



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.

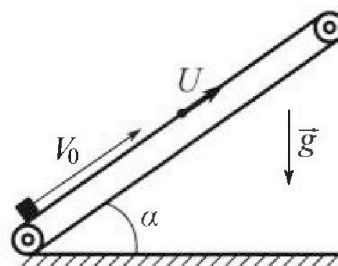
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение 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.).

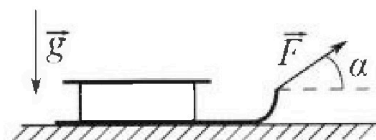
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

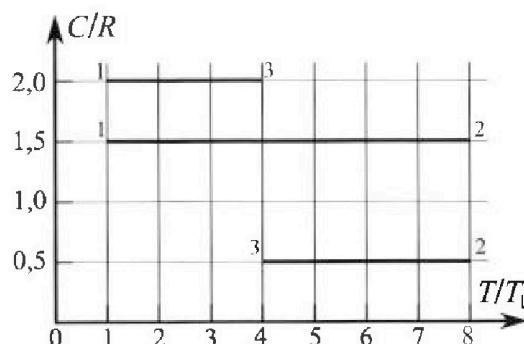
2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

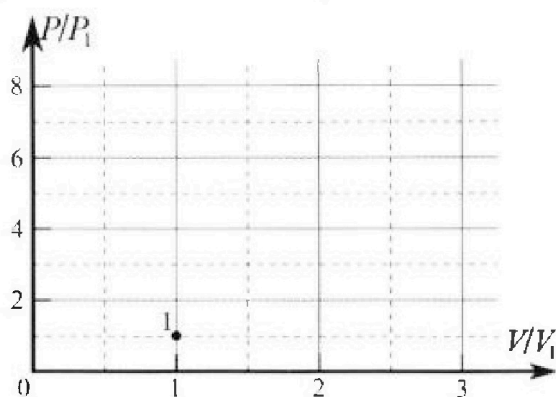
Вариант 10-02

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).

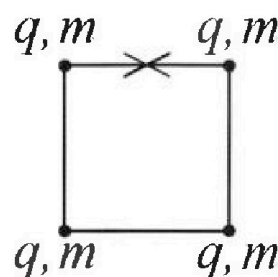


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует 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)?
- Электрическая постоянная ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

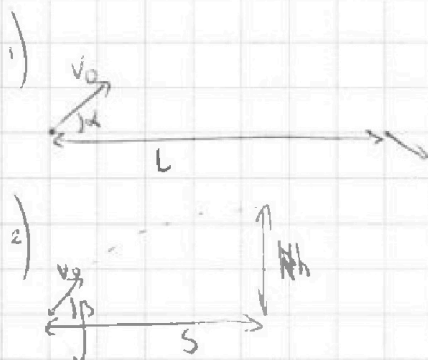
решение которой представлено на странице:

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!

$\alpha = 45^\circ$
 $L = 20 \text{ м}$
 $H = 3,6 \text{ м}$
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



$h_{\text{max}} = H$

1) Воспользуемся формулой для горизонтального перемещения

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{1}} = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$$

$v_0 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$

2) Заметим, что чтобы максимизировать при высоте полета высоту нужно иметь так, чтобы стены находились в середине горизонтального пути (если только еще и обратная). Тогда

$$L = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad \text{и} \quad S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$\Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2L}{v_0^2} = \frac{7,2}{200}$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{\frac{200 - 7,2}{200}} \quad \sin \alpha = \sqrt{\frac{7,2}{200}}$$

$$\text{Тогда } S = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha \cos \alpha}{2g} = \frac{2 \cdot 17,2 \cdot (200 - 7,2)}{2 \cdot 10} = \frac{7,2(200 - 7,2)}{10} \text{ м}$$

Ответ: $v_0 = 2 \cdot 10 \text{ м/с}$ и $S = \frac{7,2(200 - 7,2)}{10} \text{ м}$

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!



