

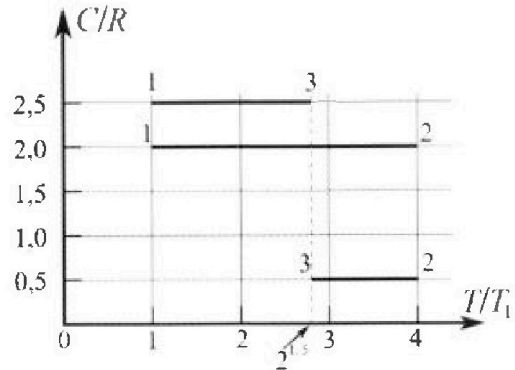
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-01

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



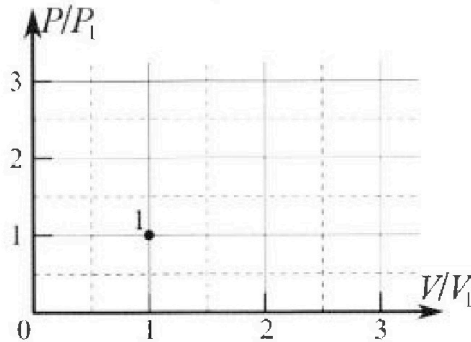
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



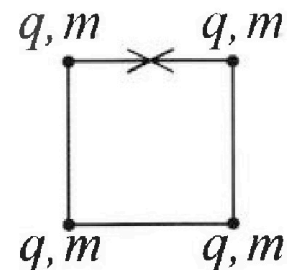
1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

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 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.

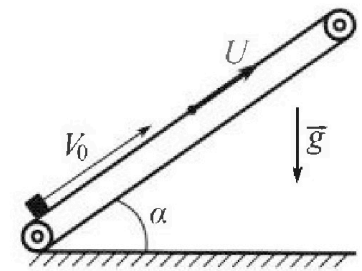
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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/с². 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 α 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/с². 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.

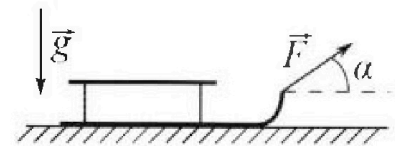
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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 μ 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:

$$T = 2 \text{ с}$$

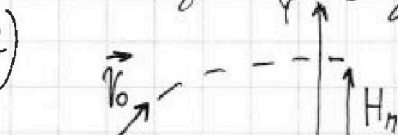
$$S = 20 \text{ м}$$

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 α 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 : $H_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2 \left(1 + \frac{v_0^4}{g^2 S^2}\right)}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{g} - \frac{g S^2 + \frac{v_0^4}{g}}{2 v_0^2} =$

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

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

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

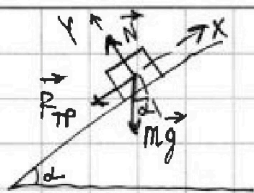
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

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

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 1μ м.е. корни с штрихом.~~

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

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

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

$$T = T_1 + T_2$$

$$s_2 = \frac{a T_2^2}{2} \quad s_2 = s - s_1 \Rightarrow s_2 = 0,2 \mu$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{2s_2}{a}} = \sqrt{\frac{2s_2}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}} \quad T_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2}{10}} = 0,2 \text{ с}$$

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

$$T_1 = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ с} \quad T = T_1 + T_2 \Rightarrow T = 0,4 + 0,2 = 0,6 \text{ (с)}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

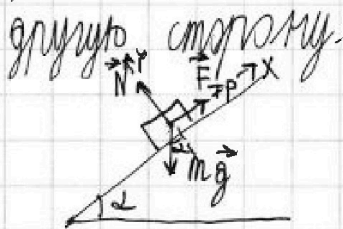
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

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

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

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

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



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

$$OX: -m\alpha_3 = F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$$

$$\alpha_3 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

α_3 - ускорение коробки, когда $v < u$, ~~т.е. когда~~ X - расстояние, которое
пройдёт коробка от момента, когда $v = u$, до момента, когда $v = 0$.

