



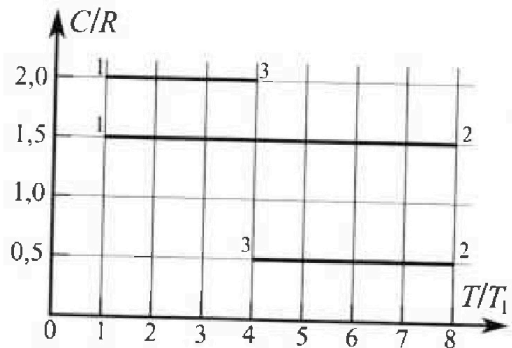
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

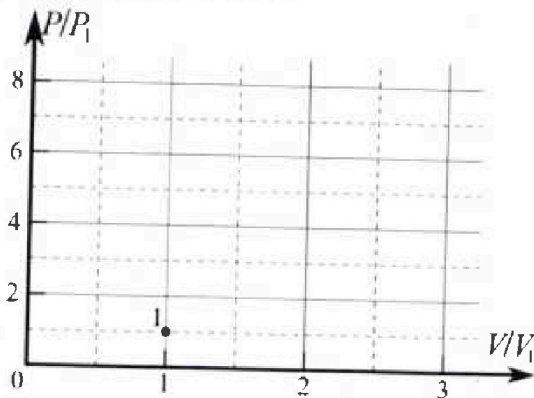


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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).

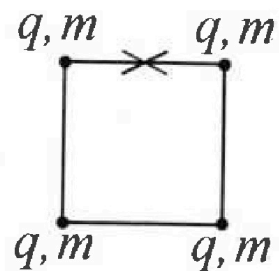


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует 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 сверху (на рисунке)? Элементарная постоянная ϵ_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.

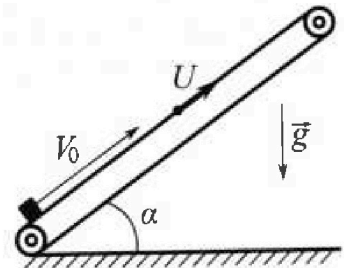
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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?

Уск орение свободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α 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.).

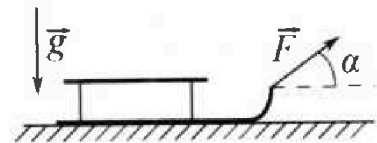
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². 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 α 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 μ 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

МФТИ

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

1) Пусть время полета $2t \Rightarrow$ время падения камня = времени полета до высшей точки $= t$; V_y и V_x проекции V_0 на ось y и x соответственно. $t = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$

Как известно, проекция скорости в высшей точке $= 0 \Rightarrow 0 = V_y - gt \Rightarrow V_y = V_0 \sin \alpha = gt = \frac{V_0}{2}$

П.к. по условию камень пролетел по оси x расстояние L и его вертикальная скорость не оказалась \Rightarrow

$\Rightarrow 2t V_x = 2t V_0 \cos \alpha = \frac{2t V_0}{2} = L \Rightarrow L = \frac{V_0^2}{2g} \Rightarrow V_0 = \sqrt{2g} = \sqrt{2 \cdot 10} = \sqrt{20} = 2\sqrt{5} \text{ м/с}$ Ответ: $V_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$

2) α - угол, под которым вылетел камень; t - время полета

П.к. H - максимальная высота (по условию) \Rightarrow в момент столкновения камня в высшей точке параболы \Rightarrow момент удара, проекция скорости камня $y = 0$, а проекция скорости на ось x во время полета не изменилась и $V_{x, \text{уд}} = V_0 \cos \alpha$

ЗСЭ: $(mgH + \frac{mV_0^2 \cos^2 \alpha}{2})_{\text{к}} - (\frac{mV_0^2}{2})_{\text{н}} = 0 \Rightarrow gH = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2} \Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2gH}{V_0^2}$

