



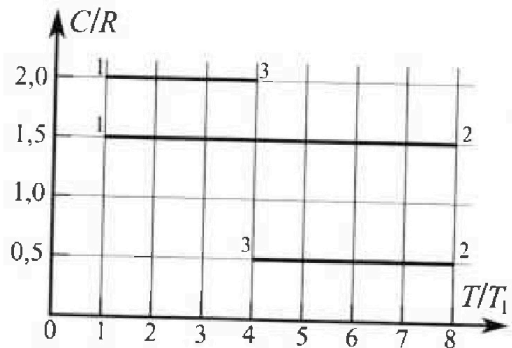
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

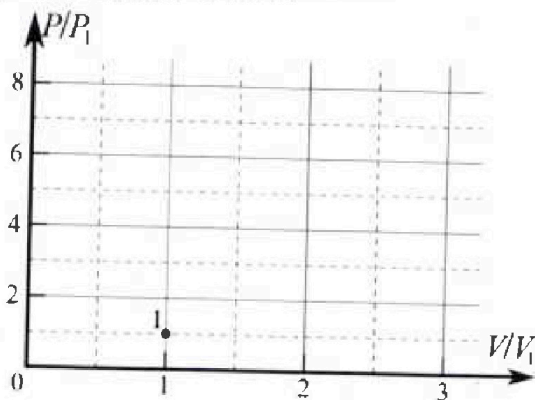


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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).

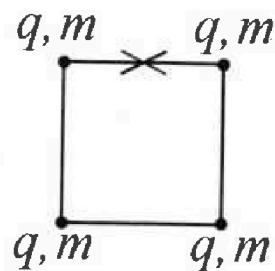


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует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

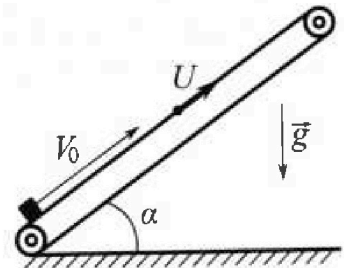
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.).

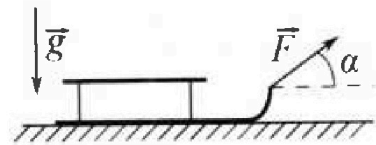
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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 t = 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 падение происходит по оси x расстояние L и ее вертикальная скорость не меняется \Rightarrow

$$\Rightarrow 2t V_x = 2t V_0 \cos \alpha = 2t \frac{V_0}{2} = L \Rightarrow L = \frac{2V_0^2}{2g} \Rightarrow V_0 = \sqrt{Lg} = \sqrt{200} = \sqrt{2} \cdot 10 \text{ м/с} \quad \text{Ответ: } V_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

2) α - угол, под которым падает мяч; t - время полета

П.к. H - неизменно возможная (по условию) \Rightarrow в момент столкновения мяча с

в высшей точке проекция \Rightarrow мяча на ось x проекция скорости мяча $y = 0$, а проекция

скорости мяча в момент падения не меняется и $V_{x, \text{пад}} = V_0 \cos \alpha$

$$3C): \left(mgH + \frac{mV_0^2 \cos^2 \alpha}{2} \right)_{\text{к}} - \left(\frac{mV_0^2}{2} \right)_{\text{н}} = 0 \Rightarrow gH = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2} \Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2gH}{V_0^2}$$

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

$$\Rightarrow \frac{2gH}{V_0^2} - \frac{S^2}{2HV_0^2} = 1 \Rightarrow S = \sqrt{(V_0^2 - 2gH) \frac{2H}{g}} = \sqrt{(200 - 22) \cdot 20} = \frac{20}{10} = 2,6 \text{ м} \quad \text{Ответ: } S = 2,6 \text{ м}$$



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!



