



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.

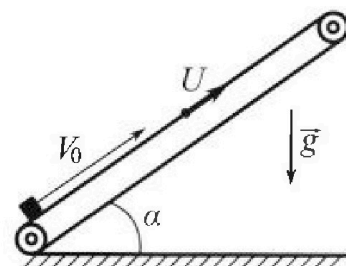
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного 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

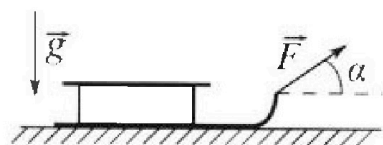
$U = 1$ м/с?

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.

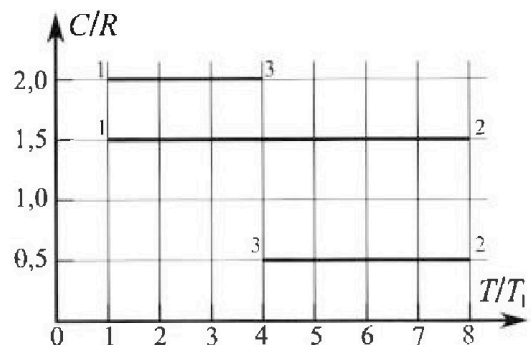
2) Найдите перемещение S санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения g . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

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

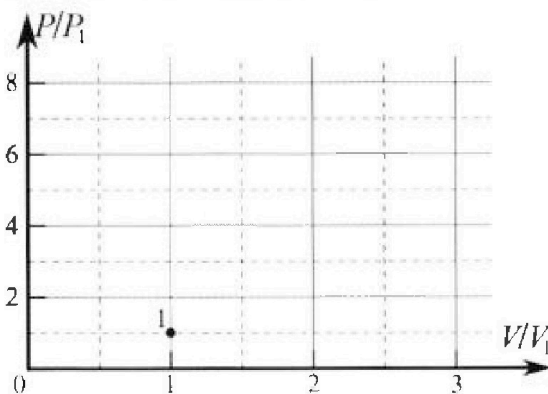
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

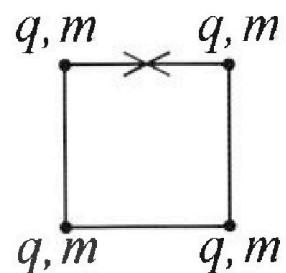
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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 рас стоянии 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:

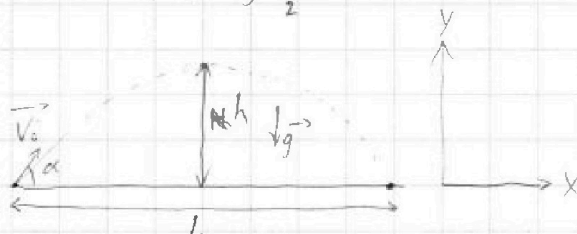
1	2	3	4	5	6	7
☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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

$$\vec{S} = \vec{V}_0 \cdot t + \vec{g} \frac{t^2}{2}$$

$$Y: 0 = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$



$$X: S = V_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

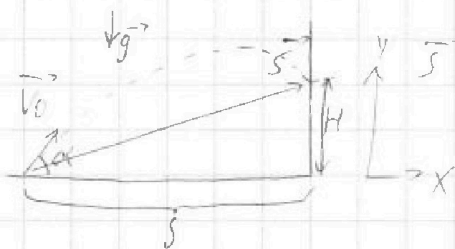
$$Y: h = V_0 \cdot \sin \alpha \cdot \frac{t}{2} - \frac{gt^2}{2 \cdot 4}$$

$$V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0 \Rightarrow V_0 \sin \alpha = \frac{gt}{2} \Rightarrow t = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S = L = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g}, \quad h = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{4V_0^2 \sin^2 \alpha \cdot g}{2 \cdot 4 \cdot g^2} =$$

$$= \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g} - \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} = \cos \alpha$$

$$L = 20 \text{ м} = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{Lg}{2 \sin \alpha \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10}{2 \cdot 0.5}} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$