Пусть по оси y : $H = \frac{gt^2}{2}$ (П.к. $V_y = gt$) $\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ Пусть по оси x : $S = V_0 \cos \alpha t \Rightarrow \cos^2 \alpha = \frac{S^2}{2HV_0^2}$

$\Rightarrow \frac{2gH}{V_0^2} - \frac{S^2}{2HV_0^2} = 1 \Rightarrow S = \sqrt{(V_0^2 - 2gH) \frac{2H}{g}} = \sqrt{(200 - 22) \cdot 2} = \frac{26}{10} = 2,6 \text{ м}$ Ответ: $S = 2,6 \text{ м}$



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!

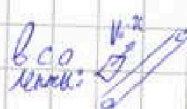


$$\sin \alpha = 0,6 = \frac{3}{5} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$= \frac{3}{5}$$

Заметим, что L_1 - время скольжения $\Rightarrow \frac{V_0}{a} = \frac{V_0}{g} = \frac{3}{5} \text{ с}$, а путь, пройденный за t_1 , равен $L_1 = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{9}{2 \cdot 5} = 0,9 \text{ м}$

За это время блок пройдет $L_2 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{g \cdot 9}{2 \cdot 25} = 0,16 \text{ м} \Rightarrow L = L_1 + L_2 = 1,06 \text{ м}$ Ответ $L = 1,06 \text{ м}$



Исконная точка остановки, когда путь от начала движения до остановки равен $\Rightarrow T = \frac{V_0 - 0}{a} = 0,5 \text{ с}$ Ответ $T = 0,5 \text{ с}$

3) Исконная точка остановки, когда путь будет равен скорости \Rightarrow и одновременно времени \Rightarrow

$$\text{Сначала пройдет вверх на } L_1 = \frac{(V_0 - 0)^2}{2a} = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ м, а потом скатится вниз на } L_2 = \frac{0^2}{2a} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ м}$$

учитывая что время разгона вниз в со катки $L = L_1 - L_2 + \left(\frac{V_0 - 0}{a} + \frac{0 - 0}{a}\right) \cdot 0 = 2 \text{ м}$ Ответ $L = 2 \text{ м}$



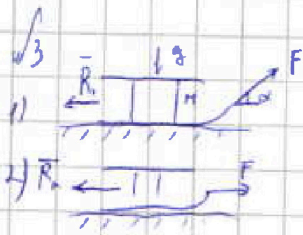
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



R - сила реакции $\Rightarrow R_1 = \mu(Mg - F \sin \alpha)$ и $R_2 = \mu \sin \alpha$

μ т.к. из равновесия вертикальной оси $K \Rightarrow$ из равновесия горизонтальной оси V и Z \Rightarrow $R_1 = R_2$

тогда $R_1 = F \cos \alpha - R_1$ и $R_2 = F - R_2 \Rightarrow F \cos \alpha - \mu(Mg - F \sin \alpha) = F - \mu \sin \alpha \Rightarrow \mu = \frac{F(1 - \cos \alpha)}{F \sin \alpha}$ Ответ $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

Далее нужно считать момент относительно точки O : $Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \alpha - R_2 \cdot L = 0 \Rightarrow \int = \frac{Mg \cdot \frac{L}{2} \cos \alpha}{g \mu L (1 - \cos \alpha)}$

Ответ: $\int = \frac{K \sin \alpha}{g \mu (1 - \cos \alpha)}$

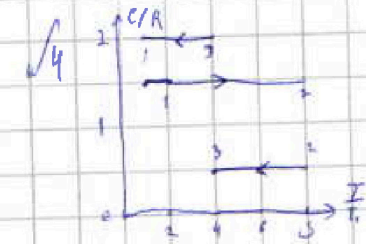
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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. Печать QR-кода недопустима!