~ 2

$$\sin \alpha = 0.6 \Rightarrow \cos \alpha = 0.8$$

$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0.5$$

$$1) T = 1 \text{ c}$$

$$u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

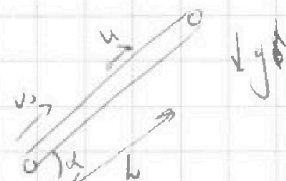
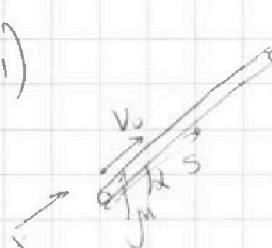
$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S = ?$$

$$2) u = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$3) L = ?$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



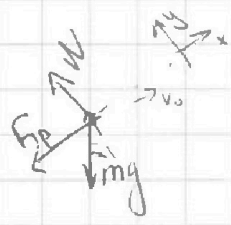
Даны:

$$S = 1 \text{ m}$$

$$T = 0.5 \text{ c}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

1) Рассмотрим силы на коробку



Закон Ньютона:

$$N = mg \cos \alpha$$

$$ma = -F_{tr} - mg \sin \alpha$$

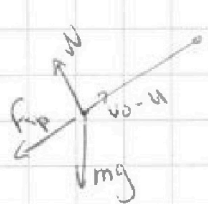
т.к. $v_0 \neq 0$, то g имеет отрицательный знак

$$F_{tr} = \mu N$$

$$\Rightarrow a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \cdot (0.5 \cdot 0.8 + 0.6) = -10 \cdot (0.4 + 0.6) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$S = v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 6 \cdot 1 + \frac{-10 \cdot 1^2}{2} = 1 \text{ m}$$

2) Чтобы скорость коробки была равна скорости ленты, она должна остановиться в ω ленте. Т.е. прекратит двигаться относительно ленты

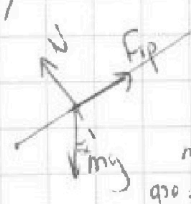


$$\text{т.к. } a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

но так как g отрицательный

$$v = v_0 + a T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{v_0 - u}{-a} = \frac{6 - 1}{10} = 0.5 \text{ c}$$

3) Заметим, что после того как коробка получит скорость u в ω ленте ее будет замедлять сила трения, а сила тяжести будет в первую очередь разгонять, т.е. будет разгонять до скорости u в ω ленте, а затем замедлять



$$ma_2 = F_{tr} - mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$\Rightarrow a_2 = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = 10(0.5 \cdot 0.8 - 0.6) = 10(0.4 - 0.6) = -2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L = \frac{u^2 - v_0^2}{2a_1} + \frac{0 - u^2}{2a_2} = \frac{1 - 36}{-20} + \frac{0 - 1}{-2} = \frac{35}{20} + \frac{1}{2} = \frac{7}{4} + \frac{1}{4} = 2 \text{ m}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

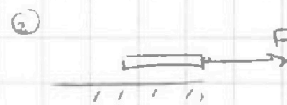
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

МФТИ

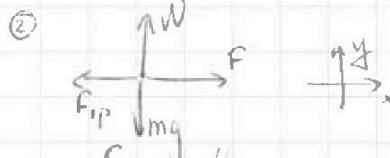
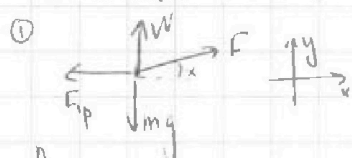
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3
1) K, α, g, μ
2) $S = ?$

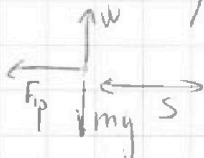


1) Т.к. санки разогнаны из состояния покоя до минимальной скорости K на одинаковых участках пути, то пройденный путь l один и тот же и минимальная скорость v одна и та же, т.к. $K = \frac{mv^2}{2}$, а $m = \text{const}$
 $a = \frac{v^2}{2s} \Rightarrow a$, ускорение санок одинаково в обоих случаях
 Рассчитаем силы



Проецируя на ось x и получаем $F_{тр} = \mu N$, т.е. сан разогнаны санки
 $N + F \sin \alpha = mg$
 $am = F \cos \alpha - F_{тр}$
 $ma = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$
 а если одинаково в обоих случаях, $\Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$
 $F \neq 0, \Rightarrow \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) После достижения минимальной скорости K сила F перестает действовать и санки начинают тормозить. Рассчитаем силы



По закону Ньютона:
 $N = mg$
 Так $F_{тр} = \mu N$, т.к.
 происходит торможение, $v \rightarrow 0$ санки претят.

По закону сохранения энергии
 $K + A_{тр} = 0$, где $A_{тр}$ - работа тр.

$$A_{тр} = -F_{тр} S = -\mu mg S \Rightarrow S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ н1, $S = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} \frac{K}{mg}$ н2

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!