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

$$X = \frac{u^2}{2\alpha_3} = \frac{u^2}{2g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}$$

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

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

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, α

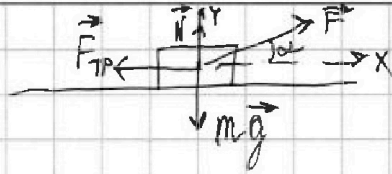
$t_1 = t_2 = t$

$F_1 = F_2 = F$

$\mu - ?$

$T - ?$

1) I цилиндр:



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

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

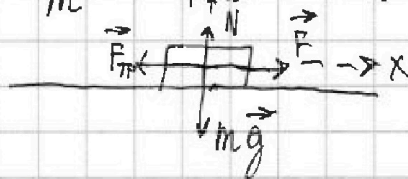
$$OX: m a_1 = F \cos \alpha - F_{TP}$$

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

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

$$v_0 = a_1 t$$

II цилиндр:



$$OY: N = mg$$

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

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

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

$$v_0 = a_2 t$$

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

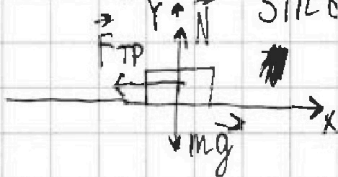
$$\frac{F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha)}{m} = \frac{F - \mu mg}{m}$$

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

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

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

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) ν

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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!

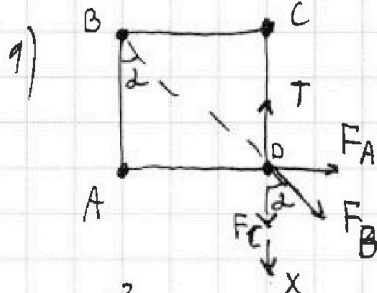
Дано:

$b, m, q.$

1) $T = ?$

2) $\gamma = ?$

3) $d = ?$



Рассмотрим нить CD.

Для шарика D:

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

~~Рассмотрим шарик D~~ $\alpha = 45^\circ$ (м.к. ABCD-квадрат)

$$F_C = k \frac{q^2}{b^2} \quad F_B = k \frac{q^2}{(\sqrt{2}b)^2} \quad (BD = \sqrt{2}b \text{ м.к. ABCD-квадрат})$$

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

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

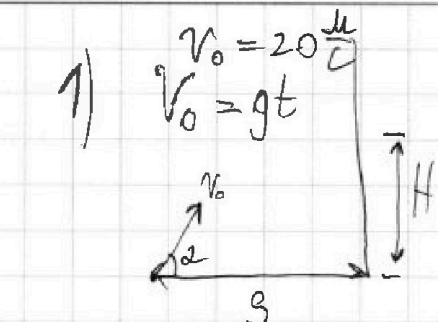
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

$H \rightarrow \text{MAX}$

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

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

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

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

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

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

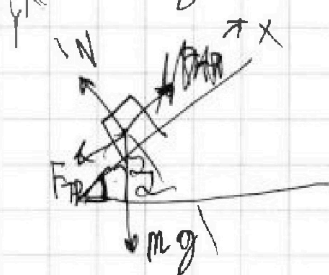
$$1 = \frac{g s \text{tg } \alpha}{v_0^2} \quad \text{tg } \alpha = \frac{v_0^2}{g s} = \frac{g^2 t^2}{g s} = \frac{g t^2}{s} = 2$$

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

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

$$\frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{\cos^2 \alpha + 2 \cos^2 \alpha \cdot (\sin \alpha)^2}{\cos^4 \alpha}$$

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



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

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

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

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

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

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

$v_0 =$

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

mgH

2

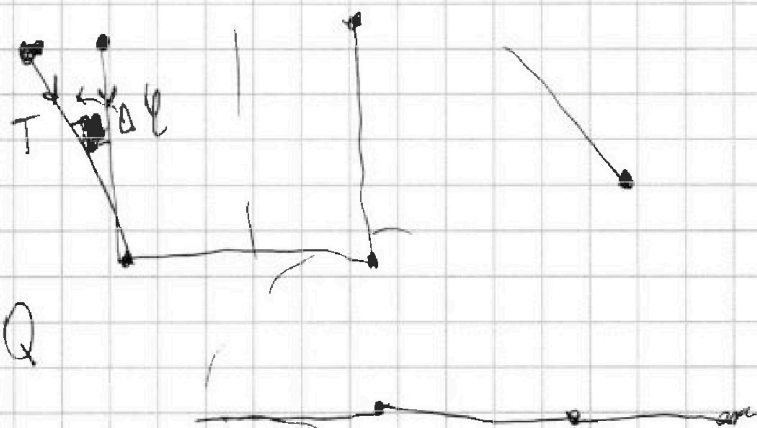
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



