

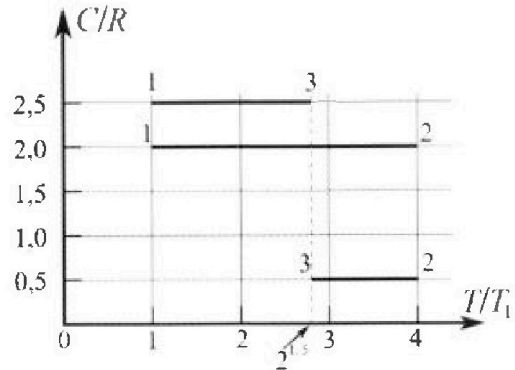
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-01

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



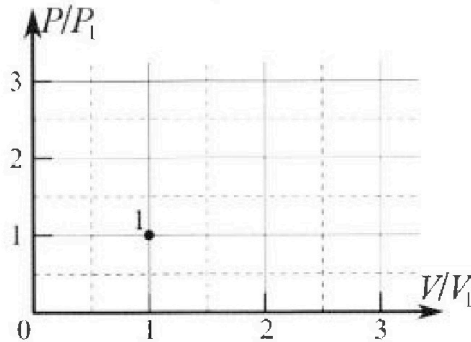
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1  $T_1 = 400$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



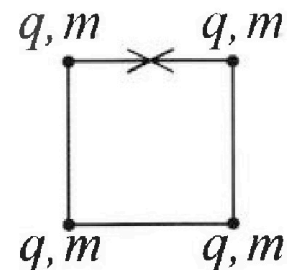
1) Найдите работу  $A_{1-2}$  газа в процессе 1-2.

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  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .



1) Найдите силу  $T$  натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость  $V$  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)?

Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за  $T = 2$  с.

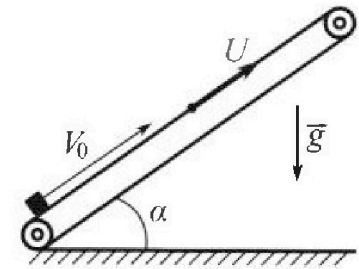
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью  $V_0$  под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии  $S = 20$  м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым. Все высоты отсчитываются от точки старта.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,8$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 4$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = \frac{1}{3}$ . Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время  $T$  после старта коробка пройдет в первом опыте путь  $S = 1$  м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 2$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 4$  м/с.

2) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

3) На какой высоте  $H$ , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? 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 скорости  $V_0$  за одинаковое время.

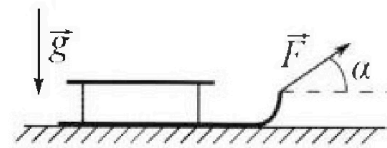
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости  $V_0$  действие внешней силы прекращается.

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

2) Через какое время  $T$  после прекращения действия силы санки остановятся? 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!

Дано:

$$T = 2 \text{ с}$$

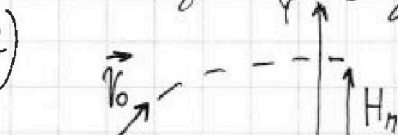
$$S = 20 \text{ м}$$

1)  $v_0 = ?$

2)  $H_{\text{max}} = ?$

1) Максимальная высота будет при  $v = 0 \text{ м.с.}$

$$v_0 - v = gT \quad v_0 = gT \quad v_0 = 10 \cdot 2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)  обозначим за  $\alpha$  угол к горизонту, при котором  $H$  максимально,

~~тогда~~  $v_0 \sin \alpha = g t$  - время полета.

$$Ox: v_0 t \cos \alpha = S \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$Oy: v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = H$$

$$H = S t \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H'(\alpha) = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{2 g S^2 \tan \alpha}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H'(\alpha) = 0 \quad \frac{S}{\cos^2 \alpha} = \frac{2 g S^2 \tan \alpha}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$1 = \frac{g S \tan \alpha}{v_0^2} \quad \tan \alpha = \frac{v_0^2}{g S}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \tan^2 \alpha \quad (\text{из тригонометрии})$$

Вернемся к  $H$ :  $H_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2 (1 + \frac{v_0^4}{g^2 S^2})}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2 + \frac{v_0^4}{g}}{2 v_0^2} =$

$$= \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} - \frac{v_0^2}{2 g} = \frac{v_0^2}{2 g} - \frac{g S^2}{2 v_0^2}$$

$$H_{\text{max}} = \frac{400}{20} - \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400} = 15 \text{ (м)}$$

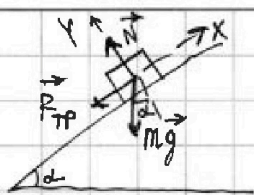
Ответ:  $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $H = 15 \text{ м.}$

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!