~ 4

$$T_1 = 200 \text{ K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$1-2-3-1$$

$$V = 1 \text{ моль, } \kappa = 1,5$$

1) По уравнению Авогадро, что $T_3 = 4T_1$, $T_2 = 8T_1$. Т.н. рав. 1 моль, $\kappa = 1,5$, $C_v = \frac{5}{2}R$.

$$Q = \Delta U + A, \text{ где } A - \text{ работа газа} \Rightarrow Q_{12} = nU_{12} - A_{12}, \text{ т.е. } A = -A_{12}.$$

$$Q_{12} = \nu_n T_{31}, C_v \text{ по определению теплоемкости. } nU_{31} = C_v \nu_n T_{31}$$

$$\Rightarrow A_{31} = \nu_n T_{31} (C_v - C_{31}) = 1 \cdot (-600) \cdot (1,5 - 2) = 300 \text{ Дж} = 2493 \text{ Дж}$$

$$2) U_1 = \frac{5}{2} C_v RT_1$$

$$U_2 = C_v RT_2$$

$$U_3 = C_v RT_3$$

Заметим, что по уравнению Клапейрона можно вычислить $\frac{Q}{R}$ для каждого процесса.

$$\frac{Q_{12}}{R} = 7T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 = 7 \cdot 3 \cdot 200 = 4200 \text{ Дж/К}$$

$$\frac{Q_{23}}{R} = -4T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 = -2 \cdot 200 = -400 \text{ Дж/К}$$

$$\frac{Q_{31}}{R} = -3T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 2 = -6 \cdot 200 = -1200 \text{ Дж/К}$$

$$\eta = \frac{Q_r - |Q_l|}{Q_r} = \frac{Q_{12} - (|Q_{23}| + |Q_{31}|)}{Q_{12}} = \frac{4200 - 400 - 1200}{4200} = \frac{13}{21}$$

3) Заметим, что в процессе 12 $C = \frac{5}{2}R$, $\Rightarrow V = \text{const}$. Т.н. $\nu RT_2 = p_2 V_2 = p_1 V_1$, т.е. $\nu RT_1 = p_1 V_1 \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$

$$\Rightarrow p_2 = 8p_1$$

$$C_p = R + C_v \text{ по Максвеллу}$$

Воспользуемся ур. политропы

$$pV^n = \text{const}, n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$$

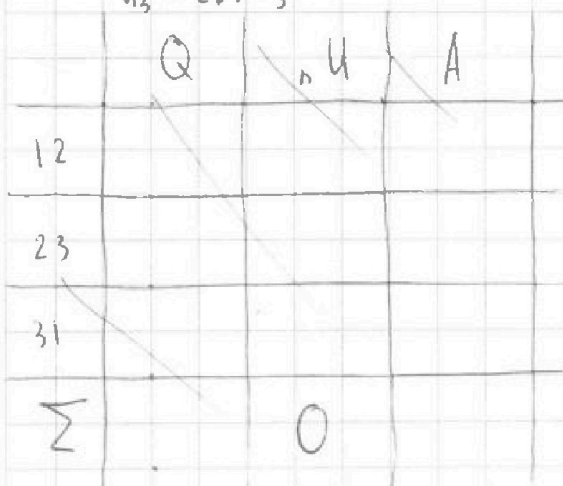
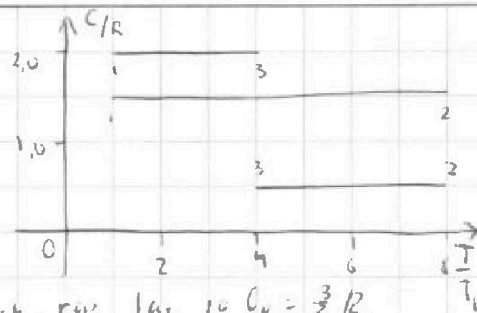
$$n_{23} = \frac{C_{12} - C_p}{C_{12} - C_v} = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = 2 \Rightarrow p_2 V_2^2 = p_3 V_3^2$$

$$\Rightarrow p_3 = p_2 \frac{V_2^2}{V_3^2} = 8p_1 \cdot \frac{1}{4} = 2p_1$$

$$\text{т.е. в } 123 \text{ } p = \frac{C}{V^2}, \text{ гиперболы}$$

$$n_{31} = \frac{C_{31} - C_p}{C_{31} - C_v} = \frac{2 - 2,5}{2 - 1,5} = -1, \text{ т.е. } p = C \cdot V - \text{ прямая}$$

$$\text{Очевидно: } A_{31} = 2493 \text{ Дж н1, } \eta = \frac{13}{21} \text{ н2, графика н3}$$



