



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.

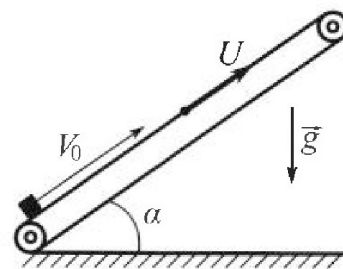
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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.

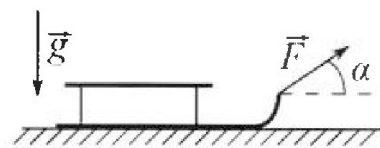
2) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 2$ м/с?

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 .

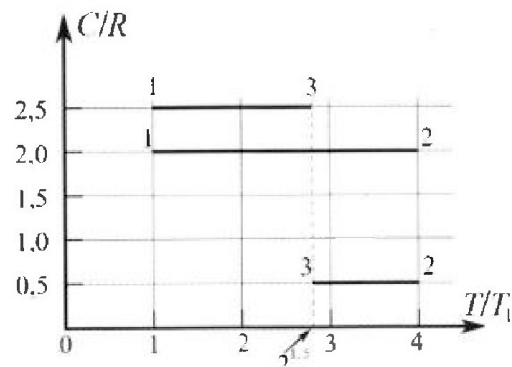
Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

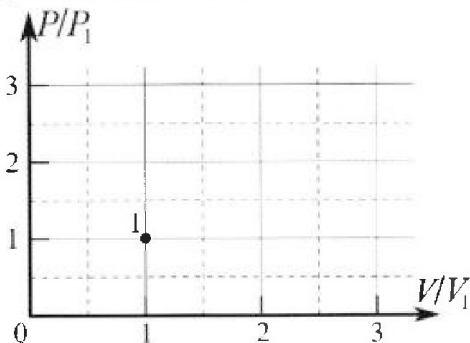
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



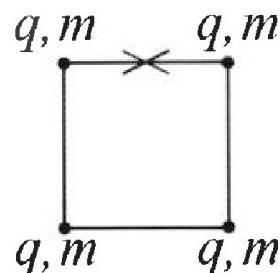
1) Найдите работу A_{12} газа в процессе 1-2.

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 как ом 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.

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!

МФТИ

$$1) 0 = v_0 - gT \Rightarrow v_0 = gT = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$2) OX - \text{гориз. ось}; OY - \text{верт ось} \Rightarrow y = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2}$$

$$x = v_0 \cos \alpha t \Rightarrow S = v_0 \cos \alpha t, \text{ где } t \text{ это время за комп.}$$

$$\text{Он падает до земли при данном } \alpha \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y = v_0 \sin \alpha \frac{S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} \Rightarrow y = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$y' = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 2 \tan \alpha \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \left(S - \frac{g S^2}{v_0^2} \cdot \tan \alpha \right) = 0$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{g S}{v_0^2} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{v_0^2}{g S} = \frac{400}{200} = 2$$

$$\Rightarrow \alpha = \arctg(2) \Rightarrow H = 2S - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2(\arctg(2))} =$$

$$= 40 - \frac{10 \cdot 400}{2 \cdot 400} \cdot \frac{1}{\cos^2(\arctg(2))} = 40 - \frac{5}{\cos^2(\arctg(2))}$$

H - искомая высота в пункте 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!



$$1) N = mg \cos \alpha \quad \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha = ma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha = 2 + 8 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6$$

$$S = v_0 T - \frac{a T^2}{2} \Rightarrow 1 = 4T - 5T^2 \Rightarrow 5T^2 - 4T + 1 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{4 \pm \sqrt{16 - 20}}{10}$$

он остановится $0 = v_0 - at \Rightarrow t = 0,2$

за это время он пройдет $S = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{16}{20} = 0,8$

т.е ему ещё 0,2 надо проехать $0,2 = \frac{a(T-t)^2}{2} \Rightarrow$

$$\Rightarrow 0,04 = (T-t)^2 \Rightarrow T-t = 0,2 \Rightarrow T = 0,4 \quad \text{ответ: } 0,4 \text{ с}$$