Дано:  $s = 1 \mu$   
 $\sin \alpha = 0,8$   
 $v_0 = 4 \frac{\mu}{c}$   
 $\mu = \frac{1}{3}$   
 $u = 2 \frac{\mu}{c}$

1)



$$OY: N - mg \cos \alpha = 0$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$OX: -m\alpha = -mg \sin \alpha - F_{TP}$$

$$m\alpha = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$$

$$\alpha = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6 \quad (\alpha < 90^\circ, \cos \alpha > 0)$$

$$s = v_0 T - \frac{\alpha T^2}{2} = v_0 T - \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T^2}{2}$$

$$g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T^2 - 2v_0 T + 2s = 0$$

$$T = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2Sg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

- 1) T - ?
- 2) L - ?
- 3) H - ?

~~Значит вычислим первую минуту времени, когда его координата равна 1 м. е. корни с штихелем.~~

~~$$T = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 10}}{10} = \frac{4 \pm \sqrt{6}}{10} \text{ (с)} \approx 0,76 \text{ с}$$~~

Однако при попытке вычисления получили корни из отрицательного числа м. е. коробка не доедет до координаты 1 м. Значит путь складывается из 2 частей: до остановки и после.

$$s = s_1 + s_2 \quad s_1 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} \neq 0,8 \mu \Rightarrow s_1 = 0,8 \mu$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$s_2 = \frac{a T_2^2}{2}$$

$$s_2 = s - s_1 \Rightarrow s_2 = 0,2 \mu$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{2s_2}{a}} = \sqrt{\frac{2s_2}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}}$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{10}} = 0,2 \text{ с}$$

$$v_0 = a T_1 = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T_1 \quad T_1 = \frac{v_0}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$T_1 = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ с}$$

$$T = T_1 + T_2 \Rightarrow T = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ (с)}$$

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

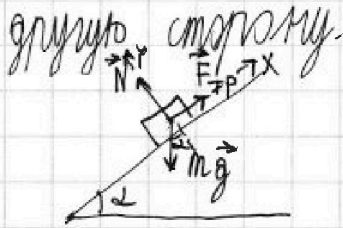
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2) Сумма и все силы аналогично 1)  $\Rightarrow$   $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$ ,  
 $a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$  (сила трения направлена против  
движения м.к.  $v > u$ )

$$L = \frac{v_0^2 - u^2}{2a} = \frac{v_0^2 - u^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

$$L = \frac{16 - 4}{20} = 0,6 \text{ (м)}$$

3) ~~Здесь~~ Когда  $v < u$  сила трения направлена в



$$OY: N - mg \cos \alpha = 0 \quad F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$OX: -ma_3 = F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$a_3 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$a_3$  - ускорение коробки, когда  $v < u$ , ~~т.е. когда~~ X - расстояние, которое  
пройдёт коробка от момента, когда  $v = u$ , до момента, когда  $v = 0$ .

$$H = (L + X) \sin \alpha$$

$$X = \frac{u^2}{2a_3} = \frac{u^2}{2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

$$H = \left( L + \frac{u^2}{2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} \right) \sin \alpha \quad H = \left( 0,6 + \frac{4}{20 \cdot 0,6} \right) \cdot 0,8 =$$

$$= 0,98 + \frac{16}{60} \approx 0,75 \text{ (м)}$$

Ответ: 1)  $T = 0,6 \text{ с}$ ; 2)  $L = 0,6 \text{ м}$ ; 3)  $H = 0,75 \text{ м}$ .

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!