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

$$= \frac{1}{2}$$

Заметим, что L_1 - время остановки $\Rightarrow \frac{V_0}{a} = \frac{V_0}{g} = \frac{3}{5}c$, а путь, пройденный за t_1 , равен $L_1 = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{9}{2 \cdot 5} = 1,8 \text{ м}$

За это время автомобиль проедет $L_2 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{g \cdot (\frac{3}{5}c)^2}{2} = \frac{4}{15} = 0,16 \text{ м} \Rightarrow S = L_1 + L_2 = 1,96 \text{ м}$ Ответ $S = 1,96 \text{ м}$



Исконная T, которую мы ищем, когда груз останавливается относительно лентки $\Rightarrow T = \frac{V_0 - u}{a} = 0,5c$ Ответ $T = 0,5c$

3) Исконный момент найдем, когда груз будет иметь скорость u относительно лентки \Rightarrow

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

учитывая что лентка движется вниз в со скоростью $L = L_1 + L_2 + (\frac{V_0 - u}{a} + \frac{u}{a})u = 2 \text{ м}$ Ответ $L = 2 \text{ м}$



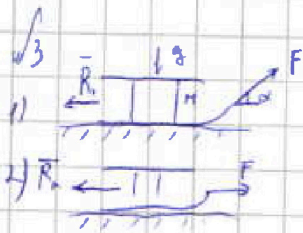
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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 струны $K \Rightarrow$ из равновесия сжатия всех звеньев
за равное расстояние $L \Rightarrow 2 \frac{R_1}{m} L = \frac{mv^2}{L}$ и $2 \frac{R_2}{m} L = \frac{mv^2}{L} \Rightarrow R_1 = R_2$

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

Далее нужно считать изменение энергии через $3(7)$: $\frac{d}{dt}(K - U) = -R_2 \dot{s} \Rightarrow \int = \frac{K \sin \alpha}{g \mu (1 - \cos \alpha)}$

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

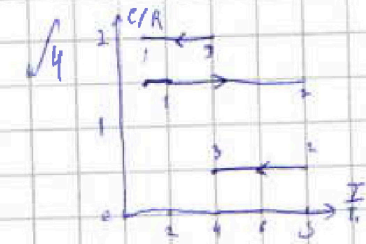
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7

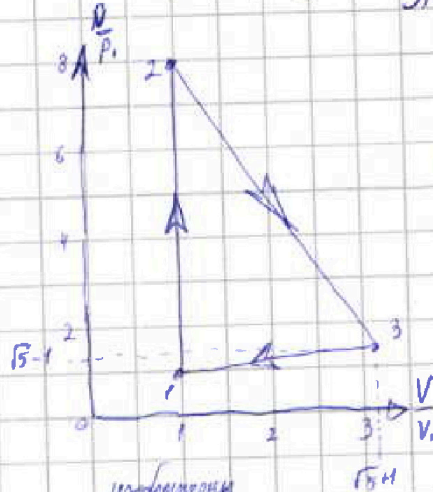
МФТИ

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 $(1, 3)$ $(8, 1) T.R \frac{P_1}{T_1} = 8$

Снова по участку 3-1: пусть координаты точки 3 - (α, β)

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

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

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

На участках $e = \text{const} \Rightarrow$ переходим от точки к точке адиабат

изобарический процесс \Rightarrow работа в процессе 23

2) $\eta = \frac{|A_{23}|}{2Q_{23}}$ где $A_{23} = (\frac{1}{2}R - \frac{3}{2}R)DR_0T_1 = -DR_0T_1 = 4DR_0T_1 \Rightarrow |A_{23}| = \frac{4}{2}DR_0T_1 \Rightarrow \eta = \frac{4}{2} \frac{DR_0T_1}{2DR_0T_1} = \frac{5}{21} = 23,8\%$

\leftarrow изменение энергии $Q_{23} = \frac{3}{2}DR_0T_1 = \frac{21}{2}DR_0T_1$

Ответ: $\eta = \frac{5}{21} = 23,8\%$

Ответ: $\eta = \frac{5}{21}$

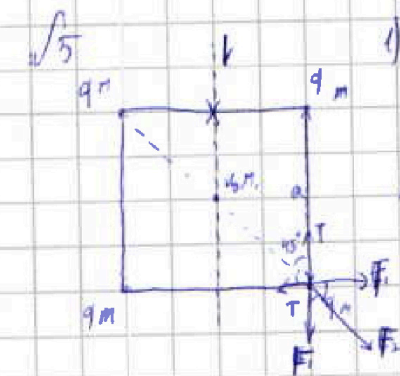
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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 - поперечная осети.

