



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.

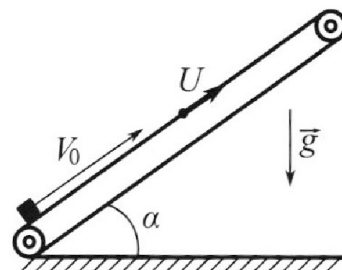
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного падения $g = 10$ м/с². Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол α 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.).

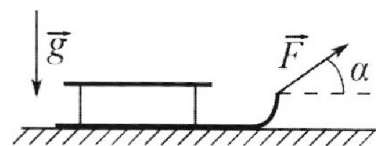
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². 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 α 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 μ трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

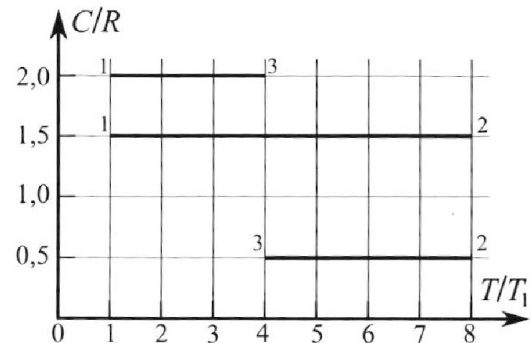
2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

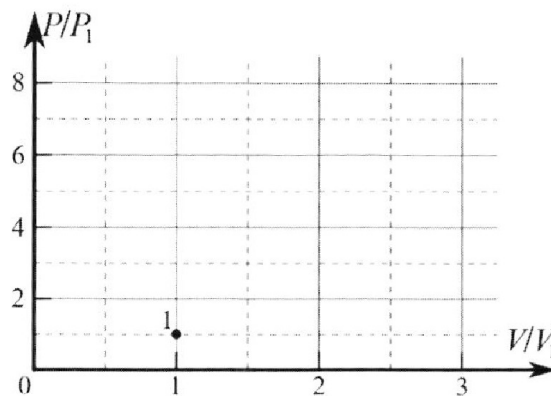
Вариант 10-02

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).

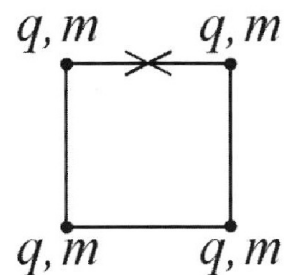


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД η цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной 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 ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



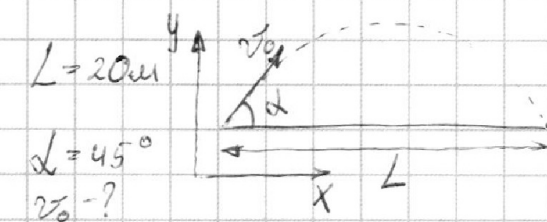
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) L = v_0 \cos \alpha \cdot t$$

$$y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0 \quad \text{-- в момент падения}$$

$$t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{\frac{20 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{1}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 14,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

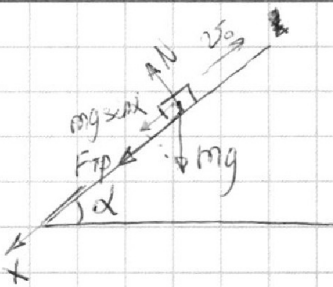
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$mg \sin \alpha + \mu N = ma \quad \text{II-й закон Ньютона на ось } x$$

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

$$a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha, \quad \sin \alpha = 0,6 \Rightarrow \cos \alpha = 0,8$$

$$a = g(0,6 + 0,5 \cdot 0,8) = g$$

$$1) S = v_0 T - \frac{a T^2}{2} = v_0 T - \frac{g T^2}{2} \Big|_{T=1c, v_0=6 \frac{m}{c}} = 6 \text{ м} - \frac{10 \frac{m}{c^2} \cdot 1c^2}{2} = \boxed{1 \text{ м}}$$

2) Перейдем в СО коробки. Её скорость

транспфера. Тогда скорость коробки вначале $v_0 - u$,

$$\text{в конце } 0. \quad v_0 - u = a T_1 = g T_1$$

$$T_1 = \frac{v_0 - u}{g} = \frac{5 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2}} = \boxed{0,5 \text{ с}}$$

$$3) v_0 = g T_2 \quad T_2 = \frac{v_0}{g}$$

$$L = v_0 T_2 - \frac{g T_2^2}{2} - u T_2 = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{v_0 u}{g} = \frac{v_0(v_0 - 2u)}{2g} = \frac{6 \frac{m}{c} \cdot 4 \frac{m}{c}}{20 \frac{m}{c^2}} = \boxed{1,2 \text{ м}}$$

