

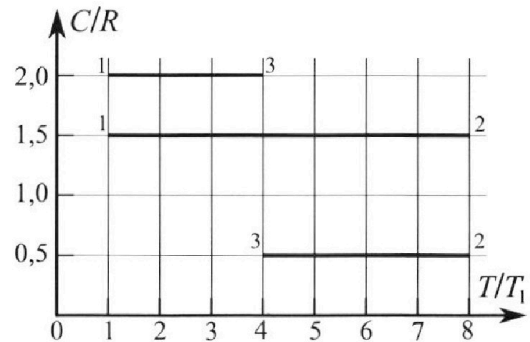
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

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



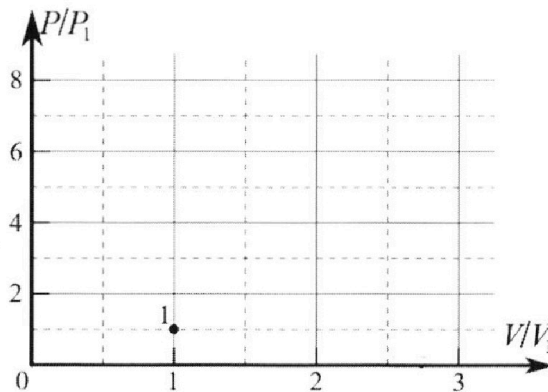
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1 = 200$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.

2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём 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  $a$  (см. рис.). Сила натяжения каждой нити  $T$ .

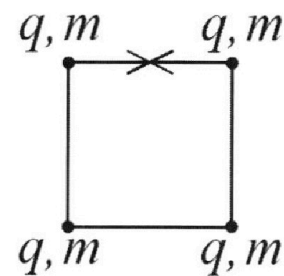
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию  $K$  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 вверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

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



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол  $\alpha = 45^\circ$  с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета  $L = 20$  м.

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью  $V_0$  к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна  $H = 3,6$  м.

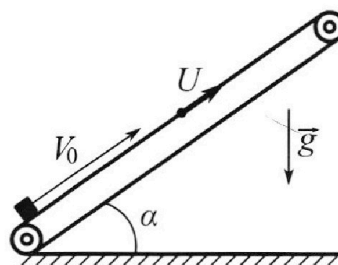
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,6$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 6$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = 0,5$ .

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь  $S$  пройдет коробка в первом опыте к моменту времени  $T = 1$  с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 1$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 6$  м/с (см. рис.).

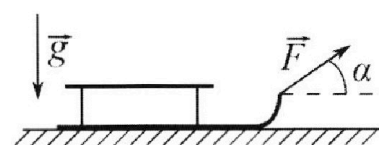
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии  $K$  на одинаковых участках пути.

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

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии  $K$  действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение  $S$  санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения  $g$ . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

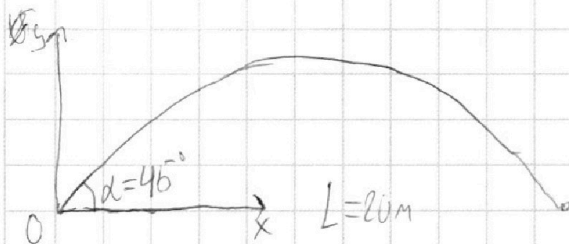
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

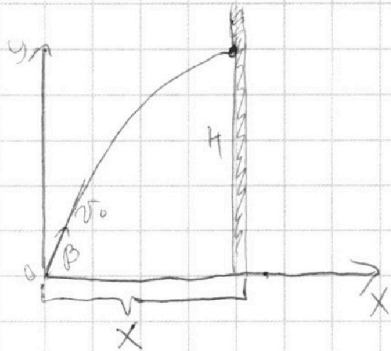
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\text{Время полета } t_n = \frac{2V_y}{g} = \frac{2V_0 \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{\sqrt{2} V_0}{g}$$

$$L = V_x \cdot t_n = V_0 \cdot \cos 45^\circ \cdot \frac{\sqrt{2} V_0}{g} = \frac{V_0^2}{g}$$