$$\vec{S} = \vec{V}_0 \cdot t + \vec{g} \frac{t^2}{2}$$

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

$$X: S = V_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{S}{V_0 \cos \alpha} \Rightarrow H = \frac{V_0 \cdot \sin \alpha \cdot S}{V_0 \cos \alpha} - \frac{gS^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$\Rightarrow H = S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2 \cos^2 \alpha} \quad H_{\max} \text{ при } S' = -\frac{b}{2a} = -\frac{\tan \alpha \cdot 2V_0^2 \cos^2 \alpha}{-2g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S' = \frac{V_0^2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} \Rightarrow H_{\max} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g} - \frac{g \cdot V_0^4 \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{g^2 \cdot 2V_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g} - \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g \cdot 2} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad H_{\max} = 3,6 \text{ м}$$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{\frac{H_{\max} \cdot g}{V_0^2}} = \sqrt{\frac{H_{\max} \cdot g}{V_0}} = \frac{6}{10\sqrt{2}} = \frac{0,6}{\sqrt{2}} \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} =$$

$$= \sqrt{1 - 0,18} = \sqrt{0,82} \Rightarrow S' = \frac{V_0^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{g} = \frac{200 \cdot 6 \cdot \sqrt{0,82}}{10 \cdot 10\sqrt{2}} = 12 \cdot \sqrt{0,41}$$

Ответ: 1) $V_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$ 2) $S = 12 \cdot \sqrt{0,41} \text{ м}$

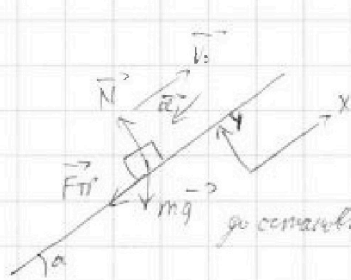
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$\vec{m\vec{g}} + \vec{N} + \vec{F_{тр}} = m\vec{a}$$

$$Y: 0 = N - mg \cos \alpha \Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

$$X: -F_{тр} - mg \sin \alpha = -ma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow ma = F_{тр} + mg \sin \alpha$$

$$F_{тр} = \mu N = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow ma = \mu mg \cos \alpha +$$

$$+ mg \sin \alpha$$

$$S = v_0 t - \frac{at^2}{2}$$

$$v_{кон} = v_0 - at$$

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

$$\sin \alpha = 0.6 \Rightarrow \cos \alpha = 0.8$$

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

$$S = \frac{3.6}{2 \cdot 0.8 \cdot 9.8 + 2 \cdot 0.6 \cdot 9.8} = 1.8 \text{ м}$$

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

$$a = \mu g \cos \alpha + g \sin \alpha \quad \sin \alpha = 0.6 \Rightarrow \cos \alpha = 0.8$$

$$S = 6 - \frac{9 \cdot 0.8 + 9 \cdot 0.6}{2} = 6 - \frac{9}{2} = 1.5 \text{ м}$$

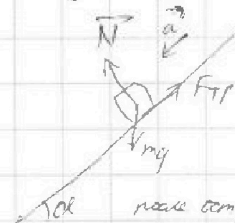
После старта коридор будет замедляться пока не прекратит движение

$$u \Rightarrow \vec{a} = \text{const} \quad v_k = u \quad v_0 = 6.4 \text{ м/с} \quad t_1 = \frac{v_0 - v_k}{a} = \frac{v_0 - v_k}{g}$$

$$= \frac{5}{10} = 0.5 \text{ с (2)} \quad \text{так в I случае} \quad \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{g} = 0.6 \text{ с} \quad S = S_1 + S_2 \text{ (по формуле)}$$

$$S_1 = v_0 \cdot t_{\text{зам}} - \frac{at_{\text{зам}}^2}{2} = 3.6 - 1.8 = 1.8 \text{ м}$$

$$S_2 =$$



$$N = mg \cos \alpha \quad F_{тр \max} = mg \cos \alpha \cdot \mu < mg \sin \alpha$$

$$F_0 = mg (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \mu) = 0.2 mg \Rightarrow a' = 0.2 g$$

$$S_2 = \frac{a'(t - t_{\text{зам}})^2}{2} = \frac{0.2g \cdot 0.16}{2} = 0.16 \text{ м}$$

$$S = S_1 + S_2 = 1.96 \text{ м (1)}$$

3) После t_1 по формуле условие $v \leq u \Rightarrow$ ускорение $= a'$

$$t_2 = \frac{u}{a'} = 0.5 \text{ с} \quad L = S_1' + S_2' = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2} + ut_2 - \frac{a't_2^2}{2} = 3 - 1.25 + 0.5 -$$

$$- 0.125 = 2 \text{ м (3)} \quad \text{ответ: 1) 1.96 м 2) 0.5 с 3) 2 м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