1) Так участок 3-1: $2DR_0T_1 = -A_{31} - \frac{3}{2}DR_0T_1 \Rightarrow A_{31} = \frac{3}{2}DR_0T_1 = 24 \text{ Дж}$

~~Ответ: $A_{31} = 24 \text{ Дж}$~~ $A_{31} = 24 \text{ Дж}$

3) Заметим, что $e = \frac{3}{2}R$ соответствует изохорной процессу \Rightarrow

точка 2 соответствует $(1, 3)$ $(8, 1) T.R \frac{8T_1}{T_1} = 8$

Снова на участке 3-1: пусть координаты точки 3 - (α, β)

$\Rightarrow \alpha\beta = \frac{2R_0T_1}{P_1V_1} (3)$ и $A_{31} = \frac{(\alpha-1)(\beta-1)V_1}{2}$ и $P_1V_1 = DR_0T_1$ и $A_{31} = \frac{3}{2}DR_0T_1$

$\Rightarrow \alpha\beta = 4$ и $1 = \alpha\beta + \beta - 1 \Rightarrow \alpha - \beta = 1 \Rightarrow \beta = \sqrt{5} - 1$ и $\alpha = \sqrt{5} + 1$

$\Rightarrow 3: (\sqrt{5} + 1; \sqrt{5} - 1)$

На участках 1-2 и 3-1 $e = \text{const} \Rightarrow$ изохорный процесс

изохорный процесс ~~процесс~~ ~~процесс~~ работа в процессе 2-3

2) $\eta = \frac{|A_{23}| + |A_{31}|}{2Q_{12}}$ где $A_{23} = (\frac{1}{2}R - \frac{3}{2}R)DR_0T_1 = -DR_0T_1 = 4DR_0T_1 \Rightarrow |A_{23}| + |A_{31}| = \frac{5}{2}DR_0T_1 \Rightarrow \eta = \frac{5}{21} = 23.8\%$

\leftarrow изменение энергии $Q_{12} = \frac{3}{2}DR_0T_1 = \frac{21}{2}DR_0T_1$

Ответ: $\eta = \frac{5}{21} = 23.8\%$

Ответ: $\eta = \frac{5}{21}$

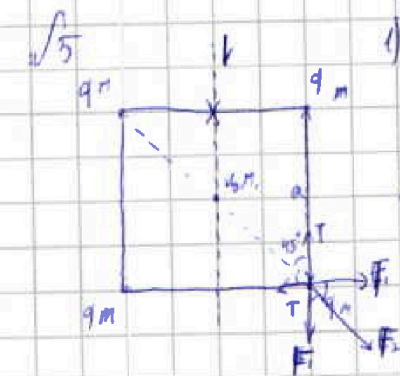
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



1) Т.к. система симметрична относительно z и y осей, то достаточно рассмотреть только F_1 - сила вверху соседних зарядов F_2 - перпендикуляр оси.

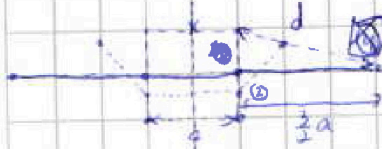
решением равенства сил на z оси выведем к этой формуле (т.к. равенство сил на z оси равно нулю)

$$2T \cos 45^\circ = F_2 + 2F_1 \cos 45^\circ \text{ где } F_2 = \frac{kq^2}{2a^2} \text{ и } F_1 = \frac{kq^2}{a^2}$$

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

~~Ответ: $q = \sqrt{\frac{T a \sqrt{2}}{k(1 + 2\sqrt{2})}}$~~

l - ось симметрии, которая не деформируется при перемещении зарядов (ионы)



2) Сделаем, что изначально не деформируется центр иона системы и после перемещения не поворачивается никакая внешняя сила \Rightarrow когда все ионы выстроились вдоль линии z и (не поворачивая свое положение) будут серединой этой линии $\Rightarrow d = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{2a}{2}\right)^2} = a\sqrt{\frac{5}{2}}$