$$V_0 = \sqrt{gL} = \sqrt{10 \cdot 20} = 10\sqrt{2}$$



$$\begin{cases} H = V_y t - \frac{gt^2}{2} \\ x = V_x t \end{cases} \quad \begin{cases} H = V_0 \cdot \sin \beta t - \frac{gt^2}{2} \\ x = V_0 \cdot \cos \beta t \end{cases} \quad t = \frac{x}{V_0 \cdot \cos \beta}$$

$$H = V_0 \cdot \sin \beta \cdot \frac{x}{V_0 \cdot \cos \beta} - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{V_0^2 \cdot \cos^2 \beta}$$

$$H = \tan \beta \cdot x - \frac{g}{2} \cdot \frac{x^2}{V_0^2 \cdot \cos^2 \beta}$$

$$H' = \frac{1}{\cos^2} \cdot x - \frac{gx^2}{2V_0^2}$$

СТР 8

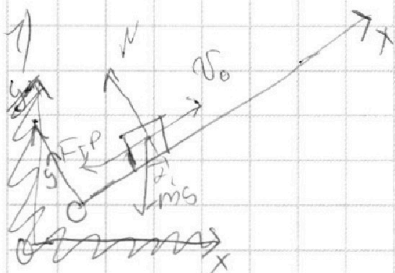
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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!



$$\text{Oy: } N = mg \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Ox: } ma = F_{TP} + mg \cdot \sin \alpha$$

$$ma = (\mu mg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha) \cdot \frac{1}{m}$$

$$a = \mu g \cdot \cos \alpha + g \cdot \sin \alpha = 0,5 \cdot 10 \cdot 0,8 + 10 \cdot 0,6 = 10 \text{ м/с}^2$$

~~8-9-10~~

~~10-11~~  $V_0 < aT$  значит скорость успеет поменять направление.

$$S = S_1 + S_2 = \left( V_0 T_1 - \frac{a T_1^2}{2} \right) + \frac{a T_2^2}{2} = \left( V_0 \frac{V_0}{a} - \frac{a \cdot \frac{V_0^2}{a^2}}{2} \right) + \frac{a \left( T_0 - \frac{V_0}{a} \right)^2}{2} =$$
$$= \left( \frac{6^2}{10} - \frac{4 \cdot 6^2}{2 \cdot 10} \right) + \frac{10 \left( 1 - \frac{6}{10} \right)^2}{2} = \frac{36}{20} + \frac{10 \cdot 0,4^2}{2} = 1,8 + 0,8 = \boxed{2,6 \text{ м}}$$

Ответ:  $S = 2,6 \text{ м}$

2) Перейдем в систему отсчета земли. Зна С0 является инерциальной. Второй пункт водится к тому что  $V_A = 5 \text{ м/с}$  а горизонт не движется. А значит для времени до полной остановки. Также так же из-за направления вектора скорости, когда подходить скорость 2 м/с в новой С0 по направлению "вниз" СТР 3



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 checked="" 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!



Время  $T_{11}$  - время до останова

$T_{12}$  - время до пуска

~~$T_{11} = \frac{v_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~

~~$T_{12} = \frac{v_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~

$$T_{11} = \frac{v_1}{a} = 0,5 \text{ c}$$

~~$T_{12} = \frac{v_1}{a} = \frac{2}{10} = 0,2$~~

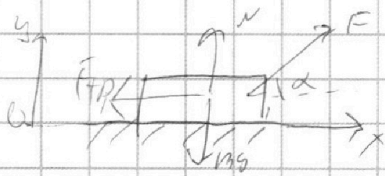
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



$$\text{о.у. } N = mg - F \cdot \sin \alpha$$

$$F_{TP} = \mu mg - \mu F \cdot \sin \alpha$$

$$a_1 m = F \cdot \cos \alpha - F_{TP}$$

$$a_1 m = F \cdot \cos \alpha - \mu mg + \mu F \cdot \sin \alpha$$

$$a_2 m = F \cdot 1 - \mu mg + \mu F \cdot 0$$

$$a_2 m = F - \mu mg$$

$$k_1 = k_2$$

$$m \frac{v_1^2}{2} = m \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_1 = v_2$$