Ответ: $S = 1 \text{ м}; T_1 = 0,5 \text{ с}; L = 1,2 \text{ м}.$

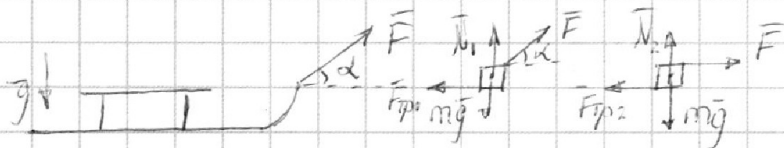
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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) По т. Екин. $K = (F \cos \alpha - F_{\text{тр}1})L$; $K = (F - F_{\text{тр}2})L$

Также $N_1 = mg - F \sin \alpha \Rightarrow F_{\text{тр}1} = \mu N_1 = \mu (mg - F \sin \alpha)$

$N_2 = mg \Rightarrow F_{\text{тр}2} = \mu N_2 = \mu mg$

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

$F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg \quad \mu = \frac{F - F \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2) По т. о Екин $K - \mu mg S = 0 \quad S = \frac{K}{\mu mg}$

$S = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$

Ответ: $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$; $S = \frac{K}{mg} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$

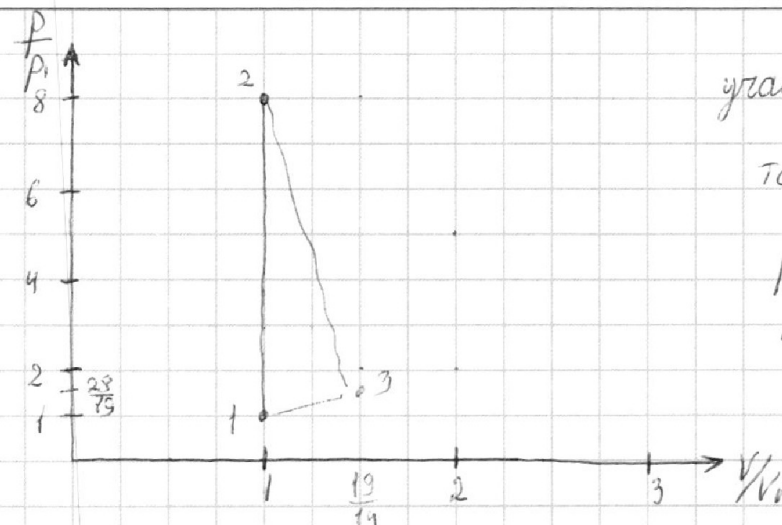
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



участок 1-2: т.к. $C = \frac{3}{2}R$,

то $A_{12} = 0 \Rightarrow \Delta V = 0$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_1 = \nu R T_1 \cdot 8 \Rightarrow P_2 = 8P_1$$

1) $C_{31} \nu (T_1 - T_3) = A_{12} + \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3)$, где $C_{13} = \frac{5}{2} R = 2$

$$A_{12} = \frac{15}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - 4T_1) = -\frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$\Rightarrow A_{\text{вс}} = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} = 2493 \text{ Дж}$$

2) Для процессов 2-3 и 3-1 очевидно, что $A_{23} + A_{31} = A_{12}$

В процессе 1-2 $A_{12} = 0$ $A_{12} = A_{23} + A_{31}$

$$A_{23} = \frac{1}{2} \nu R (4T_1 - 8T_1) - \frac{3}{2} \nu R (4T_1 - 8T_1) = -\nu R (4T_1 - 8T_1) = 4 \nu R T_1$$

$$A_{12} = 4 \nu R T_1 - \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{5}{2} \nu R T_1$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot 7 T_1 R \nu = \frac{21}{2} \nu R T_1$$

$$\eta = \frac{A_{12}}{Q_{12}} = \frac{\frac{5}{2} \nu R T_1}{\frac{21}{2} \nu R T_1} = \frac{5}{21}$$

Ответ: $\eta = \frac{5}{21}$; $A' = 2493 \text{ Дж}$.