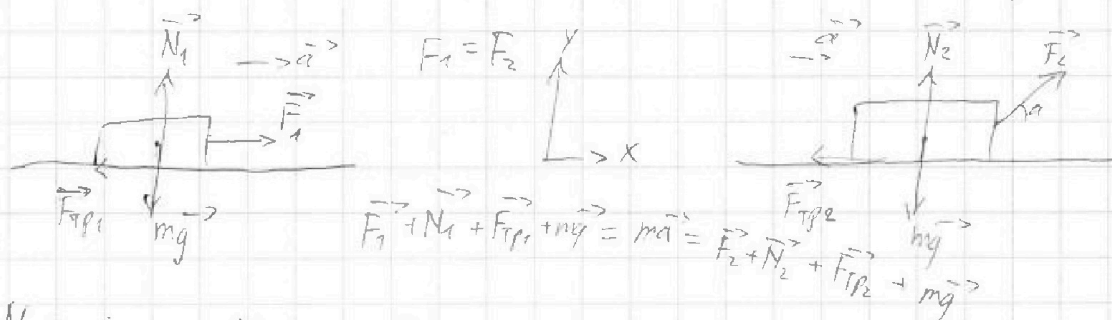
решение которой представлено на странице:

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!

Из первого утверждения следует, что конечная скорость равна, а также
равны расстояния $\Rightarrow$ равна время набора скорости $\Rightarrow$ равны ускорения.



$$y: N_1 = mg \quad N_2 = mg - F \sin \alpha$$

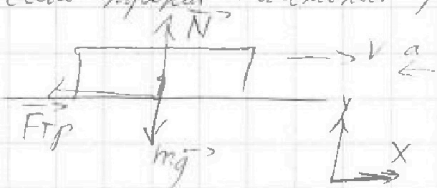
$$x: ma = F - F_{fr1} \quad ma = F \cos \alpha - F_{fr2}$$

$$F_{fr1} = N_1 \cdot \mu \quad F_{fr2} = N_2 \cdot \mu \quad F - mg\mu = F \cos \alpha - mg\mu + F \sin \alpha \mu$$

$$\Rightarrow F = F \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha \mu) \Rightarrow \sin \alpha = \cos \alpha - \mu \Rightarrow \mu = \frac{\cos \alpha - 1}{\sin \alpha}$$

$$1 = \cos \alpha - \sin \alpha \mu \Rightarrow \mu = \frac{\cos \alpha - 1}{\sin \alpha} \quad (1)$$

После разгона кон. скорость $s_{кон} = K$ после остановки $s_{кон} = 0$ разгона
снова трение скольжения μ $\Rightarrow$ $K = 0$



$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{fr}$$

$$y: 0 = N - mg \Rightarrow N = mg$$

$$x: -mg\mu = -F_{fr} \Rightarrow ma = F_{fr}$$

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

$$A_{тр} = -S \cdot F_{fr} \quad (\text{перемещение против действия}$$

$$\text{силы трения}) \quad s = \frac{-A_{тр}}{F_{fr}} = \frac{K}{mg\mu} = \frac{K \cdot \sin \alpha}{mg(\cos \alpha - 1)}$$

$$\text{Answer: 1) } \frac{\cos \alpha - 1}{\sin \alpha} \quad 2) \frac{K \cdot \sin \alpha}{mg(\cos \alpha - 1)}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T \cdot V} \Rightarrow C \sim \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$i=2 \quad j=1$$

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

$$\Delta Q = \Delta U + A_T \quad A_T = \Delta P V = \nu R \Delta T$$

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

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{5}{2} \nu R$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{5}{2} \nu R$$