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

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

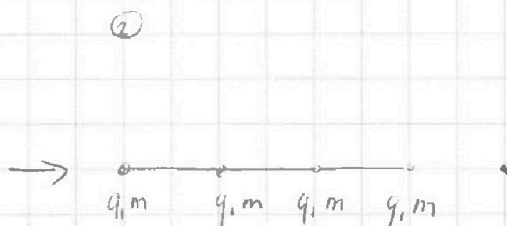
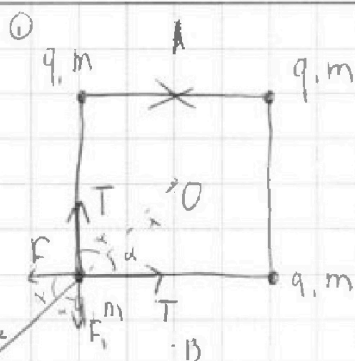
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

МФТИ

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



~ 5
1) a, T, ϵ_0
2) k
3) d



1) Заметим, что картина симметрична. Рассчитаем силу на один из зарядов. F_2, F_1 - силы кулона. F_2 - грав. пар. по диагонали, F_1 - пер. к диагонали. $F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{2a^2}$ и т.д. $F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2}$ силы кулона направленные так, т.е. q в центре притягивает

Заметим, что ЦМ системы в равновесии, $\Rightarrow$ он не движется, т.е. центр покоится и ускорения нет.

$$\Rightarrow \text{и т.д.} \quad 2T \cdot \cos \alpha = F_2 + 2F_1 \cos \alpha \quad \alpha = 45^\circ \quad \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2} \left(\frac{1}{2} + 2 \cos \alpha \right) = 2T \cos \alpha \quad q = 2a \cdot \sqrt{\frac{\pi \epsilon_0 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2} + 1}}$$

2) Заметим, что т.е. вычитается сила нет, но ЦМ покоится, его ускорения скорости 0. $\Rightarrow$ Он будет там же, где и находится. Картина симметрична от ЦМ $\Rightarrow$ линия проходит через О и ЦМ.

Там же заметим, что работа грав. кулона в этой системе ускорение каждого тела направлено по ОХ и скорость там (по выводу) по тому направлению, $\Rightarrow$ тело не имеет $k=0$



Вычитается система начальных положений зарядов по 1. Радиус-вектор $d = \left(a^2 + \frac{a^2}{2} \right)^{1/2} = \frac{a}{2} \sqrt{5}$

Ответ: $q = 2a \sqrt{\frac{2\pi \epsilon_0 \sqrt{2}}{2\sqrt{2} + 1}}$ н1, $k=0$ н2; $d = \frac{a}{2} \sqrt{5}$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

300

$$\frac{hL \cdot \omega^2}{c^2}$$

$$\frac{\omega^2}{c}$$

и

4200

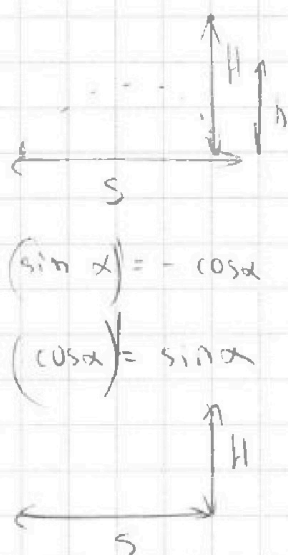
$$L = v \cos \alpha \cdot 2\tau$$

$$g\tau = \frac{v \sin \alpha}{v \cos \alpha}$$

$$\tau = \frac{v \cos \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow h = \frac{v^2 \sin \alpha \cos \alpha \cdot 2}{g}$$

$$= \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$$



$$S = v \cos \alpha \cdot t$$

$$t = \frac{S}{v \cos \alpha}$$

$$H = v \sin \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2}$$

$$H = v \sin \alpha \cdot \frac{S}{v \cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H' = S \frac{(-\cos \alpha) \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{\cos^3 \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v^2 \cos^2 \alpha} \cdot \sin \alpha$$

$$0 = 1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{g S}{4 v^2 \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$\frac{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{-g S}{4 v^2 \cos \alpha \sin \alpha}$$

$$\frac{g S}{4 v^2} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = -\tan \alpha$$