(т.к. средние заряды зацепятся друг на друга сильнее всего, а на крайние все отталкиваются \Rightarrow все ионы в итоге будут наклонены) Ответ: $d = a\sqrt{\frac{5}{2}} = a\sqrt{2,5}$

2) Ответ 1: $q = \sqrt{\frac{T a^2 \sqrt{2} \pi \epsilon_0}{1 + \sqrt{2}}}$

т.к. $\frac{kq^2}{a^2} = 2\sqrt{2}Ta$

3) Сделаем $3 \sum F_z = \left(\frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2,5a} + \frac{kq^2}{4a} - kK\right) - \left(\frac{4kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{\sqrt{2}a}\right) = 0 \Rightarrow K = Ta \cdot \left(\frac{1,95 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)$

Ответ: $K = Ta \left(\frac{1,95 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right)$

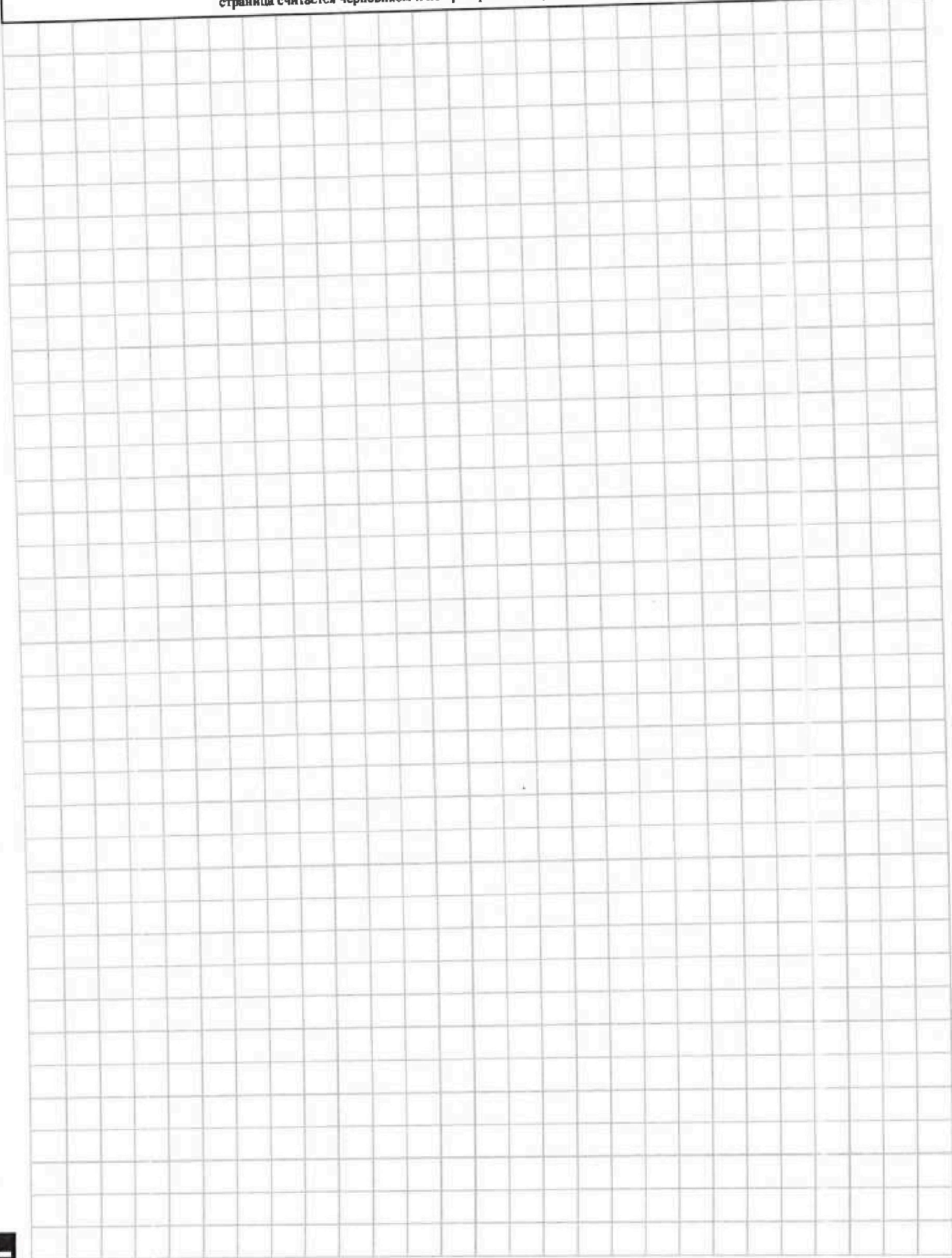


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!





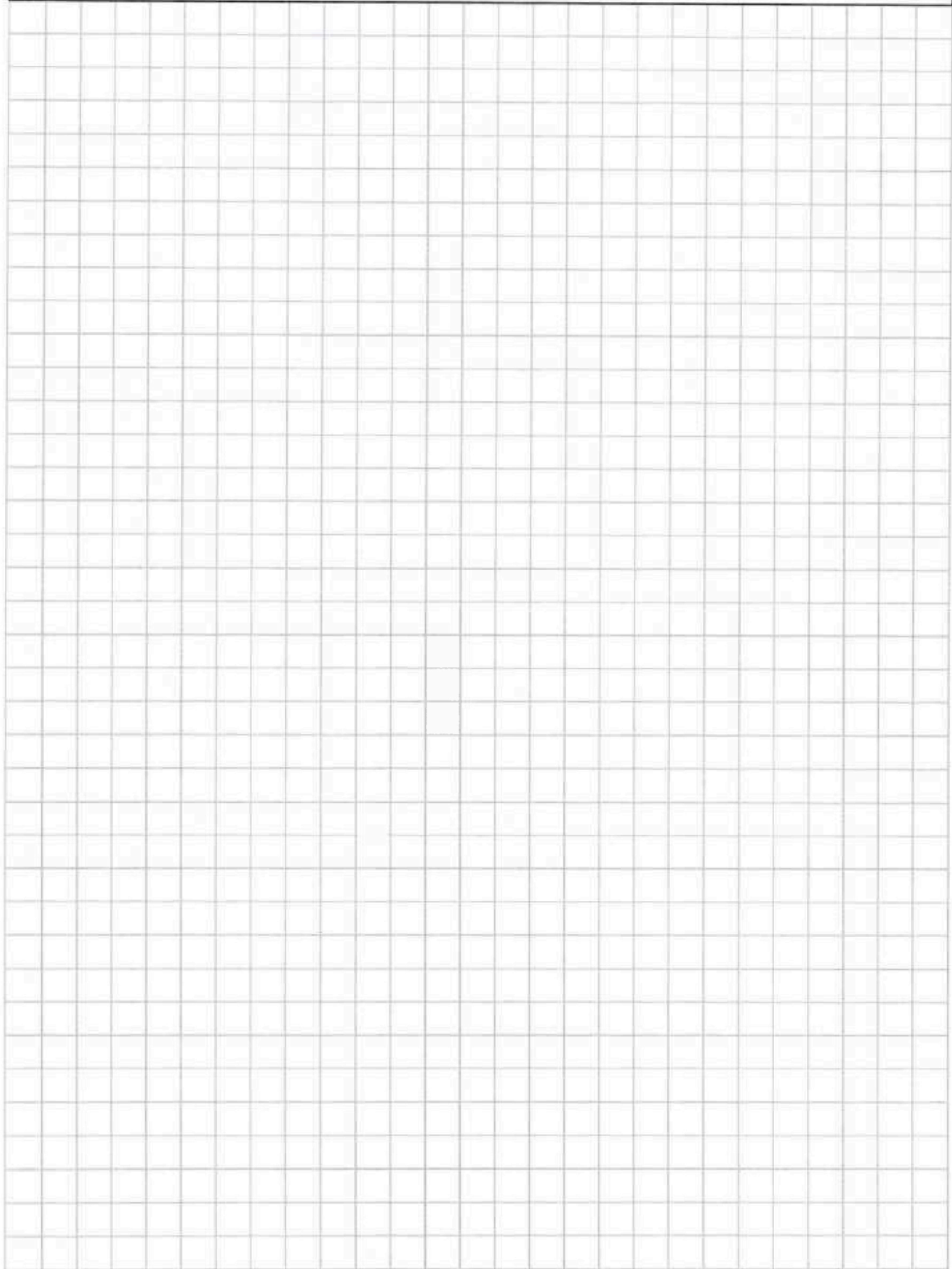
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





