



# 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.

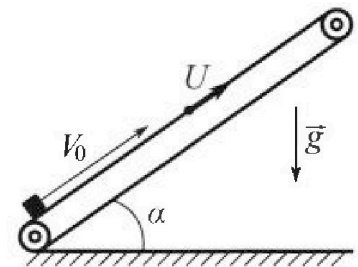
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/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.).

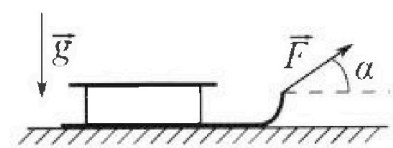
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

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.

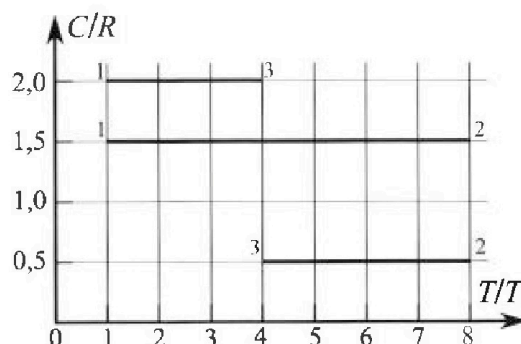
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

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



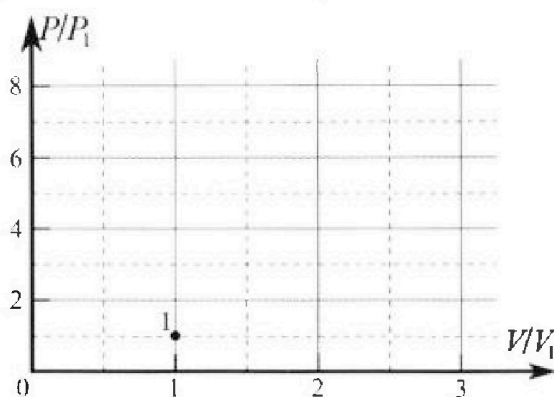
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 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  $T$ .

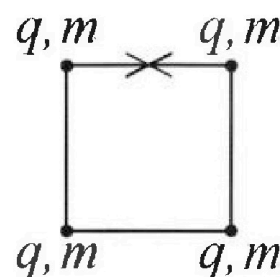
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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 сверху (на рисунке)?

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



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

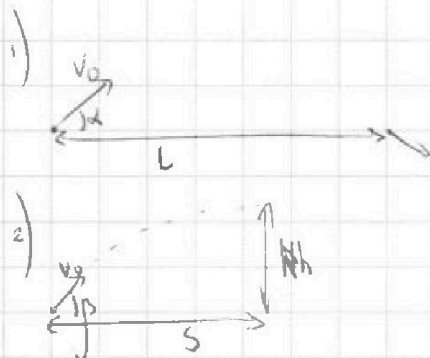
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

$\alpha = 45^\circ$   
 $L = 20 \text{ м}$   
 1)  $v_0 = ?$   
 $H = 3,6 \text{ м}$   
 2)  $S = ?$   
 $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



$h_{\max} = H$

1) Воспользуемся формулой для горизонтального перемещения

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

2) Заметим, что чтобы максимално при высоте точки броска минимизировать падение так, чтобы стена находилась в середине горизонтального пути (если считать еще и обратно). Тогда

$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$  и  $S = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

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

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

Тогда  $S = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 172 \cdot \sqrt{200 - 7,2}}{2 \cdot 10} = \frac{7,2(200 - 7,2)}{10} \text{ м}$

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



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!