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

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{5}{2} R + \frac{A_T}{\Delta T} = C \quad \text{выражаем } A_T \quad C_{11} = 2R$$

$$2R = \frac{5}{2} R + \frac{A_T}{\Delta T_{11}} \Rightarrow A_T = \frac{1}{2} R \Delta T_{11} = \frac{-R V \cdot T_1 \cdot 3}{2} = -\frac{3}{2} R V T_1$$

$$\text{работа над газом} = -A_T = \frac{3}{2} R V T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 200 = 3 \cdot 831 = 2493 \text{ Дж}$$

$$\eta = \frac{Q_H - Q_K}{Q_H} = \frac{A_0}{Q_H} = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_H}$$

если $\Delta Q > 0$, то η макс.

$$A_{12} = (C_{12} - \frac{3}{2} R) \cdot V \cdot \Delta T_{12} = 0$$

$$A_{23} = (C_{23} - \frac{3}{2} R) \cdot V \cdot \Delta T_{23} = -2R V \cdot (-4) T_1 = 8 R V T_1$$

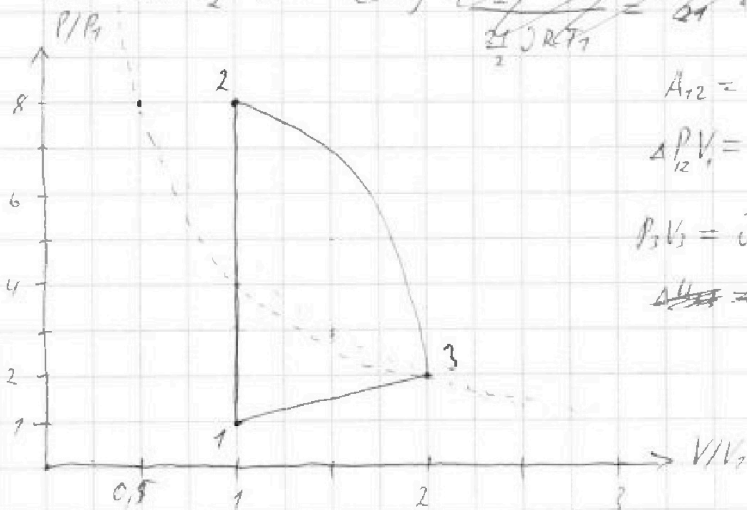
$$A_0 = 8 R V T_1 - \frac{3}{2} R V T_1 = \frac{13}{2} R V T_1$$

$$Q_{12} = \frac{5}{2} R V \Delta T_{12} = 0$$

$$Q_{12} = \frac{5}{2} R V \Delta T_{12} = 0 \quad Q_{23} = \frac{5}{2} R V \Delta T_{23} = -\frac{13}{2} R V T_1 \quad Q_{31} = \frac{5}{2} R V \Delta T_{31} = 0$$

$$Q_H = Q_{23} = \frac{13}{2} R V T_1 \Rightarrow \eta = \frac{A_0}{Q_H} = \frac{\frac{13}{2} R V T_1}{\frac{13}{2} R V T_1} = 1$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow \frac{T_1 \cdot 2R}{V_1} = P_1$$



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

$$\Delta P V_1 = \nu R \Delta T_{12} \Rightarrow \Delta P_{12} = \frac{\nu R}{V_1} \cdot 7 T_1 = 7 P_1$$

$$P_3 V_3 = \nu R T_3 = \nu R \cdot 4 T_1$$

$$\Delta U_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$$

$$\Delta Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$$



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!