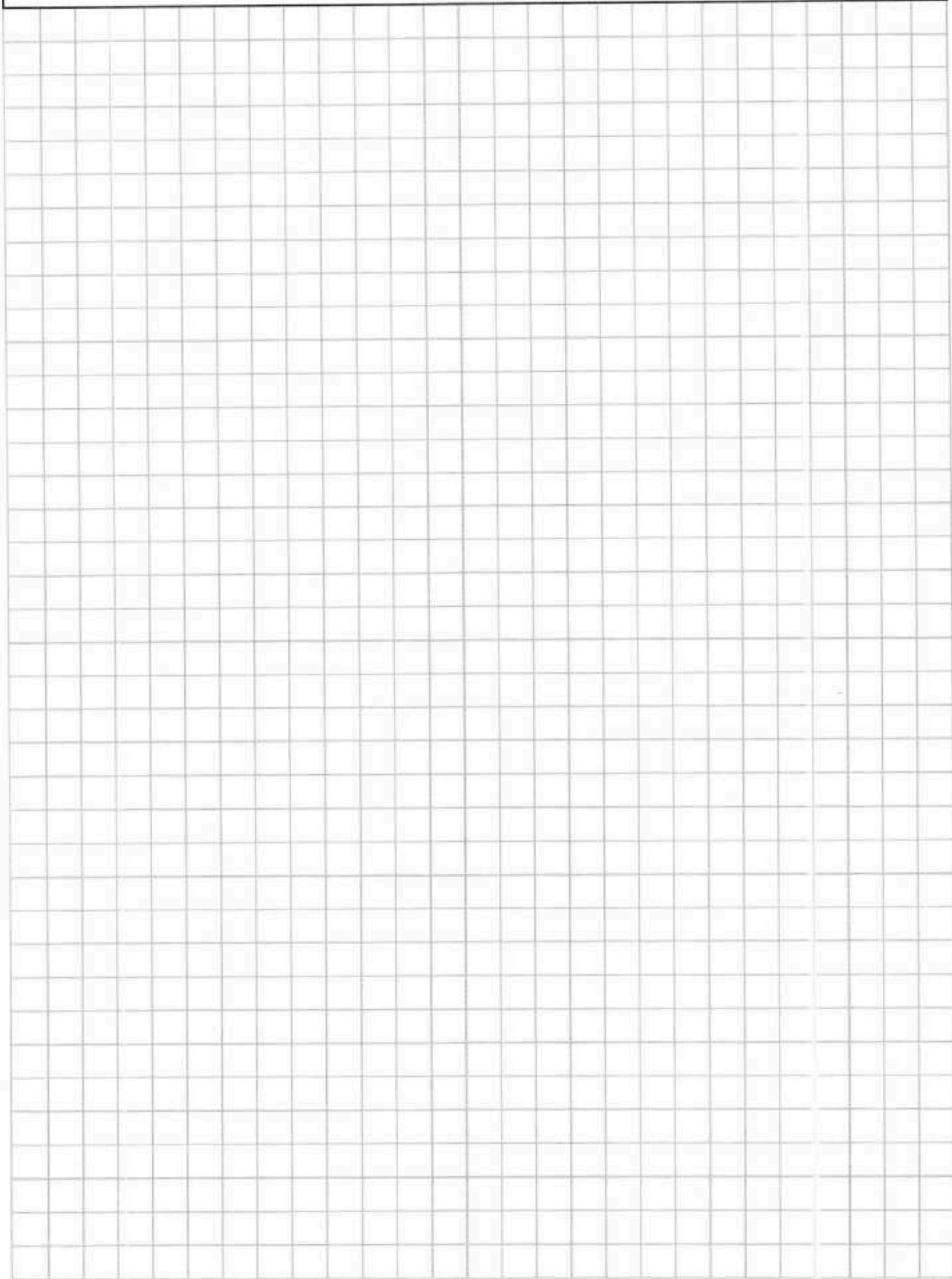
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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"/>