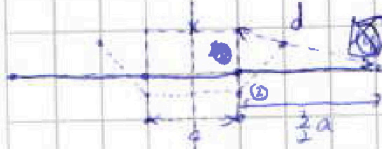
решением равенства сил на z оси выведем к этой формуле (т.к. равенство сил на z оси равно ей очевидно)

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

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

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

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



2) Заметим, что изначально не деформируется центр масс системы и после перемещения не поворачивается никакая внешняя сила \Rightarrow когда все шарики выстраиваются в одну линию

и z (не меняя свое положение) будет 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 взаимодействуют друг на друга сильнее всего, а на крайние все ослабевают)

все линии всегда будут параллельны) Ответ: $d = a\sqrt{\frac{5}{2}} = a\sqrt{2,5}$

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

т.к. $\frac{kq^2}{a^2} = 2\sqrt{2}Ta$

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

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

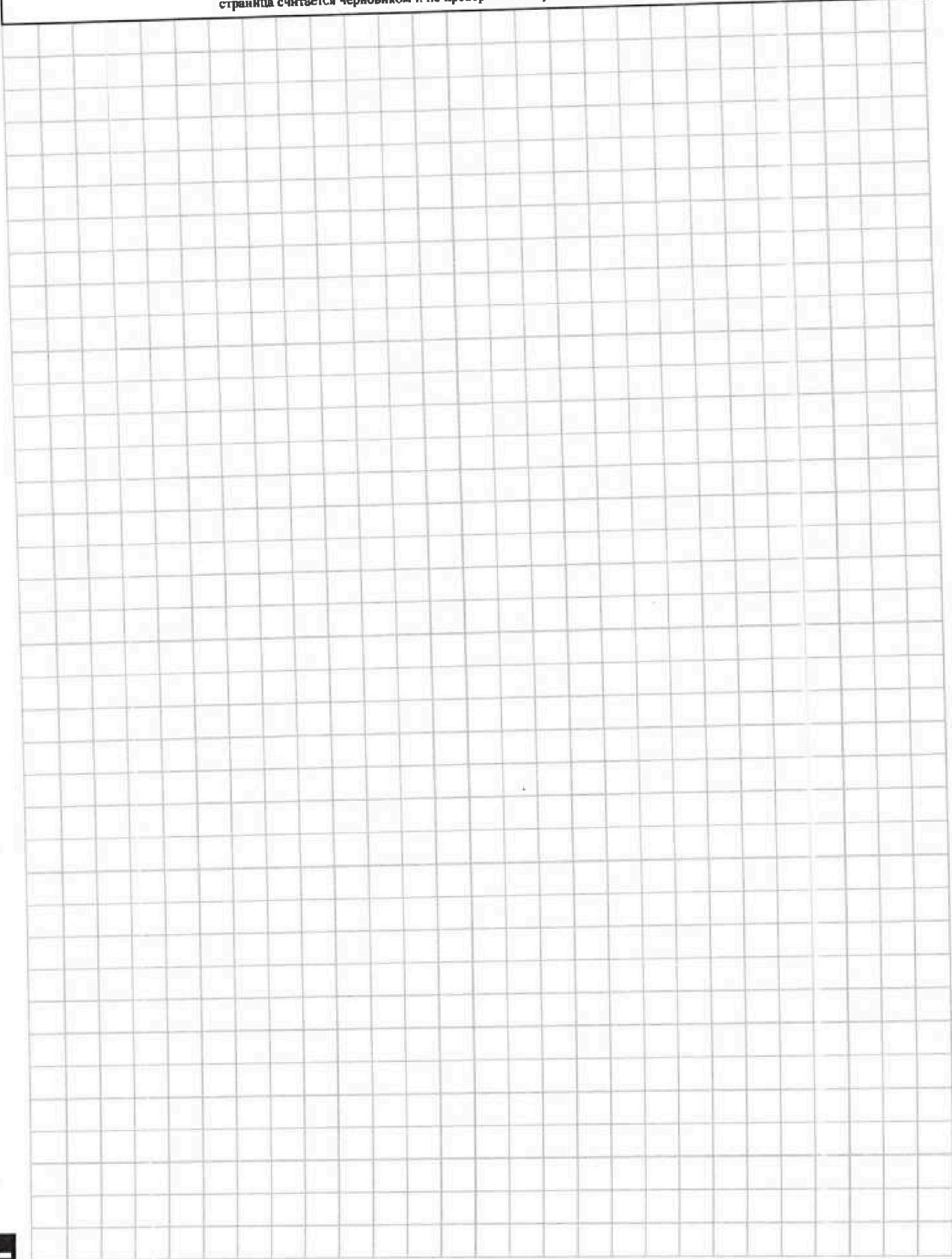


На одной странице можно оформлять только одну задачу.
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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"/>



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





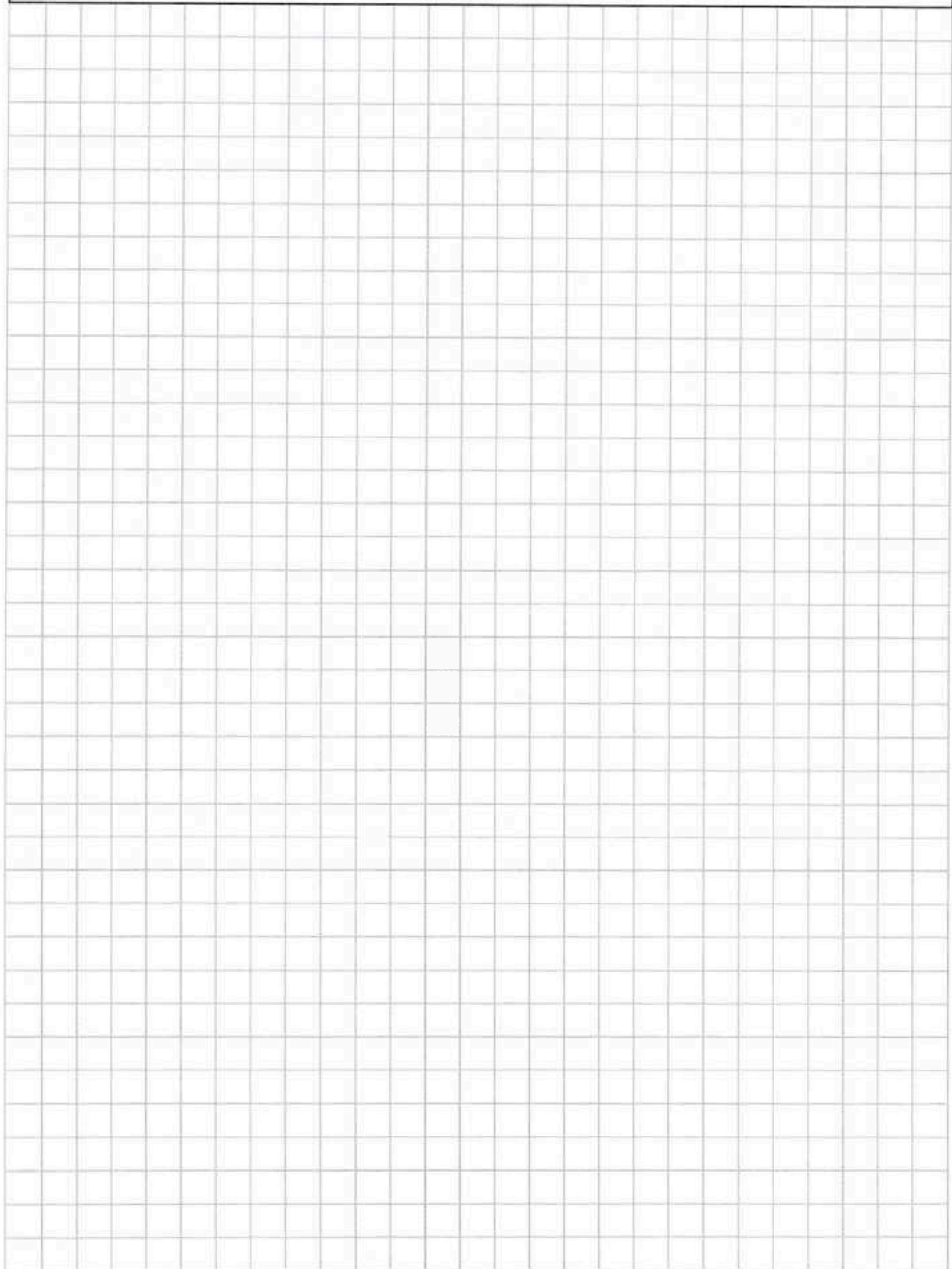
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!