Дано:

$v_0, \alpha$

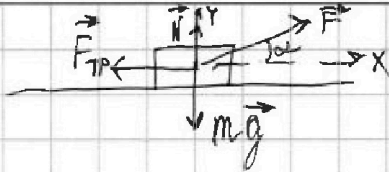
$t_1 = t_2 = t$

$F_1 = F_2 = F$

$\mu - ?$

$T - ?$

1) I цилиндр:



$$OY: N + F \sin \alpha = mg$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu (mg - F \sin \alpha)$$

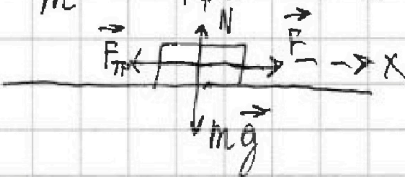
$$OX: m a_1 = F \cos \alpha - F_{TP}$$

$$a_1 = \frac{F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha)}{m}$$

$$a_1 = F \cos \alpha - \mu mg$$

$$v_0 = a_1 t$$

II цилиндр:



$$OY: N = mg$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg$$

$$OX: F - F_{TP} = m a_2$$

$$a_2 = \frac{F - \mu mg}{m}$$

$$v_0 = a_2 t$$

$$\left. \begin{matrix} v_0 = a_1 t \\ v_0 = a_2 t \end{matrix} \right\} \Rightarrow a_1 = a_2$$

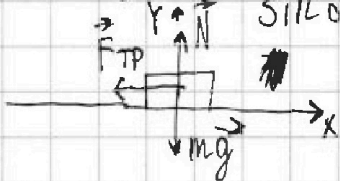
$$\frac{F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha)}{m} = \frac{F - \mu mg}{m}$$

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

$$F (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) = F \quad \cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

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

2)



$$OY: N = mg$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg$$

$$OX: -m a = -F_{TP}$$

$$a = \mu g$$

$$v_0 = a t = \mu g t = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} g t$$

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$$

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

2)  $T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$

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. Порча QR-кода недопустима!

Дано:

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$T_1 = 900 \text{ K}$$

1)  $A_{1-2} - ?$

2)  $\eta - ?$

3)  $\nu$

$$1) Q = A + \Delta U \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R T$$

$$Q_{1-2} = C_{\nu, 1-2} \nu \Delta T_{1-2} = 2 \nu R \Delta T_{1-2} > 0$$

$$\Delta T_{1-2} = 4 T_1 - T_1 = 3 T_1$$

$$Q_{1-2} = A_{1-2} + \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{1-2}$$

$$6 \nu R T_1 = A_{1-2} + \frac{9}{2} \nu R T_1$$

$$A_{1-2} = 1,5 \nu R T_1$$

$$A_{1-2} = 1,5 \cdot 8,31 \cdot 900 = 9986 \text{ Дж}$$

$$2) Q_{2-3} = C_{\nu, 2-3} \nu \Delta T_{2-3} = 0,5 \nu R (2\sqrt{2} - 4) T_1 < 0$$

$$Q_{2-3} = A_{2-3} + \Delta U_{2-3} = A_{2-3} + \frac{3}{2} \nu R (2\sqrt{2} - 4) T_1$$

$$A_{2-3} = -\nu R (2\sqrt{2} - 4) T_1 = (4 - 2\sqrt{2}) \nu R T_1$$

$$Q_{3-1} = C_{\nu, 3-1} \nu \Delta T_{3-1} = 2,5 \nu R (1 - 2\sqrt{2}) T_1 < 0$$

$$Q_{3-1} = A_{3-1} + \Delta U_{3-1} = A_{3-1} + \frac{3}{2} \nu R (1 - 2\sqrt{2}) T_1$$

$$A_{3-1} = \nu R (1 - 2\sqrt{2}) T_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{к}}} = \frac{A_{1-2} + A_{2-3} + A_{3-1}}{Q_{1-2}}$$

$$Q_{1-2} = 6 \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{1,5 \nu R T_1 + 4 \nu R T_1 - 2\sqrt{2} \nu R T_1 + \nu R T_1 - 2\sqrt{2} \nu R T_1}{6 \nu R T_1} = \frac{(6,5 - 4\sqrt{2}) \nu R T_1}{6 \nu R T_1}$$

$$= \frac{6,5 - 4\sqrt{2}}{6} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

Ответ: 1)  $A_{1-2} = 9986 \text{ Дж}$ ; 2)  $\eta = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$ .

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!

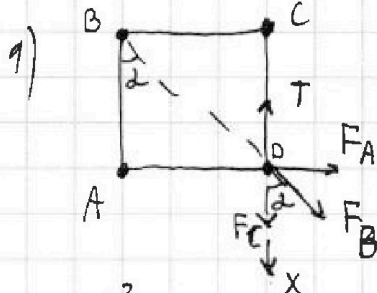
Дано:

$b, m, q$ .

1)  $T$  - ?

2)  $\gamma$  - ?

3)  $d$  - ?



Рассмотрим нить CD.