~ 2

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

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

$$\mu = 0.5$$

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

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

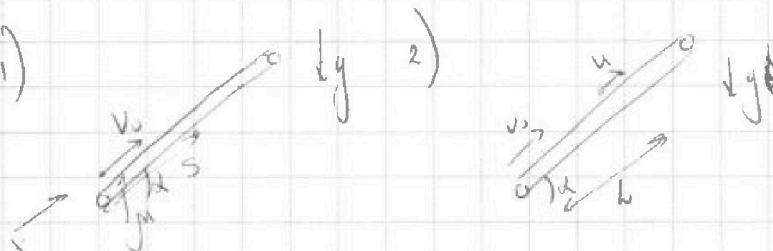
$$v_0 = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

S - ?

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

$$3) L - ?$$

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



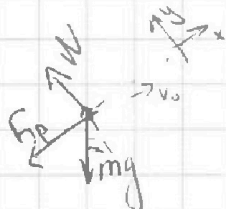
Даны:

$$S = 1 \text{ m} \quad n_1$$

$$T_1 = 0.5 \text{ c} \quad n_2$$

$$L = 2 \text{ m} \quad n_3$$

1) Рассчитаем силы на коробку



Закон Ньютона:

$$N = mg \cos \alpha$$

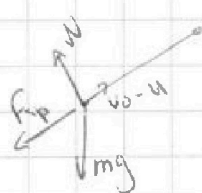
$$ma = -F_{tr} - mg \sin \alpha$$

т.к.  $v_0 \neq 0$ , то  $g$  можно считать:

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

$$S = v_0 T + \frac{a T^2}{2} \Rightarrow a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \cdot (0.5 \cdot 0.8 + 0.6) = -10(0.4 + 0.6) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

2) Чтобы скорость коробки была равна скорости ленты, она должна остановиться в  $\omega$  ленте. Т.е. перестанет действовать сила трения

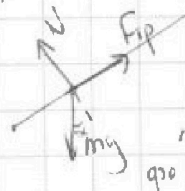


$$\mu N \quad a = -(\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha) = -10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

но как двигаться в  $\omega$  ленте.

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

3) Заметим, что после того как коробка получит скорость  $0$  в  $\omega$  ленте ее будет замедлять сила тяжести, а сила трения будет в opposite направлении, т.е. будет разогнать до скорости  $u$  за время  $T_2$  ленте



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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



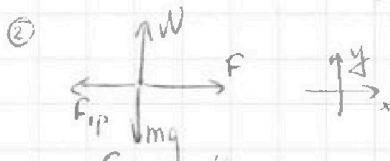
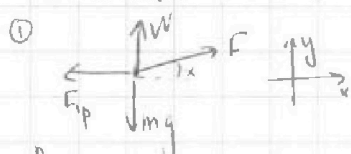
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



3  
 $K, \alpha, g, \mu$   
 1)  $M = ?$   
 2)  $S = ?$

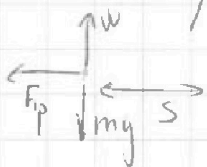


1) Т.к. санки разогнаны до скорости  $v$  до начала движения, то при движении вниз и вверх санки и саночник движутся с одной и той же скоростью  $v$  и в одном направлении, т.к.  $K \ll \frac{mv^2}{2}$ , а  $m = \text{const}$   
 $a = \frac{v^2}{2S} \Rightarrow a$ , ускорение санок одинаково в обоих случаях  
 Рассмотрим силы



Проецируем на ось и получаем  $F_{tr} = \mu N$ , т.к. сан разогнаны санки  $N = mg$   
 $N + F \sin \alpha = mg$   
 $am = F \cos \alpha - F_{tr}$   
 $ma_{max} = F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha$   
 а если одинаково в обоих случаях,  $\Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$   
 $F \neq 0, \Rightarrow \mu \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$   
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) После достижения максимальной скорости  $K$  сила  $F$  перестает действовать и саночки останавливаются. Рассмотрим силы



По закону сохранения энергии:

$W = mg$   
 Как  $F_{tr} = \mu N$ , т.к. происходит торможение,  $v \neq 0$  или трение.