 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

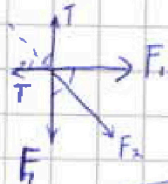
МФТИ

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

√5 9.

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

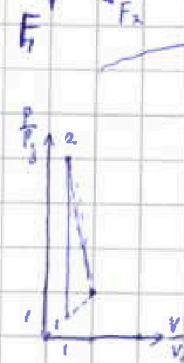
$$F_1 = \frac{kq^2}{a^2} \text{ и } F_2 = \frac{kq^2}{2a^2}$$



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

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

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 24 \dots \\ \hline 2993 \end{array}$$



$$(1-\beta) 4 - 3\beta = k, \beta + \left(\frac{3}{2} - 3\beta\right)$$

$$-3\beta = 2k, \beta$$

$$\frac{3}{2} = \frac{(1-\beta)(\beta-1)}{1}$$

$$3 = 4 - \beta$$

$\frac{2a}{2}$

$$300 - 8,31$$

$$\times 831$$

$$\frac{24 \dots}{3}$$

$$24 \dots$$

$$\beta + 2 = \frac{d}{3}$$

$$2 - \beta = 2$$

$$d = 2 + \beta$$

$$\beta + 2\beta - 4 = 0$$

$$\beta = \frac{-(-1) \pm \sqrt{1+1}}{\sqrt{5}-1} = \sqrt{5}-1$$

$$\frac{a}{2} \sqrt{\frac{1+9}{14}}$$

$$\frac{p}{v} \quad d\beta = 4$$

$$d = \beta$$

$$4 - 1,5$$

$$2,5 \frac{5}{2}$$

$$A_{23} = \frac{q^2}{C} \left(\frac{2}{a} \right) \frac{2R_{21} T}{F_{11}}$$

$$\frac{4kq^2}{a} = \frac{2kq^2}{\sqrt{2}a}$$

$$\frac{(3 + \sqrt{2})kq^2}{a} = \frac{4\pi\epsilon_0}{2} \cdot \frac{kq^2}{a} \left(\frac{3}{2,5a} + \frac{1}{4} \right)$$

$$\frac{2}{5} \frac{4}{5}$$

$$V_0 \sqrt{\frac{2,1 + \sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0}}$$