Для шарика D:

$$OX: F_C + F_B \cos \alpha - T = 0$$

~~FA = k \frac{q^2}{(\sqrt{2}b)^2}~~  $\alpha = 45^\circ$  (м.к. ABCD - квадрат)

$$F_C = k \frac{q^2}{b^2}$$

$$F_B = k \frac{q^2}{(\sqrt{2}b)^2}$$

( $BD = \sqrt{2}b$  м.к. ABCD - квадрат)

$$T = F_C + F_B \cos \alpha = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{kq^2}{2b^2} = \frac{kq^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$$

Ответ: 1)  $T = \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right) \frac{kq^2}{b^2}$



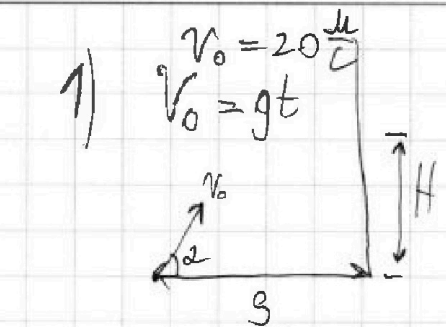
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



$$v_0 \cos \alpha t = s \Rightarrow t = \frac{s}{v_0 \cos \alpha}$$

$$v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2} = H$$

$H \rightarrow \text{MAX}$

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

$$v_0 \frac{\sin \alpha s}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g s^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} = H$$

$$H = \text{tg } \alpha s - \frac{g s^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \text{tg } \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{2 \sin \alpha}{\cos^3 \alpha} = \frac{2 \text{tg } \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

$$H' = \frac{s}{\cos^2 \alpha} - \frac{2 g s^2 \text{tg } \alpha}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} = 0$$

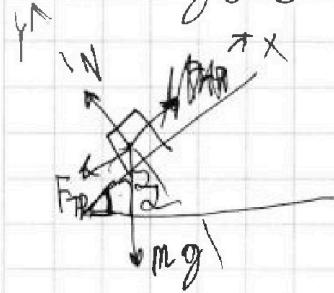
$$1 = \frac{g s \text{tg } \alpha}{v_0^2} \quad \text{tg } \alpha = \frac{v_0^2}{g s} = \frac{g^2 t^2}{g s} = \frac{g t^2}{s} = 2$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\text{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} + \frac{2 \cos^2 \alpha \cdot (\sin^2 \alpha)}{\cos^2 \alpha}$$

$$H = \text{tg } \alpha s - \frac{g s^2 (\text{tg}^2 \alpha + 1)}{2 v_0^2} = 40 - \frac{10 \cdot 400 \cdot 5}{2 \cdot 400} = 40 - 25 = 15 \text{ m}$$



$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6$$

$$N - mg \cos \alpha = 0$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg \cos \alpha =$$

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

$$\mu a = \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha$$

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2} = v_0 t - \frac{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)t^2}{2}$$

$v_0 =$

$$\begin{array}{r} 90 \overline{) 15} \\ 30 \overline{) 0,27} \\ 100 \end{array}$$

mgH

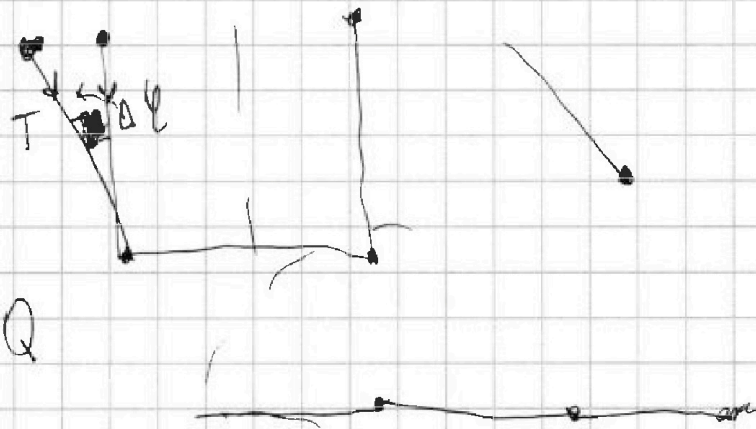
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



~~A = 2ARΔT~~     $Q = A + \Delta U = A + \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T$

$$\begin{array}{r} 837 \\ \times 6 \\ \hline 9986 \end{array}$$

$C \sqrt{\Delta T} = Q$

$C \sqrt{\Delta T} = A + \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T$