$$a_1 t = a_2 t$$

$$a_1 = a_2$$

$$a_1 m = a_2 m$$

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

$$F(\cos \alpha + \mu F \sin \alpha - mg)$$

$$F \cdot \cos \alpha + \mu F \cdot \sin \alpha = F$$

$$\boxed{\text{Ответ: } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}}$$

$$2) S \cdot F_{TP} = K$$

$$S \cdot \mu mg = K$$

$$\boxed{\text{Ответ: } S = \frac{K}{\mu mg}}$$

СТР 5

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 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!

$$Q = A' + \Delta U$$

$$A = \Delta U - Q \quad A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T - C \nu \Delta T = \nu \Delta T \left( \frac{3}{2} R - C \right)$$

$$A_{12} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R \cdot (8T_1 - T_1) - 1,5R \cdot 1 \cdot (8T_1 - T_1) = 0 \quad \text{— значит 1-2 изохора}$$

$$A_{23} = \nu (4T_1 - 8T_1) \left( \frac{3}{2} R - \frac{1}{2} R \right) = -4 \nu T_1 R = -4 \nu R T_1$$

$$A_{31} = \nu (T_1 - 4T_1) \left( \frac{3}{2} R - 2R \right) = 3T_1 \nu \cdot \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$
$$= 1,5 \cdot 8,31 \cdot 200 = \boxed{2493 \text{ Дж}} \quad \text{объем}$$

2)  $Q > 0$  когда  $\Delta T > 0$  (т.к.  $C > 0$ ). В цикле процессов  
племне произошло только в процессе 1-2

$$Q_{12} = 9T_1 \cdot \nu \cdot 1,5R = 10,5 \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{\sum A_i}{Q_{12}} = \frac{-(A_{12} + A_{23} + A_{31})}{Q_{12}} = \frac{-(0 + (-4) + \frac{3}{2}) (\nu R T_1)}{10,5 \nu R T_1} =$$
$$= \frac{2,5 \nu R T_1}{10,5 \nu R T_1} = \frac{2,5}{10,5} = \frac{5}{21}$$

Ответ:  $\boxed{\eta = \frac{5}{21}}$

Запишем МК для состояний 1 и 2

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{8T_1} \quad V_1 = V_2$$

$$P_2 = 8P_1$$

СТР 1



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

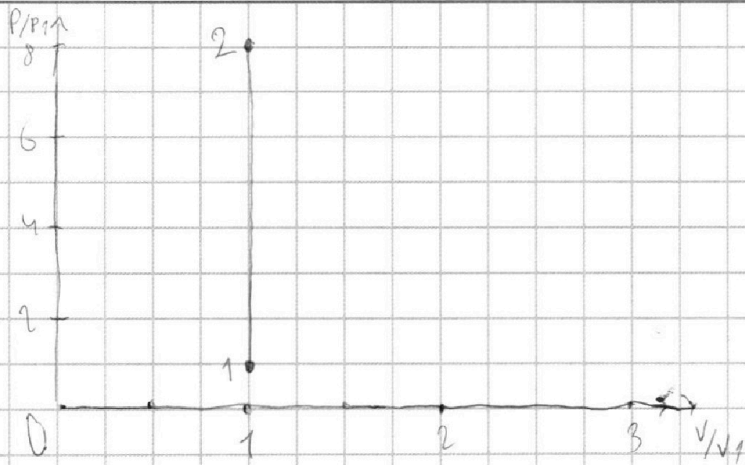
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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!



СТР 2

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

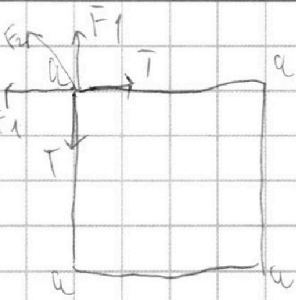
Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" 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!



