

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

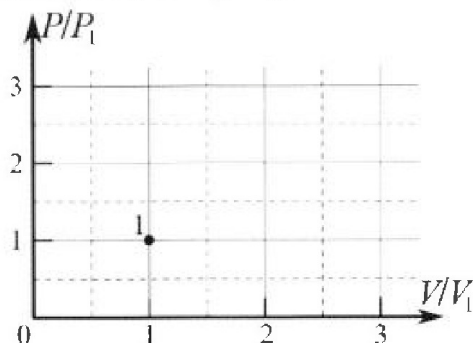
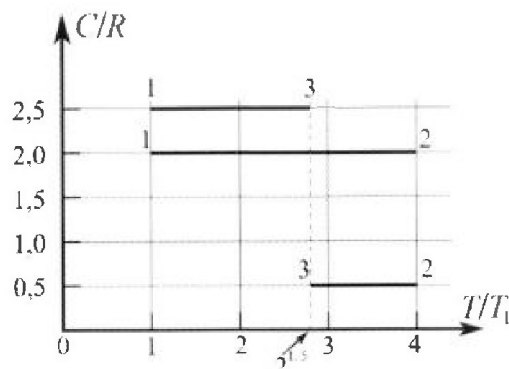


4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

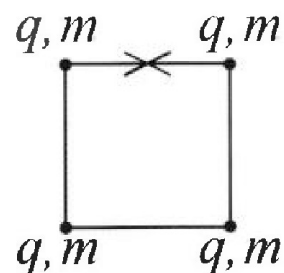
1) Найдите силу T натяжения нитей.

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

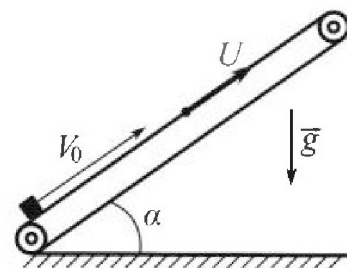
Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



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?

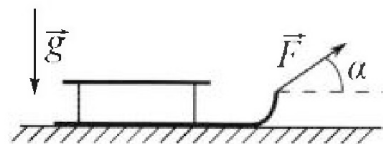
Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью $U = 2$ м/с, и сообщают коробке скорость $V_0 = 4$ м/с.

- 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.

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:

$$T = 2 \text{ с}$$

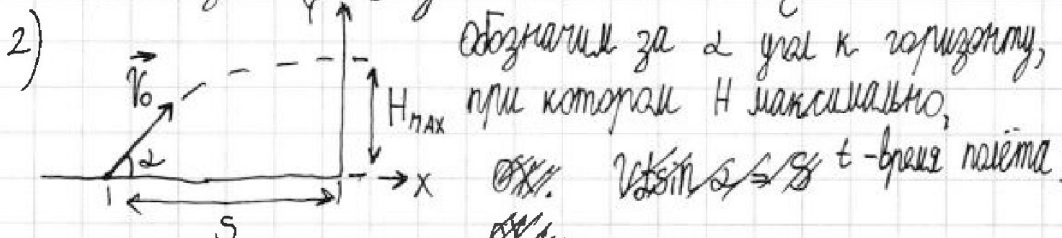
$$S = 20 \text{ м}$$

$$1) V_0 = ?$$

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

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

$$V_0 - V = gT \quad V_0 = gT \quad V_0 = 10 \cdot 2 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



~~ОХ.~~ ~~ОУ.~~ ~~Время полета.~~

$$\text{ОХ: } V_0 t \cos \alpha = S \Rightarrow t = \frac{S}{V_0 \cos \alpha}$$

$$\text{ОУ: } V_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = H$$

$$H = St \sin \alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H'(\alpha) = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{2gS^2 \tan \alpha}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H'(\alpha) = 0 \quad \frac{S}{\cos^2 \alpha} = \frac{2gS^2 \tan \alpha}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$1 = \frac{gS \tan \alpha}{V_0^2} \quad \tan \alpha = \frac{V_0^2}{gS}$$

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

Вспомогательная к H : $H_{\text{max}} = \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2(1 + \frac{V_0^4}{g^2 S^2})}{2V_0^2} = \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2 + \frac{V_0^4}{g}}{2V_0^2} =$

$$= \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2V_0^2} - \frac{V_0^2}{2g} = \frac{V_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2V_0^2}$$

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

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:

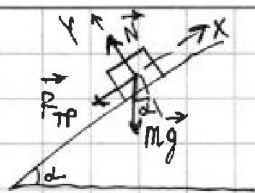
$$\sin \alpha = 0,8$$

$$v_0 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\mu = \frac{1}{3}$$

$$L = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

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



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

$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$$

$$OX: -ma = -mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}$$

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

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

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

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

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

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

Влас ~~интересует~~ первый момент времени, когда его координата равна 1 м. т.е. корни с минусом.