1600

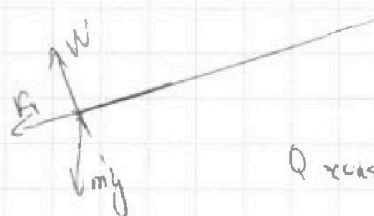
4200

1600

26

$$\frac{26}{42} =$$

$$= \frac{13}{21}$$



$$\frac{m v^2}{2} = k$$

v^2

alpha =

Q_{\text{раст}}

2 \cos

$$C = \frac{Q}{V_n T}$$

$$A_{31} = V_n T (C - C_0)$$

C/V_n T

$$Q = A_{\text{раст}} C_0 V_n T$$



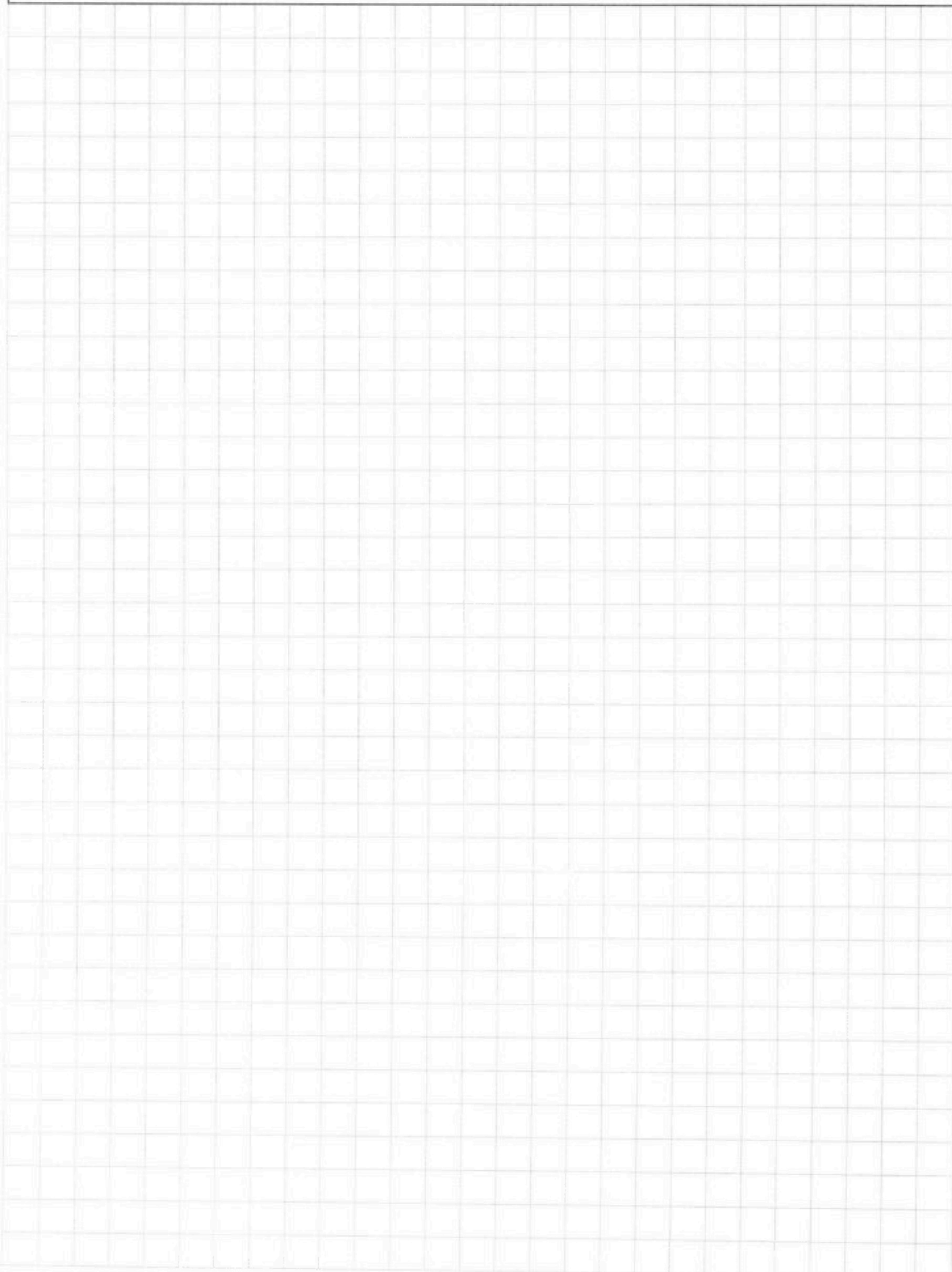
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