3) ИСО - ледяная $\Rightarrow$ при $\frac{v_0 - u}{a} = 0,2 \text{ с}$ $\Rightarrow -u = (v_0 - u) - at$

$$\Rightarrow t = 0,4 \text{ с} ; L_1 = (v_0 - u)t - \frac{at^2}{2} = 0,8 - \frac{10 \cdot 0,16}{2} = 0,8 - 0,8 = 0$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{L_1} \Rightarrow H = L_1 \sin \alpha = 0 \cdot 0,8 = 0,86 \text{ м}$$

2) ИСО - ледяная $\Rightarrow$ при L $v_{\text{отн}} = 0 \Rightarrow 0 = (v_0 - u) - at$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{v_0 - u}{a} = 0,2 \text{ с} \quad L = (v_0 - u)t_1 - \frac{at_1^2}{2} = 2 \cdot 0,2 - 5 \cdot 0,04 =$$

$$= 0,4 - 0,2 = 0,2 \text{ м}$$

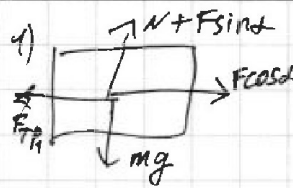
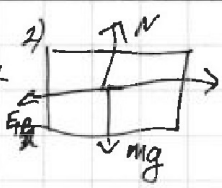
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

1)  2) 

1) $\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t$
1) $v_0 m = (F \cos \alpha - F_{тр1}) \Delta t$ 2) $v_0 m = (F - F_{тр2}) \Delta t$

$F \cos \alpha - F_{тр1} = F - F_{тр2} \Rightarrow F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$

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

2) $F_{тр} = \mu mg \Rightarrow a = \mu g \Rightarrow 0 = v_0 - \mu g T \Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g} =$

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



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

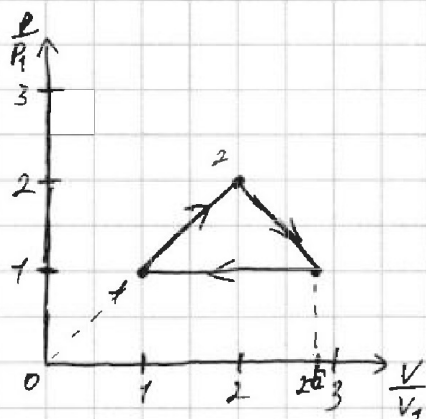
Отметьте крестиком номер задачи.

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!



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!

$$1) 2R\Delta T = \frac{3}{2}R\Delta T + A_{12} \Rightarrow A_{12} = \frac{1}{2}R \cdot 3T_1 = 1,5 \cdot 8,31 \cdot 400 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2) \eta = \frac{Q_A}{A_B} = \frac{Q_{12}}{A_{12} + A_{23} + A_{31}} = \frac{A_{12}}{Q_H}$$

$$2,5R\Delta T = \frac{3}{2}R\Delta T + A_{23} \Rightarrow A_{23} = -R\Delta T \frac{1}{2} = +\frac{1}{2}R(4T_1 - 2\sqrt{2}T_1)$$

$$2,5R\Delta T = \frac{3}{2}R\Delta T + A_{31} \Rightarrow A_{31} = R\Delta T = R(2\sqrt{2}T_1 - T_1)$$

$$\eta = \frac{6\sqrt{2}RT_1}{\frac{3}{2}RT_1 + \frac{1}{2}R(4T_1 - 2\sqrt{2}T_1) - R(2\sqrt{2}T_1 - T_1)}$$

$$\eta = \frac{\frac{3}{2}RT_1 + \frac{1}{2}R(4T_1 - 2\sqrt{2}T_1) - R(2\sqrt{2}T_1 - T_1)}{6\sqrt{2}RT_1}$$

3) ~~3-й~~ ^{барный} изохорный м.к. $C = 2R, 5R$

1-2 $P \sim V$ м.к. $C = 2R$ прямо пропорц.