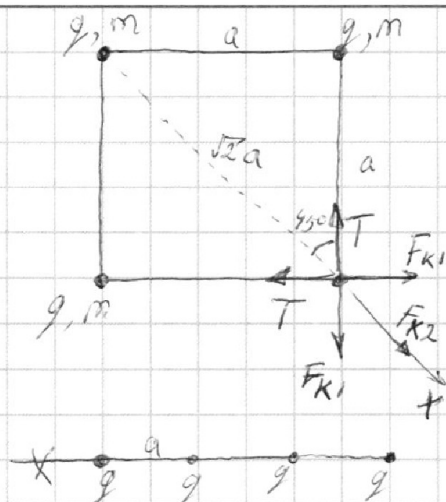
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$1) F_{k1} = \frac{kq^2}{a^2} \quad F_{k2} = \frac{kq^2}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{kq^2}{2a^2} \quad T, a, \epsilon_0$$

II-й закон Ньютона на ось x:

$$2T \cos 45^\circ = 2F_{k1} \cos 45^\circ + F_{k2}$$

$$\sqrt{2}T = \sqrt{2}F_{k1} + F_{k2}$$

$$\sqrt{2}T = \frac{\sqrt{2}kq^2}{a^2} + \frac{kq^2}{2a^2} = \frac{(2\sqrt{2}+1)kq^2}{2a^2}$$

$$q^2 = \frac{2\sqrt{2}Ta^2}{(2\sqrt{2}+1)k} = \frac{8\pi\epsilon_0\sqrt{2}Ta^2}{(2\sqrt{2}+1)}$$

$$|q| = 2a \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0\sqrt{2}T}{(2\sqrt{2}+1)}}$$

$$2) W_{системы 1} = \sum \frac{q_i q_j}{2} = \left(\frac{2kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} \right) \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} = \frac{2kq^2}{a} \cdot \frac{2\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}}$$

$$W_2 = \left(\frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} \right) \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{5kq^2}{6a} + \frac{7kq^2}{2a} = \frac{26kq^2}{6a}$$

$$W_1 = W_2 + 4K \quad K = \frac{W_1 - W_2}{4} \quad K = \frac{(2\sqrt{2}+1) \cdot \frac{6\sqrt{2}}{6a} - \frac{26}{6a}}{4} = \frac{6\sqrt{2}-2}{6 \cdot 4} \frac{kq^2}{a}$$

$$K = \frac{3\sqrt{2}-1}{4 \cdot 3} \cdot \frac{kq^2}{a} = \frac{3\sqrt{2}-1}{12} \cdot \frac{kq^2}{a} \quad \text{или} \quad K = \frac{3\sqrt{2}-1}{48\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a}$$

$$= \frac{3\sqrt{2}-1}{6 \cdot 48\pi\epsilon_0 a} \cdot 4a \cdot \frac{8\pi\epsilon_0\sqrt{2}T}{2\sqrt{2}+1} = \frac{(6-\sqrt{2})Ta}{12\sqrt{2}+6}$$

3) На расстоянии $\sqrt{2}a$.

Ответ: $|q| = 2a \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0\sqrt{2}T}{2\sqrt{2}+1}}, \quad K = \frac{(6-\sqrt{2})Ta}{12\sqrt{2}+6}, \quad \sqrt{2}a = d$