По закону сохранения энергии

$K + A_{тр} = 0$ , где  $A_{тр}$  - работа

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

Отсюда:  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$  т.к.,  $S = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} \frac{K}{mg}$  т.к.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

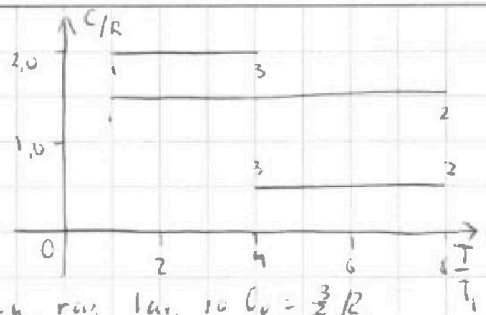
МФТИ

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

4

$T_1 = 200\text{K}$   
 $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$   
 $1-2-3-1$   
 $V = 1 \text{ моль, } \nu = 1 \text{ ат}$

- 1)  $A_{31} = ?$
- 2)  $\eta = ?$
- 3)  $\frac{p}{p_1} \left( \frac{V}{V_1} \right)$



1) По уравнению Клапейрона, что  $T_3 = 4T_1$ ,  $T_2 = 3T_1$ . Т.н. раз  $1 \text{ ат}$ , то  $C_V = \frac{3}{2}R$ .  
 $Q = \Delta U + A$ , где  $A$  - работа газа  $\Rightarrow Q_{31} = \Delta U_{31} - A_{31}$ , т.е.  $A = -A_{31}$ .  
 $Q_{31} = \nu n T_{31} C_V$  по определению температуры.  $\Delta U_{31} = C_V \nu n T_{31}$

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

- 2)  $U_1 = \nu C_V RT_1$   
 $U_2 = C_V \nu RT_2$   
 $U_3 = C_V \nu RT_3$

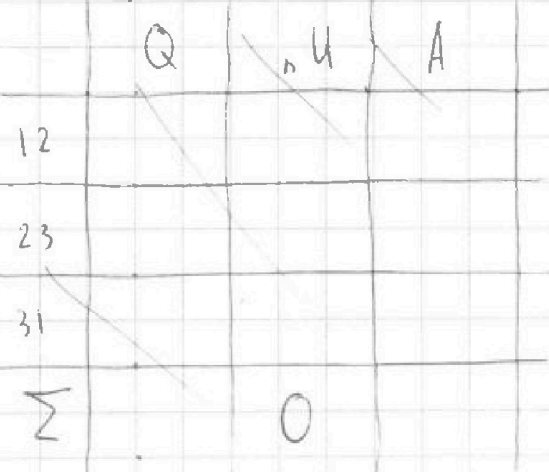
Заметим, что по уравнению Клапейрона или закону Бойля-Мариотта  $\frac{Q}{R}$  для каждого процесса.

$Q_{12} = 77 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 \frac{R}{2} = 7 \cdot 3 \cdot 200 = 4200 \text{ Дж}$

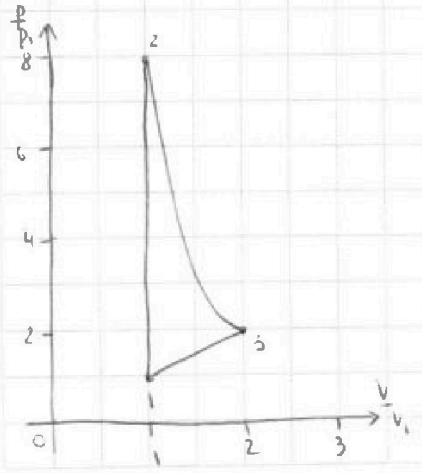
$Q_{23} = -4T_1 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1,5 = -2 \cdot 200 = -400 \text{ Дж}$