Спроецируем силы на ось вдоль  
силы  $F_2$

$$F_2 + 2F_1 \cdot \cos 45 = 2T \cdot \cos 45$$

$$F_2 + \sqrt{2} F_1 = \sqrt{2} T$$

$$k \cdot \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} + \sqrt{2}k \cdot \frac{q^2}{a^2} = \sqrt{2} T$$

$$q^2 \left( \frac{k}{2a^2} + \frac{2\sqrt{2}k}{2a^2} \right) = \sqrt{2} T$$

$$q^2 = \frac{\sqrt{2} T}{\frac{k}{a^2} (1 + 2\sqrt{2})} = \frac{T \cdot 2a^2}{k} \cdot \frac{\sqrt{2}}{1 + 2\sqrt{2}}$$

$$q = \sqrt{\frac{T a^2}{k} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{1 + 2\sqrt{2}}}$$

2) Если будем считать  $k$  шарика на некоторой  
растисованной силе

Найдем разницу энергии взаимодействий

$$W_1 = 2 \cdot k \cdot \frac{q^2}{a} + k \cdot \frac{q^2}{\sqrt{2}a} = kq^2 \left( \frac{2}{a} + \frac{\sqrt{2}}{a} \right) = kq^2 \cdot \frac{4 + \sqrt{2}}{2a}$$

$$W_2 = kq^2 \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{2a} + \frac{1}{3a} \right) = kq^2 \cdot \frac{11}{12a}$$

$$W_1 = W_2 + K \quad K = W_1 - W_2$$

$$K = kq^2 \cdot \frac{1}{a} \left( \frac{4 + \sqrt{2}}{2} - \frac{11}{12} \right) = \frac{kq^2}{a} \cdot \frac{13 - 6\sqrt{2}}{12}$$

СТР 6



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

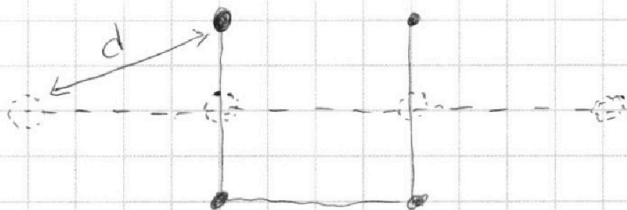
1    2    3    4    5    6    7

**МФТИ**

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



Во время процесса на заряды не действуют внешние силы, значит положение центра масс не меняется. Само положение ~~я~~ легко находится в обоих случаях из соображений симметрии.



$$d^2 = a^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{5}{4} a^2$$

$$d = \frac{\sqrt{5}}{2} a \quad \text{ответ:}$$

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!



ЧЕРКОВИКА

$$\Delta U = \frac{3}{2} VR \Delta T$$

~~A'~~

$$Q = A' + \Delta U$$

$$2R \cdot \nu \cdot 5T_1 = A' + \frac{3}{2} VR 3T_1$$

$$\frac{3}{2} VR T_1 = A'$$

$$1-2 \quad A' = 0 \text{ изохора}$$

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$dQ = p dV + \frac{3}{2} p dV + \frac{3}{2} dpV$$

$$dQ = \frac{5}{2} p dV + \frac{3}{2} dpV$$

$$dQ = dA' + dU$$

$$dQ = p dV + \frac{3}{2} VR dT$$

$$\frac{dQ}{dT} = C$$

$$C dT = p dV + \frac{3}{2} VR dT$$

$$dT \left( C - \frac{3}{2} VR \right) = p dV$$

$$\frac{dT}{dV} = \frac{p}{C - \frac{3}{2} VR} = \frac{\frac{VR}{V}}{C - \frac{3}{2} VR}$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{dV}{V} \cdot \frac{VR}{C - \frac{3}{2} VR}$$

$$\ln T = \ln V \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{3}{2} \frac{VR}{C}} \right) + C$$

$$T = V \cdot e^{\dots}$$

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

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!