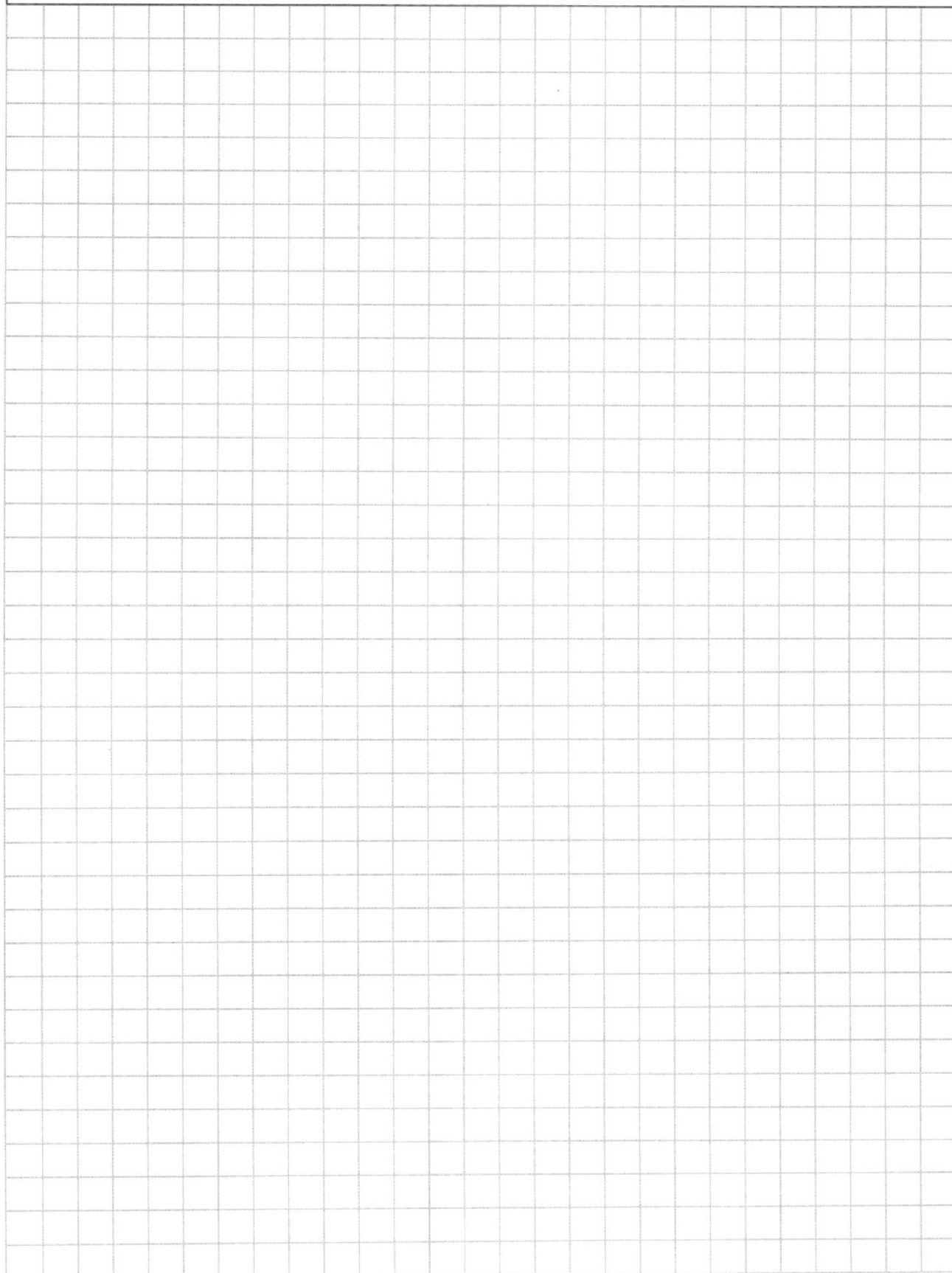
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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.

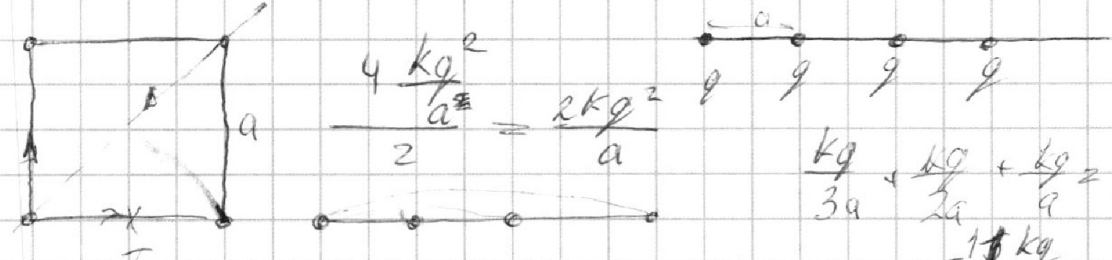
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!





$$\frac{4 \cdot kg^2}{2a} = \frac{2kg^2}{a}$$

$$\frac{kg}{3a} + \frac{kg}{2a} + \frac{kg}{a} = \frac{11kg}{6a}$$

$$\frac{2kg}{a} + \frac{kg}{2a} = \frac{5kg}{2a}$$

$$\frac{11kg^2}{36a} + \frac{5kg^2}{2a} = \frac{26kg^2}{36a}$$

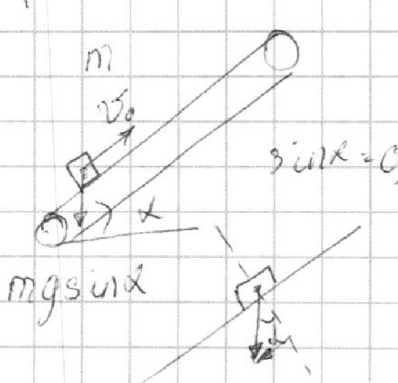
$$\left(\frac{kg}{a} + \frac{kg}{a} + \frac{kg}{\sqrt{2}a} \right) \cdot 4 = \frac{8kg}{2a} + \frac{4kg}{\sqrt{2}a}$$