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

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

$$S = S_1 + S_2 \quad S_1 = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} \neq 0,8 \text{ м} \Rightarrow S_1 = 0,8 \text{ м}$$

$$T = T_1 + T_2$$

$$S_2 = \frac{a T_2^2}{2}$$

$$S_2 = S - S_1 \Rightarrow S_2 = 0,2 \text{ м}$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{2S_2}{a}} = \sqrt{\frac{2S_2}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}}$$

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

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

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

1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

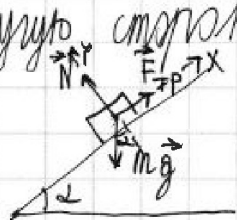
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

2) Сумма и все силы аналогично 1) $\Rightarrow$ $F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$,
 $a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ (сила трения направлена против
движения т.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) ~~Тогда~~ Когда $v < u$ сила трения направлена в
другую сторону.



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

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

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

a_3 - ускорение коробки, когда $v < u$, ~~тогда~~ 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, α

$t_1 = t_2 = t$

$F_1 = F_2 = F$

$\mu = ?$

$T = ?$

1) I цилиндр:

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

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

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

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

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

$$v_0 = a_1 t$$

II цилиндр:

$$OY: N = mg$$

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

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

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

$$v_0 = a_2 t$$

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

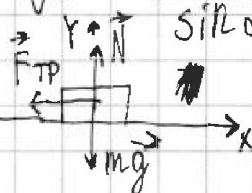
$$\frac{F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha)}{m} = \frac{F - \mu mg}{m}$$

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

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

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

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

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:

$$\gamma = 1,4$$

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

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

$$2) \eta = ?$$

$$3) \eta$$

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

$$Q_{1-2} = C_{\mu 1-2} \Delta T_{1-2} = 2 \gamma R \Delta T_{1-2} > 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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!

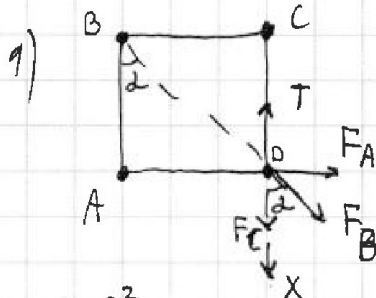
Дано:

b, m, q .

1) T - ?

2) γ - ?

3) d - ?



Рассмотрим нить CD.

Для шарика D:

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

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

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

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

($BD = \sqrt{2}b$ т.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) $T = \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right) \frac{kq^2}{b^2}$

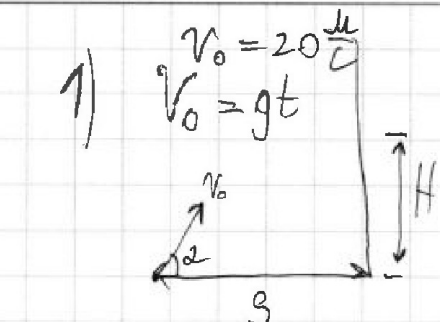
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$v_0 \cos 2t = s \Rightarrow t = \frac{s}{v_0 \cos 2}$$

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

$$H \rightarrow \text{MAX}$$

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

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

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

$$\frac{1}{\cos^2 2} = 1 + 2 \cdot \frac{1 \sin 2}{\cos^3 2} = \frac{2 \sin 2}{\cos^3 2} = \frac{2 \tan 2}{\cos^2 2}$$

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

$$1 = \frac{g s \tan 2}{v_0^2}$$

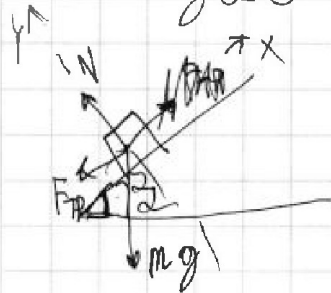
$$\tan 2 = \frac{v_0^2}{g s} = \frac{g^2 t^2}{g s} = \frac{g t^2}{s} = 2$$