$$P_1V_1 = \sqrt{2}RT_1 \quad P_1V_2 = \sqrt{2}RT_1 \Rightarrow V_2 = V_1, T_2 = T_1$$

$$V_1 = V_2 \quad P_2V_2 = 4\sqrt{2}RT_1 \Rightarrow 4P_1V_1 = P_2V_2$$

$$6 \quad 1-2 \quad P = 2V \Rightarrow P_1 = 2V_1, P_2 = 2V_2 \Rightarrow 4V_1^2 = V_2^2 \Rightarrow V_2 = 2V_1$$

$$P_2 = 2P_1 \quad P_1V_3 = \sqrt{2}RT_3 \Rightarrow P_1V_3 = 2\sqrt{2}\sqrt{2}RT_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_3 = 2\sqrt{2}V_1 \quad \text{м.к. процесс политропный}$$

то это прямая

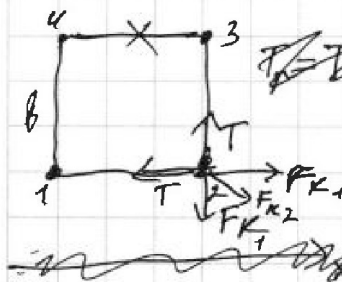
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) T_{\text{равног}} = T\sqrt{2} \quad F_{K \text{ равног}} = \sqrt{2} F_{K1} + F_{K2}$$

$$T\sqrt{2} = \sqrt{2} \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}}$$

$$T = \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} = \frac{3kq^2}{2b}$$

2) В силу симметрии скорости 1 и 2 вертикальные

$$u \quad v_1^0 = v_2^0 = v^0; \quad v_3^0 = v_4^0 = u$$

$$3(-): \frac{2kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} = \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b} + \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} +$$

$$+ \frac{kq^2}{b} + mv^0^2 + mu^2 \quad \text{ЗСУ на ось x: } 2mv - 2mu = 0 \Rightarrow v = u$$

$$\frac{2kq^2}{b\sqrt{2}} - \frac{kq^2}{3b} = 2mv^0^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{kq^2(6-\sqrt{2})}{6\sqrt{2}m}}$$

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!

$$0 = v_0 - gT \Rightarrow T = \frac{v_0}{g} \quad v_0 = gT = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$y = v_0 \sin \alpha - \frac{g}{2} t^2 \quad x = v_0 \cos \alpha t = S \Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cos \alpha}$$

$$y = \frac{v_0 \sin \alpha S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = S \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow \tan' \alpha = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\left(\frac{y}{x}\right)' = \frac{y'x - yx'}{x^2} \quad \sin' \alpha = \cos \alpha \quad \cos' \alpha = -\sin \alpha$$

$$\left(\frac{1}{\cos^2 \alpha}\right)' = \frac{-(-\sin \alpha) \cos \alpha}{\cos^4 \alpha} = \frac{\sin \alpha}{\cos^3 \alpha} \quad H = v_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

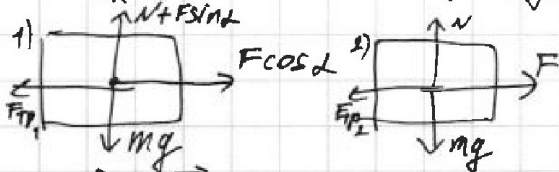
$$(u \cdot v)' = u'v + uv' \Rightarrow \cos \alpha \cdot \cos \alpha = -\cos \alpha \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \sin \alpha =$$

$$= -2 \cos \alpha \sin \alpha \Rightarrow \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha}\right)' = \frac{-(-2 \cos \alpha \sin \alpha)}{\cos^4 \alpha} = \frac{2 \sin \alpha}{\cos^3 \alpha} = 2 \tan \alpha \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$y' = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot 2 \tan \alpha \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \left(S - \frac{g S^2}{v_0^2} \tan \alpha \right)$$

$$20 = \frac{10 \cdot 400}{400} \cdot \tan \alpha \Rightarrow \tan \alpha = 2 \Rightarrow \alpha = \arctan(2)$$

$$H_{\max} = 25 - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2(\arctan 2)} = 40 - \frac{5}{\cos^2(\arctan 2)} \quad S = \frac{46}{20}$$



$$y = 10T$$

$$\Delta \vec{p} = F \Delta t \Rightarrow 1) v_0 m = (F \cos \alpha - F_{fr1}) \Delta t \quad 2) v_0 m = (F - F_{fr2}) \Delta t$$

$$\frac{v_0 m}{F \cos \alpha - F_{fr1}} = \frac{v_0 m}{F - F_{fr2}} \Rightarrow F \cos \alpha - F_{fr1} = F - F_{fr2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = F - \mu mg \Rightarrow F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F \Rightarrow$$