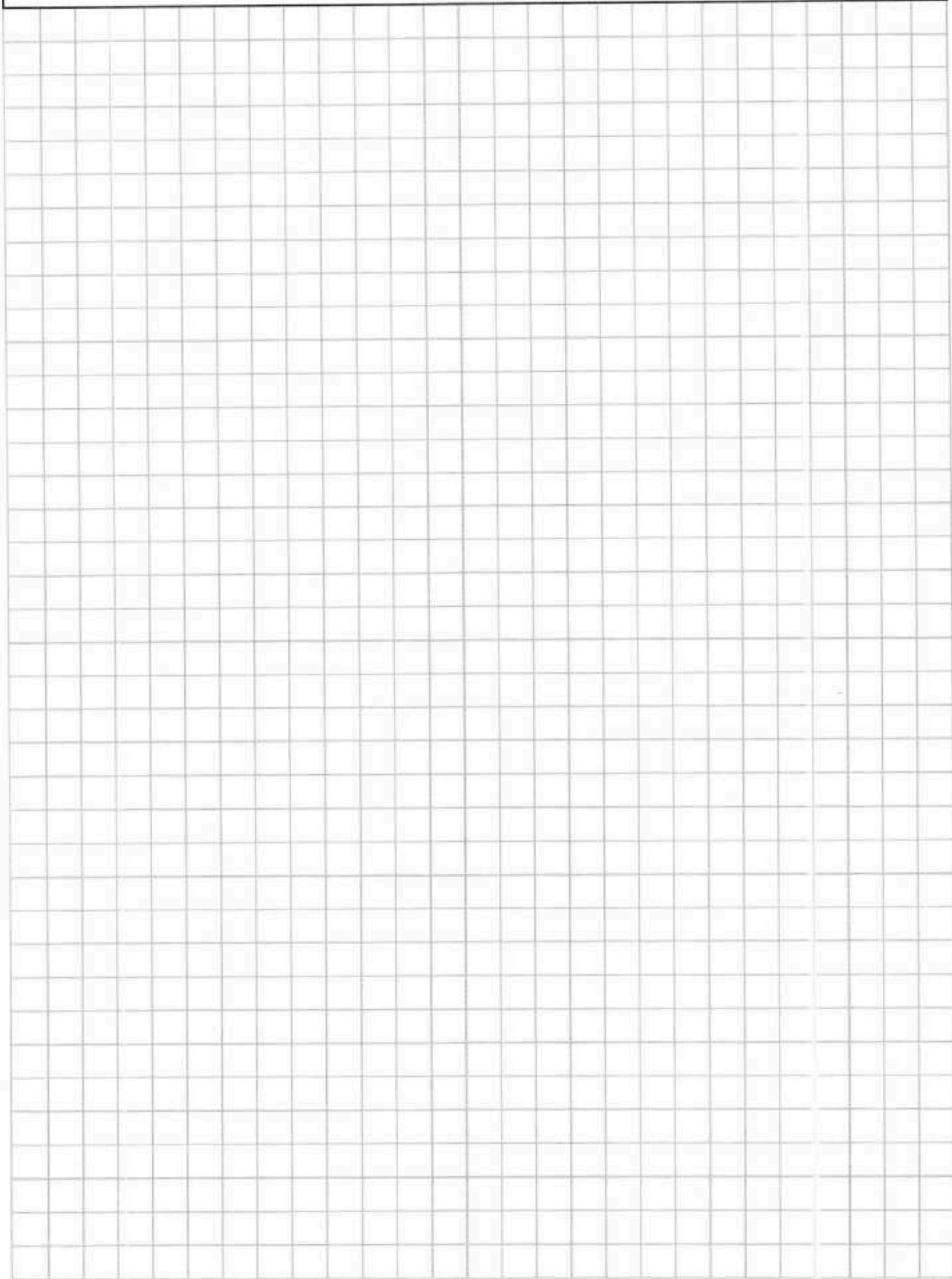
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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