$$\frac{kq^2}{a} \left(3 + \sqrt{2} - \frac{1}{4} - \frac{4}{5} \right)$$

$$0,25 \cdot 0,8$$

$$\sqrt{2} T a (1,75 + \sqrt{2})$$

$$\frac{10}{2}$$

$$\frac{kq^2}{a}$$

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) $V_{\text{сид}} = gt$
 $V_{\text{сид}} = \frac{L}{t}$
 $gt = \frac{L}{t} \Rightarrow 2gt^2 = L \Rightarrow t = \sqrt{\frac{L}{2g}}$
 $\sin \alpha = \frac{V_{\text{сид}}}{V_0} = \frac{L}{V_0 t}$
 $V_0 = \sqrt{\frac{2L}{t^2}} = \sqrt{2g}$
 $\cos \alpha = \frac{V_{\text{гор}}}{V_0} = \frac{gt}{V_0} = \frac{gt}{\sqrt{2g}} = \frac{t\sqrt{g}}{\sqrt{2}}$
 $\cos^2 \alpha = \frac{t^2 g}{2} = \frac{L}{2} \cdot \frac{g}{2g} = \frac{Lg}{4g} = \frac{L}{4}$
 $\cos \alpha = \frac{\sqrt{L}}{2}$
 $\alpha = \arccos\left(\frac{\sqrt{L}}{2}\right)$
 $H = \frac{L}{2} = 2$
 $V_0^2 = 2gH = 2 \cdot 10 \cdot 2 = 40$
 $V_0 = \sqrt{40} = 2\sqrt{10}$
 $S = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\sqrt{10}}{L} \cdot H = \frac{1}{2} \cdot \frac{2\sqrt{10}}{20} \cdot 4 = \frac{\sqrt{10}}{5}$
 $a = (g \cos \alpha - \mu \sin \alpha) / g$
 $a_{\text{пр}} = \mu g \cos \alpha = \frac{1}{5} \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{10}}{2} = 2\sqrt{10}$
 $a = g \sin \alpha = 10 \cdot \frac{\sqrt{10}}{2} = 5\sqrt{10}$
 $L = \frac{v^2}{2a} = \frac{10^2}{2 \cdot 5\sqrt{10}} = \frac{100}{10\sqrt{10}} = \frac{10}{\sqrt{10}} = \sqrt{10}$
 $L = 1,96 \mu$

2) $V_5 = aT$
 $I_1 = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ C}$
 $S = \frac{V_1^2}{2a} = \frac{25}{2 \cdot 10} = 1,25 \mu$
 $S = \frac{V_1^2}{2a} = \frac{1}{2 \cdot \frac{10}{5}} = \frac{1}{4} = 0,25 \mu$
 $L = S - S = 1 \mu$

3) $A_1 = a \cos \alpha - \mu g \sin \alpha = a - \mu g \Rightarrow 1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$
 $2A_1 L = V_0^2 = 2A_2 L$
 $K = \mu g S M$
 $S = \frac{K}{\mu g}$
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

4) $R_1 = R_2 = 8$
 $\frac{5}{2} R = C_V$
 $\frac{3}{2} (8 p V_0 - p R_1) = 2 p R T_1$
 $12 p V_0 - 4 p R = 4 p R T_1$
 $3 V_0 - R = 4 R T_1$
 $12 - 4 = 4 \cdot 8 \Rightarrow 8 = 32 T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{1}{4}$
 $2 R_1 T_1 = A_1 + 2 p R T_2$
 $2 R_2 T_2 = A_2$
 $\frac{2 R_1 T_1}{2 R_2 T_2} = \frac{A_1 + 2 p R T_2}{A_2}$
 $\frac{2 \cdot 8 \cdot \frac{1}{4}}{2 \cdot 8 \cdot T_2} = \frac{12 + 4 p R T_2}{4}$
 $\frac{4}{8 T_2} = \frac{12 + 4 p R T_2}{4}$
 $\frac{1}{2 T_2} = \frac{12 + 4 p R T_2}{4}$
 $2 = 12 + 4 p R T_2$
 $4 p R T_2 = -10$
 $T_2 = -\frac{10}{4 p R}$
 $2 R_1 T_1 = A_1 + 2 p R T_2$
 $2 \cdot 8 \cdot \frac{1}{4} = 12 + 2 \cdot 8 \cdot \left(-\frac{10}{4 p R}\right)$
 $4 = 12 - \frac{40}{p R}$
 $\frac{40}{p R} = 8$
 $p R = 5$
 $4(2\beta - 1) = 4$
 $2\beta - 1 = 1$
 $2\beta = 2$
 $\beta = 1$