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

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



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



Воспользуемся уравнением политропы

$pV^n = \text{const}$ ,  $n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$   
 $n_{23} = \frac{C_{31} - C_p}{C_{31} - C_V} = \frac{0,5 - 2,5}{0,5 - 1,5} = 2 \Rightarrow p_2 V_2^2 = p_3 V_3^2$

$\Rightarrow p_3 = p_2 \frac{V_2^2}{V_3^2} = p_2 \left( \frac{1}{4} \right) = \frac{1}{4} p_2$

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

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

О.т.в.:  $A_{31} = 2493 \text{ Дж}$  и  $\eta = \frac{13}{21}$  и  $n_2$ , график  $n_3$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:

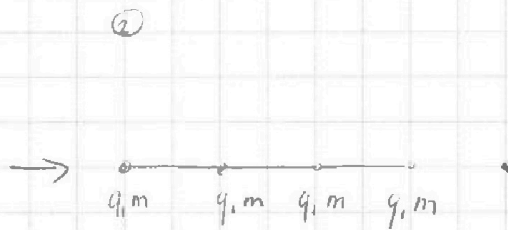
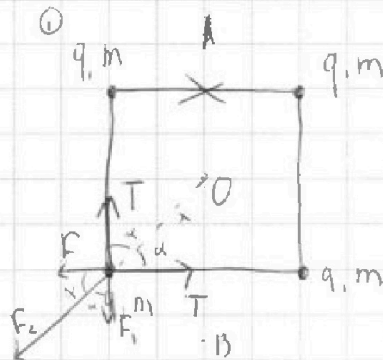
1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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



- 5  
1)  $a, T, \epsilon_0$   
2)  $k$   
3)  $d$



1) Заметим, что картина симметрична. Рассчитаем силу на один из зарядов.  $F_2, F_1$  - силы Кулона.  $F_2$  - гравитация по диагонали,  $F_1$  - пружина

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{2a^2} \quad \text{или } F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2} \quad \text{векторная сумма}$$

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

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

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

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



Там же заметим, что работа силы Кулона в этой системе ускорение каждого шара направлено по ОХ и скорость тоже (по выводу) по той же траектории,  $\Rightarrow$  шар колеблется  $k=0$



Вычитаем систему начально покоится

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

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

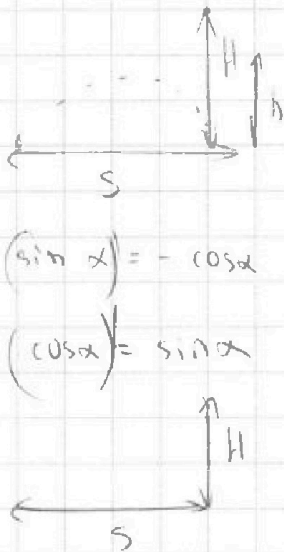
$$\frac{h \cdot \omega^2}{c^2} \quad \frac{\omega^2}{c}$$

$x = 8,31$   
 $\frac{300}{2493}$   
 $v \rightarrow$   
 $\alpha$   
 $L$   
 $g \tau = v \sin \alpha$   
 $\tau = \frac{v \cos \alpha}{g}$