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

$$F_{fr} = \mu mg \Rightarrow \mu mg = ma \Rightarrow a = \mu g \Rightarrow 0 = v_0 - \mu g T \Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g}$$



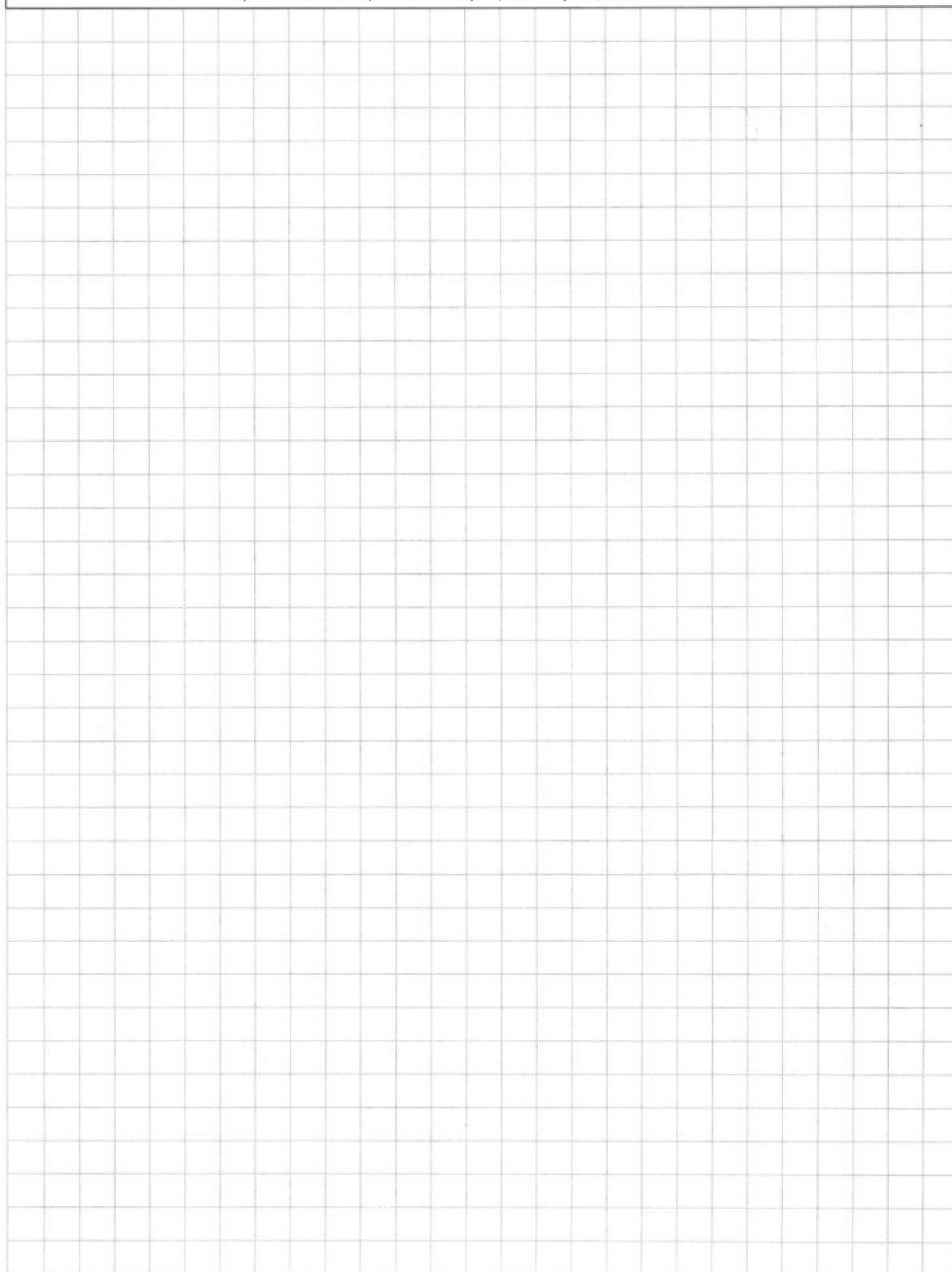
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