$$\frac{3kg^2}{a} + \frac{5kg^2}{6a} = \frac{23kg^2}{6a} - \frac{kg^2}{3a} + 3\sqrt{2}$$

$$\frac{7kg^2}{2a} + \frac{5kg^2}{6a} = 21 \frac{kg^2}{6a} - \frac{kg^2}{3a} + 3\sqrt{2}$$

$$\frac{24 + 6\sqrt{2} - 26}{6}$$

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



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

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

$$v_0 - u = 0$$

$$L = v_0 T_2 - \frac{g T_2^2}{2} - u T_2$$

$$F_{fp} =$$

$$\frac{m v^2}{2} = (F \cos \alpha - F_{fp}) L_1 = F \cos \alpha -$$

$$\frac{m v^2}{2} = (F - F_{fp}) L_2$$

$$\gamma (b \sin \alpha - f) = x$$

$$K = F \cos \alpha - x \sin \alpha$$

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!



Diagram showing a projectile launched at an angle α with initial velocity v_0 . The horizontal distance is S and the height is H .

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

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

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

$$\tan \alpha = \frac{S \sin \alpha}{S \cos \alpha} = \frac{S \sin \alpha}{S \cos \alpha}$$

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

$$v_0 t - \frac{gt^2}{2} = 0 \Rightarrow t = \frac{2v_0}{g}$$

$$S \tan^2 \alpha - \frac{gS^2}{2v_0^2} \tan^2 \alpha = 0$$

$$\frac{v_0^2}{g} - \frac{g}{2} \frac{v_0^2}{g^2} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 10 \text{ м}$$

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

$$(x^n)' = x \cdot 1 + x \cdot 1$$

$$(\tan^2 \alpha)' = (\tan \alpha)' \cdot \tan \alpha + \tan \alpha \cdot (\tan \alpha)' = 2 \tan \alpha (\tan \alpha)'$$

$$\frac{gS}{v_0^2 \tan^2 \alpha} = 1 \Rightarrow \tan^2 \alpha = \frac{gS}{v_0^2}$$

$$\frac{gS^2}{v_0^2} - \frac{gS^2}{2v_0^2} \left(\frac{g^2 S^2}{v_0^4} + 1 \right) = 0$$

$$\frac{g^3 S^4}{2v_0^6} - \frac{g^3 S^4}{2v_0^6} = H$$

$$\frac{1}{c} = \frac{S^4 g^3}{2v_0^6} - \frac{gS^2}{2v_0^2} + H = 0$$

$$S^2 = \frac{g}{2v_0^2} + \frac{g}{2v_0^2} \sqrt{v_0^2 - 4gH}$$

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!



$$K - \mu mg S = 0 \quad S =$$

$$K(F - \mu mg) = K(F \cos \alpha - \cancel{F \sin \alpha} \mu mg + F \sin \alpha)$$

$$T_1 = 200 \text{ K}$$

$$CV \Delta T$$

$$\nu R \Delta T + \int p dV$$

$$\frac{3}{2}$$

$$\frac{p_1 + p_2}{2} \cdot (V_2 - V_1) =$$

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$= p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1$$

$$\times \frac{831}{3} = 2493$$

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R \cdot 8 T_1$$

$$p(V_3 - V_2) + \frac{3}{2} \nu R T = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$$

$$8 p_1 (V_3 - V_2) = -\nu R \Delta T$$

$$8 p_1 V_3 - 8 p_1 V_1 = -\nu R (4 T_1 - 8 T_1)$$

$$V_3 = \frac{3}{2} \frac{\nu R T_1}{p_1}$$

$$8 p_1 V_3 = 8 \nu R T_1 + 4 \nu R T_1$$

$$V_3 = 8 p_1 V_2$$

$$8 p_1 V_3 = 12 \nu R T_1$$

$$n = \frac{\frac{1}{2} - \frac{5}{2}}{\frac{1}{2} - \frac{3}{2}} = 2$$

$$pV^n = \text{const}$$

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

$$8 p_2 V_2 = 8 \nu R T_1$$

$$p_3 V_3 = 4 \nu R T_1$$

$$A_{1 \rightarrow 2} = -\frac{1}{2} (8 \nu R T_1 - 4 \nu R T_1) + \frac{3}{2} \nu R (8 T_1 - 4 T_1)$$

$$p_3 V_3 = 4 \nu R T_1$$

$$\frac{1}{2}$$

$$p_3 V_3 = \nu R \cdot 4 T_1$$

$$V_1 =$$

$$2 p_1 T_1$$

$$p_1 = V_1$$



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!