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

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

4200



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

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

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

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

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

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

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

1600

$$H_{max} \frac{g S}{4 v^2} = S = \frac{4 v^2}{g} \tan \alpha$$

$$6 \frac{m}{c^2}$$

4

$$\frac{4200}{1600} = \frac{26}{26}$$

$$\frac{26}{42} = \frac{13}{21}$$



$$\frac{mv^2}{2} = k$$

$$v^2 = \alpha$$

Q x cost

2cos

$$C = \frac{Q}{v_0 T}$$

$$A_{31} = v_0 T (C - C_0)$$

C/v\_0 T

$$Q = A_{31} C_0 v_0 T$$





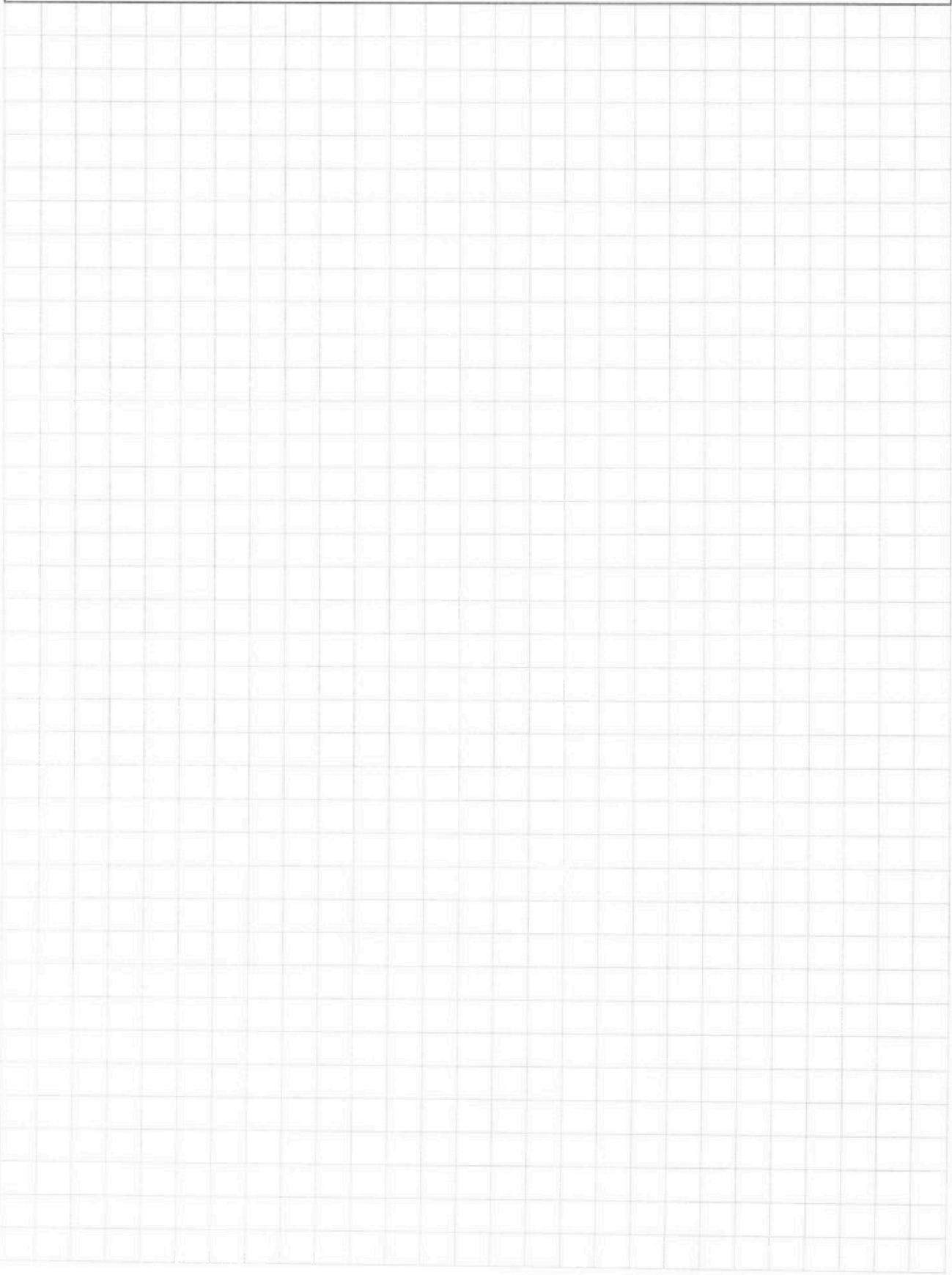
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

|                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        |
| <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!