12,95

$2R \sqrt{\Delta T} = A + \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T$

$A = \frac{1}{2} \sqrt{R} \Delta T$

$$\begin{array}{r} 12455 \\ \times 4 \\ \hline 4980 \end{array}$$

$Q = 2 \sqrt{R} \Delta T$

$Q =$

$0,5R \sqrt{\Delta T} = A + \frac{3}{2} \sqrt{R} \Delta T$

$A = -1 \sqrt{R} \Delta T$



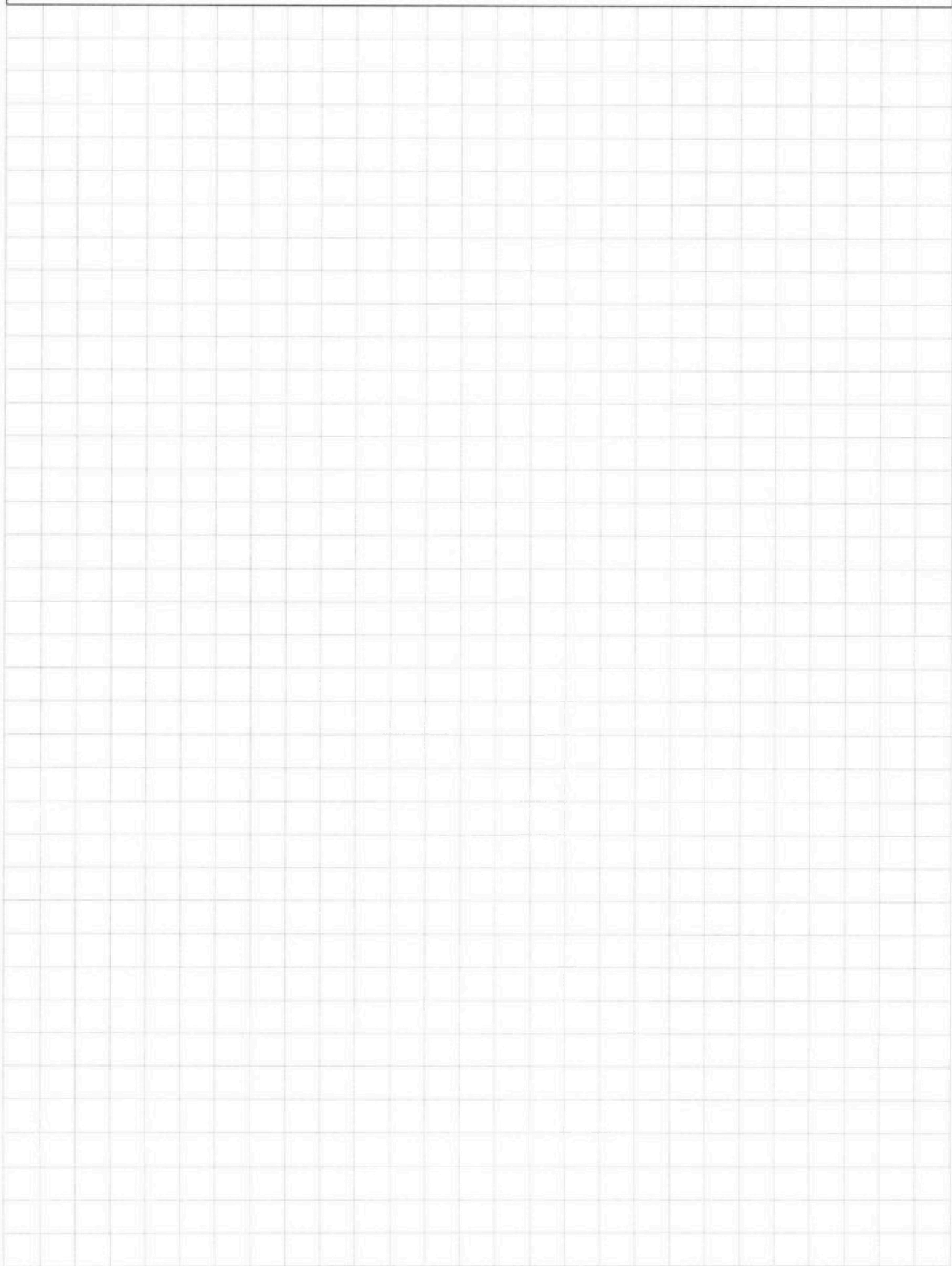
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