ЧЕРНОВИК

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

$$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' = \frac{f'(x)g(x) - f(x)g'(x)}{g(x)^2}$$

$$(f(x) \cdot g(x))' = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$$

$$\left(\sin \cdot \frac{1}{\cos}\right)' = \cos \cdot \frac{1}{\cos} + \sin \cdot \left(\frac{1}{\cos}\right)' = 1 + \tan^2$$

$$\left(\frac{1}{\cos}\right)' = \frac{\sin}{\cos^2}$$



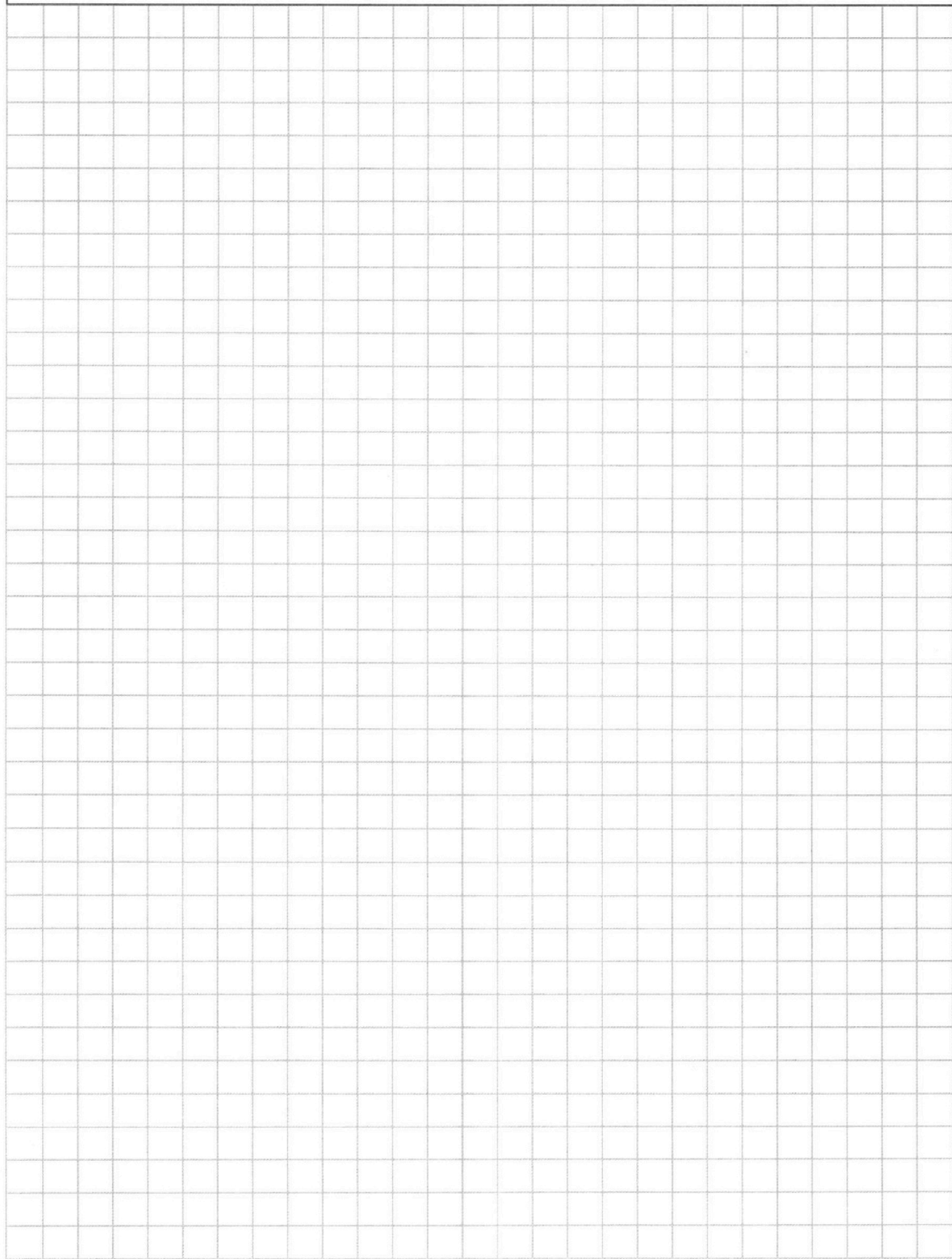
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