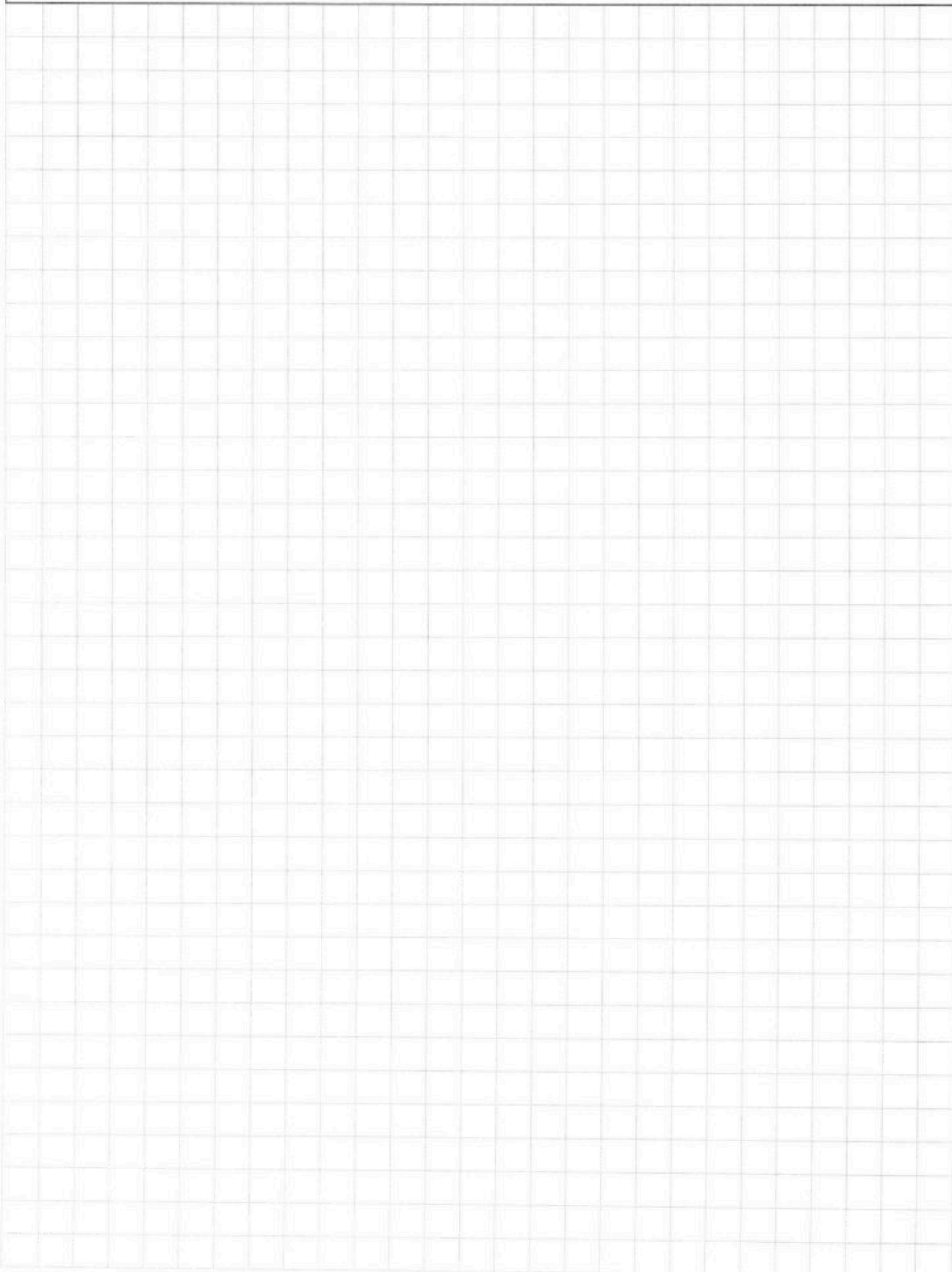
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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"/> |



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