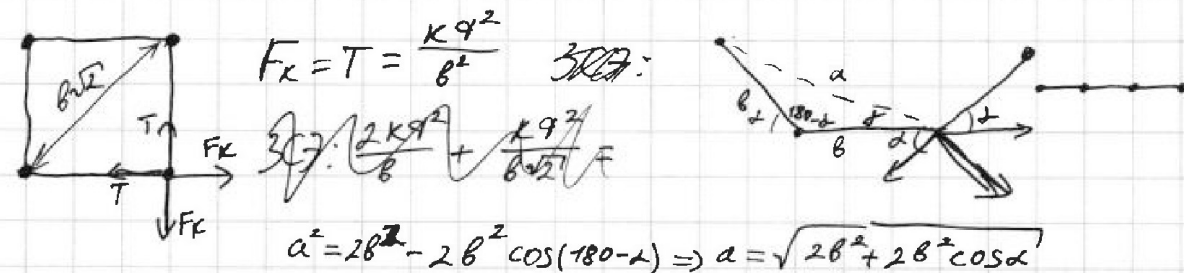
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$a^2 = 2b^2 - 2b^2 \cos(180 - \alpha) \Rightarrow a = \sqrt{2b^2 + 2b^2 \cos \alpha}$$

$$3C7: \frac{2Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{b\sqrt{2}} = 2Kq^2$$

$$3C7: \frac{2Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{b\sqrt{2}} + \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{b\sqrt{2}} + \frac{Kq^2}{b} = \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{2b} + \frac{Kq^2}{3b} + \frac{Kq^2}{b} + \frac{Kq^2}{2b} + \frac{Kq^2}{b} + \frac{2mU^2}{2} + \frac{2mU^2}{2}$$

$$3C11: 2mU = 2mV \Rightarrow U = V$$

$$\frac{4Kq^2}{b} + \frac{2Kq^2}{b\sqrt{2}} = \frac{3Kq^2}{b} + \frac{2Kq^2}{2b} + \frac{Kq^2}{3b} + 2mU^2$$

$$\frac{4Kq^2}{b} - \frac{4Kq^2}{b} + \frac{2Kq^2}{b\sqrt{2}} - \frac{Kq^2}{3b} = 2mU^2 \Rightarrow \frac{6Kq^2 - \sqrt{2}Kq^2}{3\sqrt{2}b} = 2mU^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{Kq^2(6 - \sqrt{2})}{6\sqrt{2}m}} = U$$

$$2R \cdot \frac{3}{2} \cdot 3T_r = \frac{3}{2} \cdot 3T_r + A_{12} \Rightarrow 6RT_r - 4,5RT_r = A_{12} = 1,5RT_r$$

$$Q = \Delta U + A \Rightarrow p = \text{const} \Rightarrow C \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T + p \Delta V = 1,5 R \Delta T = 2,5 R$$

$$V = \text{const} \Rightarrow C \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T \Rightarrow C = 1,5 R$$

$$p \sim V \Rightarrow C \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{1}{2} p_K V_K - \frac{1}{2} p_N V_N = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{1}{2} R \Delta T = 2 R$$

$$\frac{1}{2} R \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T + A_{23} \Rightarrow A_{23} = -R \Delta T$$



$$F_{tr} + mg = ma$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$L = \frac{(v_0 - u)^2}{2a}$$

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

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

$$\Rightarrow S = v_0 T - \frac{a T^2}{2}$$

$$Q = \frac{1}{2} R \Delta T = 2 R$$



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!