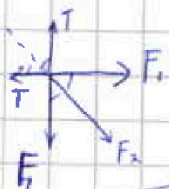
МФТИ

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

√5 9.

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

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



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

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

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



$$(1-3) \quad 4 - 3\gamma = k, \gamma + (\frac{3}{2} - 3\gamma)$$

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

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

$$3 = 4 - \beta$$

$$\frac{a}{2} \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}}$$

$$\beta \nu$$

$$\alpha = \beta$$

$$\begin{array}{r} 4 - 1,5 \\ \hline 2,5 \frac{5}{2} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 300 - 8,31 \\ \hline \times 831 \\ \hline 24 \dots \end{array}$$

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

$$\begin{array}{l} d = 2 + \beta \\ \beta + 2\beta - 4 = 0 \end{array}$$

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

$$A_{23} = \frac{q^2}{C} \left(\frac{2}{a} \right) \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

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

$$\begin{array}{r} \frac{2}{5} \\ \hline \frac{4}{5} \end{array}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2,14\sqrt{2}kq^2}{4\pi\epsilon_0}}$$

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

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

$$\sqrt{2}T a (1,25 + \sqrt{2})$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1 2 3 4 5 6 7



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



$$178 = 8 \cdot 16$$

$$72 = 8 \cdot 9$$

$$20 \cdot 3 = 60$$

$$72$$

$$72$$

$$128 = 0,42$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$

$$100$$



$$2t \cdot V_{0 \text{ об}} = L \Rightarrow 2gt^2 = L$$

$$t = \sqrt{\frac{L}{2g}}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2L}{g}}$$

$$V_{\text{сид}} = gt$$

$$V_{0 \text{ сид}} = \frac{L}{t}$$

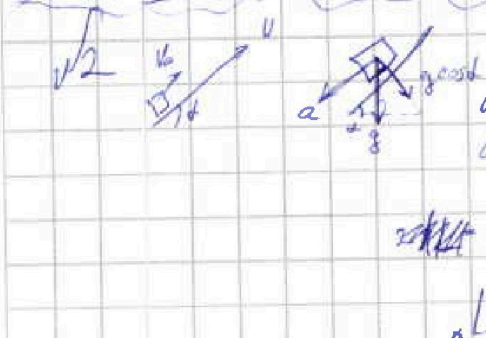
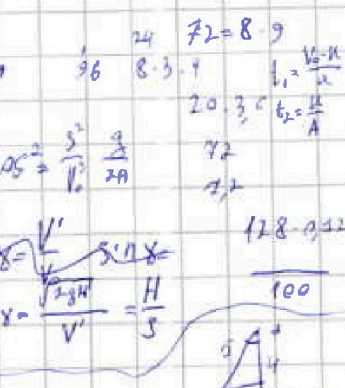
$$gt = \frac{L}{t}$$

