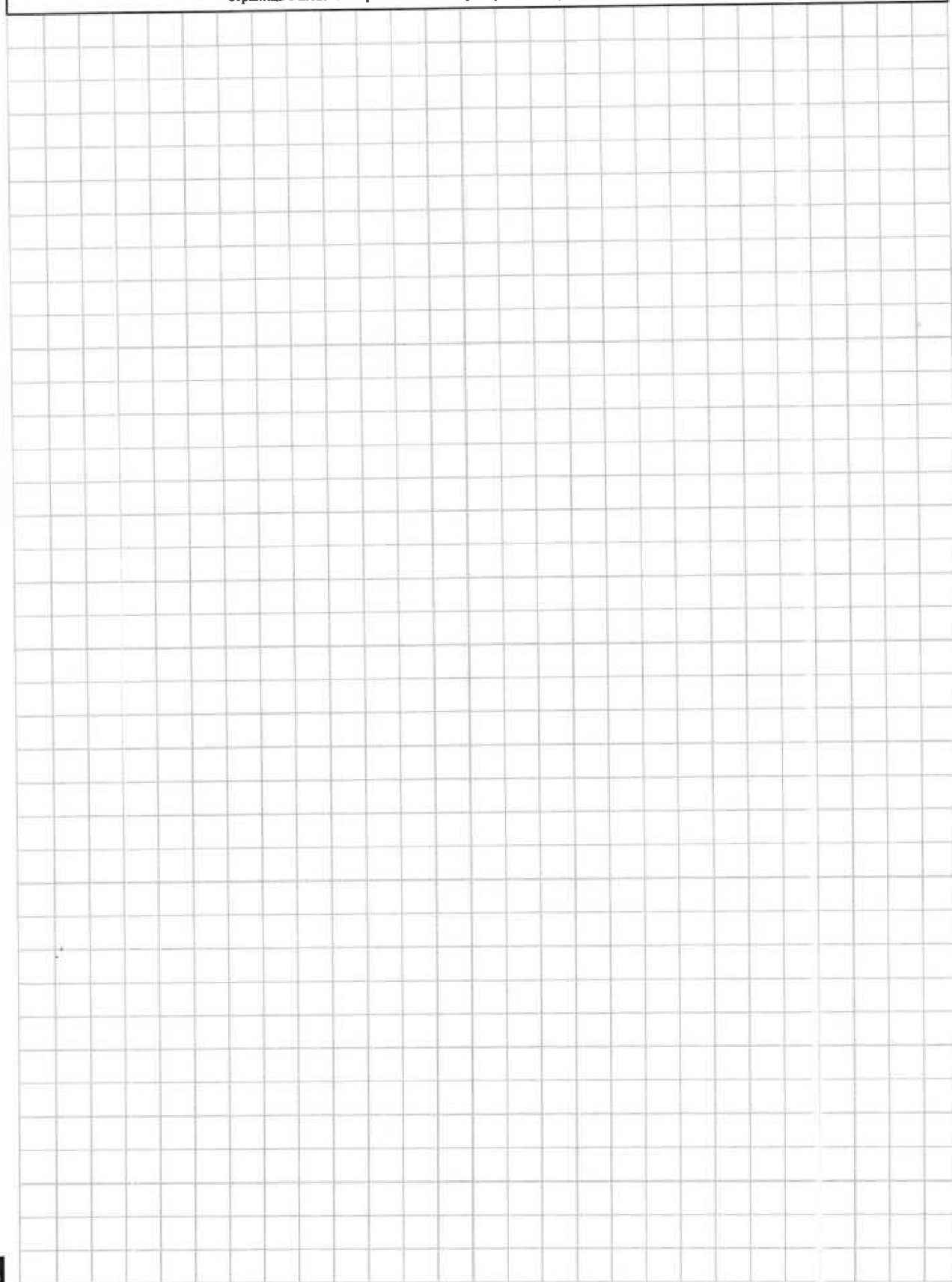
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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