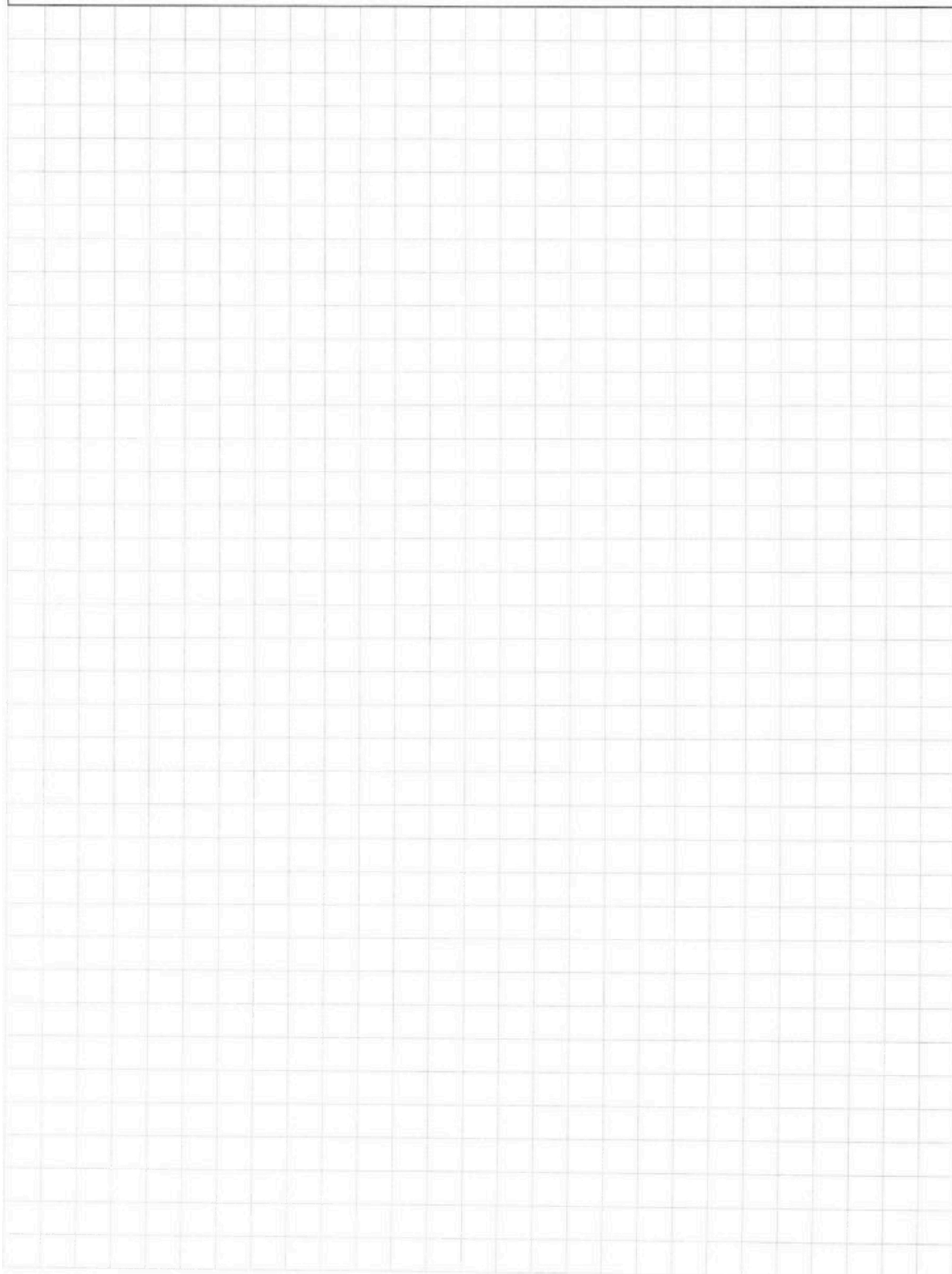
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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!