$$H = \frac{gt^2}{2}$$

$$V_0^2 = gH + \frac{V^2}{2} \Rightarrow V^2 = g(2H)$$

$$\sin \alpha = \frac{gt}{V_0}$$

$$\cos \alpha = \frac{L}{V_0 t}$$



$$a = (g \cos \alpha + \sin \alpha) / g$$

$$a_{\text{тп}} = g \cos \alpha = \frac{L}{2t^2}$$

$$a = g \sin \alpha = \frac{L}{2t^2}$$

$$L = \frac{4}{25} \mu = 0,16 \mu$$

$$V_0 = at = 1$$

$$6 = t(10(\frac{2}{5} + \frac{3}{5}))$$

$$t = \frac{6}{10} = \frac{3}{5} \text{ сек}$$

$$L = \frac{2 \cdot 10}{2} = 10 \mu$$

$$2) \text{ CO закон: } V_5 = aT, \quad T_1 = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ C}$$

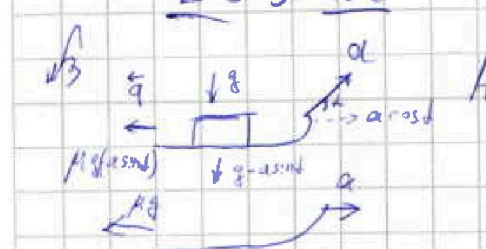
$$3) \text{ } S = \frac{V_5^2}{2a} = \frac{25}{2 \cdot 10} = 1,25 \mu$$

$$S = \frac{V_1^2}{2A} = \frac{1}{2 \cdot \frac{10}{5}} = \frac{1}{4} = 0,25 \mu$$

$$L = S - S = 1 \mu$$

$$\Rightarrow L = 1,96 \mu$$

$$L = \frac{2 \cdot 10}{2} = 10 \mu$$

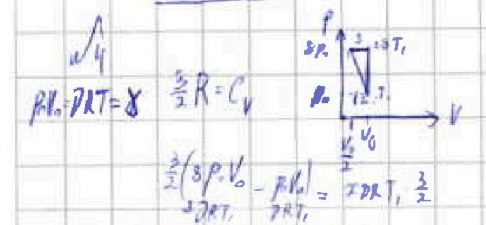


$$A_1 = a \cos \alpha - \mu g \sin \alpha = a - \mu g \Rightarrow 1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$$

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

$$K = \mu g S \mu \quad S = \frac{K}{\mu g}$$

$$1 - \cos$$



$$\frac{2R}{2} = T_2 = A_{23} + \frac{3}{2} 2R T_2$$

$$- 2R T_2 = (PV)$$

$$8PV_0 = \frac{3}{2} 2R \cdot 4T_2 = \frac{1}{2} 2R \cdot 4T_2$$

$$2R T_2 = A_{23} + \frac{3}{2} 2R T_2$$

$$\frac{2R}{2} T_2 = A_{31}$$

$$\frac{2R}{2} T_2 = \frac{3}{2} 2R T_2 = \frac{3}{2} 2R T_2 \cdot \frac{2R}{2} T_2$$

$$1-2) \frac{3}{2} 78 = \frac{1}{2} 11 + \frac{3}{2} 78 \Rightarrow V_0 \text{ const}$$

$$\beta = \frac{1+1+3}{4} = 1$$

$$4-6 = 2$$

$$2-3) \frac{1}{2} 98 = 18 + \frac{3}{2} 48$$

$$48 = 48$$

$$2\beta - \beta - 1 = 0$$

$$2R T_2 = A_{23} + \frac{3}{2} 2R T_2$$

$$\frac{2R}{2} T_2 = A_{31}$$

$$\frac{2R}{2} T_2 = \frac{3}{2} 2R T_2 = \frac{3}{2} 2R T_2 \cdot \frac{2R}{2} T_2$$