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

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

~~C) $\Delta T = Q$~~

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

12,95

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

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

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

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

~~$Q =$~~

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

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



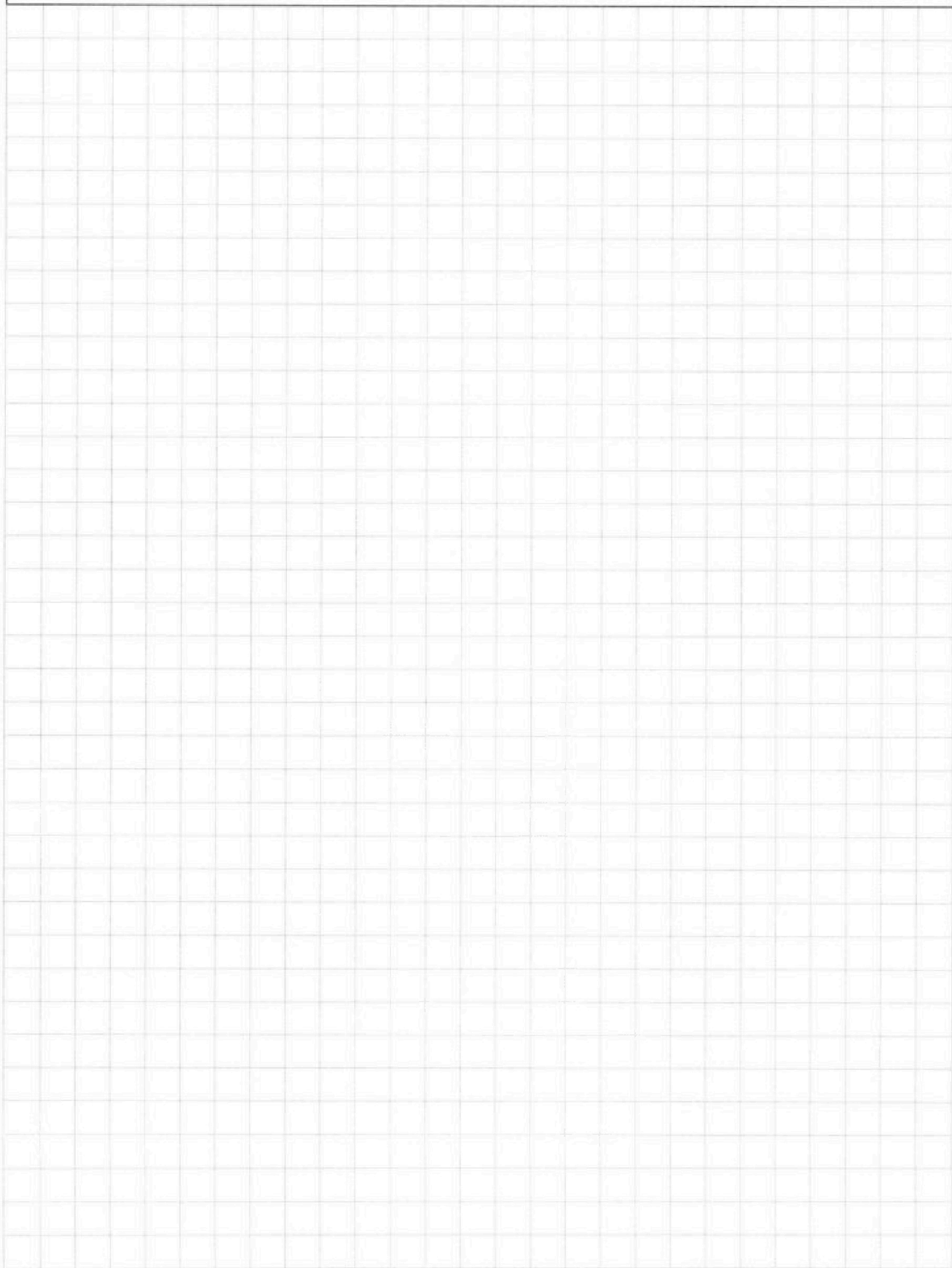
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