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

$$\tan^2 2 + 1 = \frac{1}{\cos^2 2}$$

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

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



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

$$N - mg \cos 2 = 0$$

$$F_{TP} = \mu N = \mu mg \cos 2 =$$

$$F - ma = -F_{TP} - mg \sin 2$$

$$\mu a = \mu mg \cos 2 + mg \sin 2$$

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

$$v_0 =$$

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

$$mgh$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

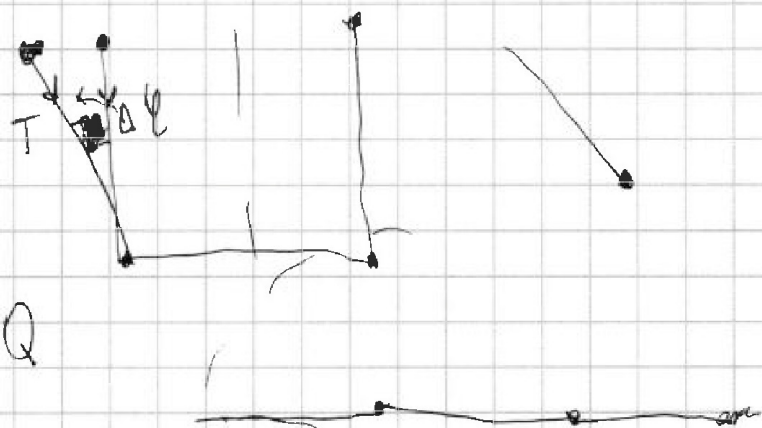
5
☐

6
☐

7
☐

МФТИ

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



~~A = 2RΔT~~

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

$$C \nu \Delta T = Q$$

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

12,45

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

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

$$Q = 2 \nu R \Delta T$$

$$Q =$$

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

$$A = -1 \nu R \Delta T$$

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

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



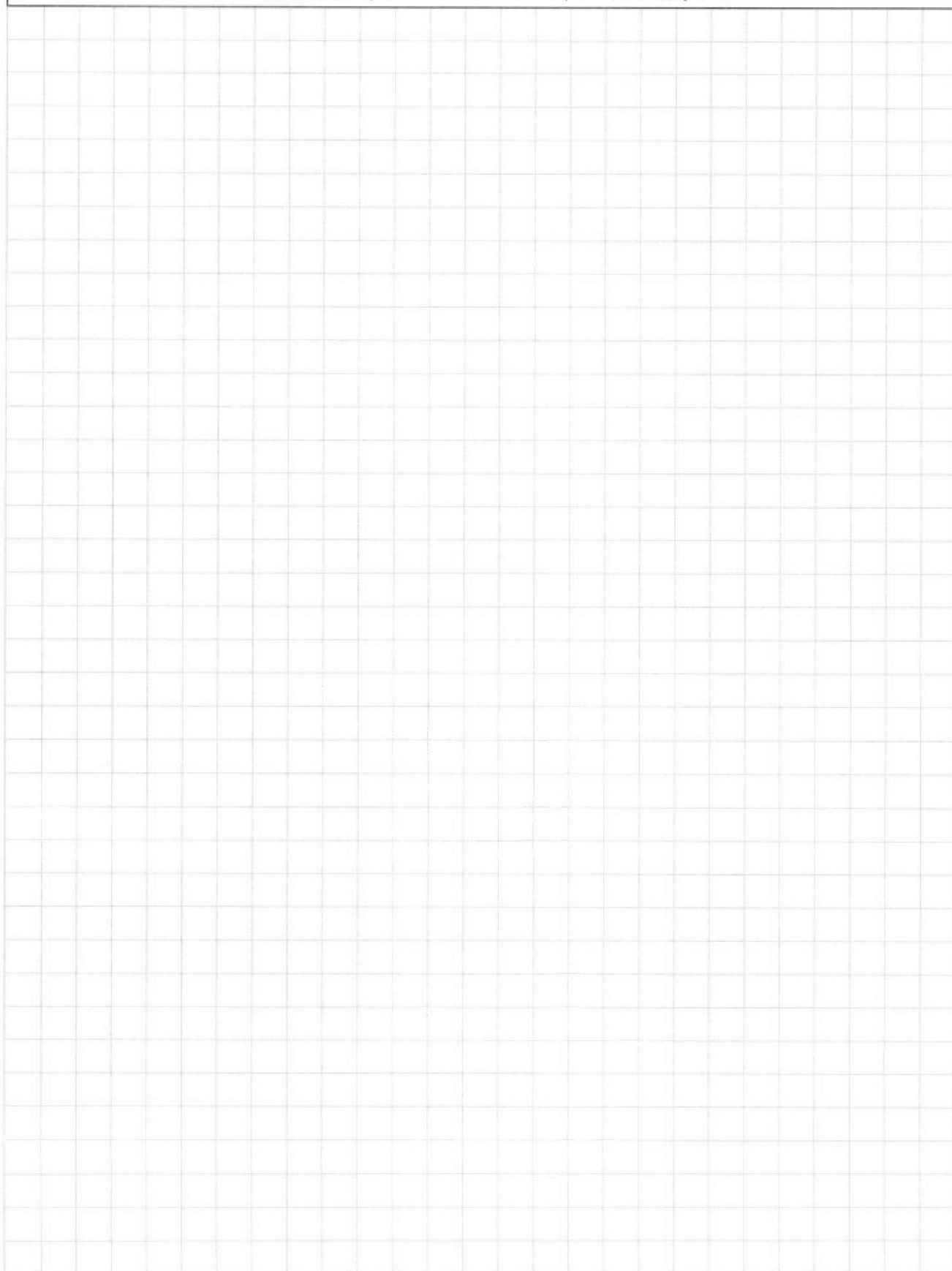
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





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!