~~$\frac{1}{2} \Delta Q_{12} = -\frac{1}{2} \Delta Q_{11} = -\frac{4 \cdot 3}{2} \Delta T_1 + 8 \Delta T_2$~~ $\Delta Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = -\frac{12}{2} \Delta T_1 + \frac{14}{2}$

$\Delta Q_{11} = 2 \Delta T_1 > 0$ $\Delta Q_{11} = \Delta U_{11} + A_{11} = -\frac{9}{2} \Delta T_1 + \frac{8}{2} \Delta T_2 = -\frac{10}{2} \Delta T_1 = -6 \Delta T_1 < 0$

$\Delta Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = \frac{21}{2} \Delta T_1 + 0 = \frac{21}{2} \Delta T_1 > 0$ $Q_{11} = \Delta Q_{12} + \Delta Q_{23} = \frac{25}{2} \Delta T_1$

$$\eta = \frac{\frac{13}{2} \Delta T_1}{\frac{25}{2} \Delta T_1} = \frac{13}{25} \quad (2)$$

Ответ: 1) 2493 Дж

2) 13/25

$$A \sim \Delta T \quad \text{так } C = \text{const}$$

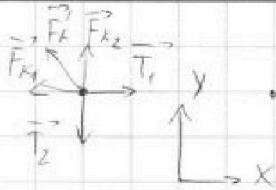
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$$\vec{F}_{k1} + \vec{F}_{k2} + \vec{F}_k + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 = 0$$

$$X: T_1 = F_{k1} + F_k \cdot \cos 45 = T$$

$$Y: F_{k2} + F_k \cdot \sin 45 = T_2 = T$$

$$T = \frac{q^2}{\pi \epsilon_0 \cdot a^2} + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q^2}{\pi \epsilon_0 \cdot 2a^2} = \frac{q^2}{\pi \epsilon_0 a^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right) \quad q = \sqrt{\frac{4 \epsilon_0 a^2 T \cdot 3.14}{1 + \frac{\sqrt{2}}{4}}}$$

$$1) |q| = 4 \cdot 2a \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_0 T \cdot 3.14}{1 + \frac{\sqrt{2}}{4}}}$$

для нахождения энергии как функции и

$$\text{пот. энергии} = \text{const} \Rightarrow K = -\Delta W_{\text{п}}$$

$$W_{\text{п}} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 R^2}$$

$$\Delta W_{\text{п}} = W_{\text{п}1} + W_{\text{п}2} + W_{\text{п}3} - W_{\text{п}1} - W_{\text{п}2} - W_{\text{п}3}$$

$$W_{\text{п}12} = W_{\text{п}21}$$

$$W_{\text{п}1} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 \cdot 9a^2}$$

$$W_{\text{п}1} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a^2}$$

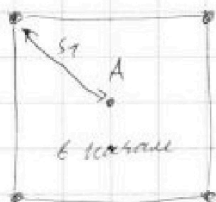
$$W_{\text{п}3} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 \cdot 4a^2}$$

$$W_{\text{п}3} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 \cdot 2a^2}$$

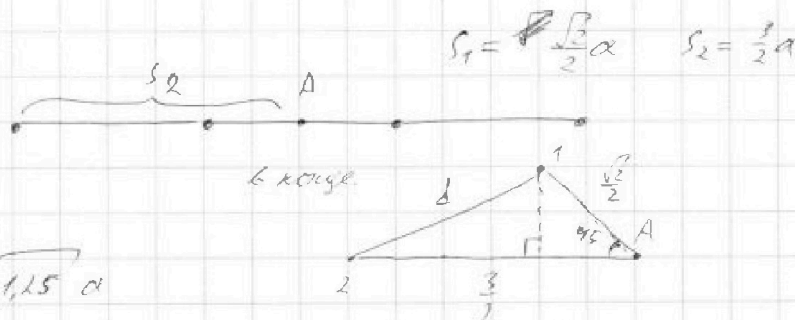
$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a^2} \left(\frac{1}{9} - 1 + \frac{1}{4} - \frac{1}{2} \right) = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \left(-\frac{41}{36} \right)$$

$$K = \frac{41 \cdot q^2}{36 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot \epsilon_0 \cdot a^2} \quad (2)$$

ц. масс не складывается, т.к. невзаимных сил. пусть Т.А - центр масс



$$d = \sqrt{a^2 + (0.5)^2} = \sqrt{1.25} a$$



Ответ: 1) $|q| = 2a \sqrt{\frac{\epsilon_0 T \cdot 3.14}{1 + \frac{\sqrt{2}}{4}}}$ 2) $K = \frac{41 q^2}{36 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot \epsilon_0 a^2}$

3) $d = a \cdot \sqrt{1.25}$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1
☐

2
☐

3
☐

4
☐

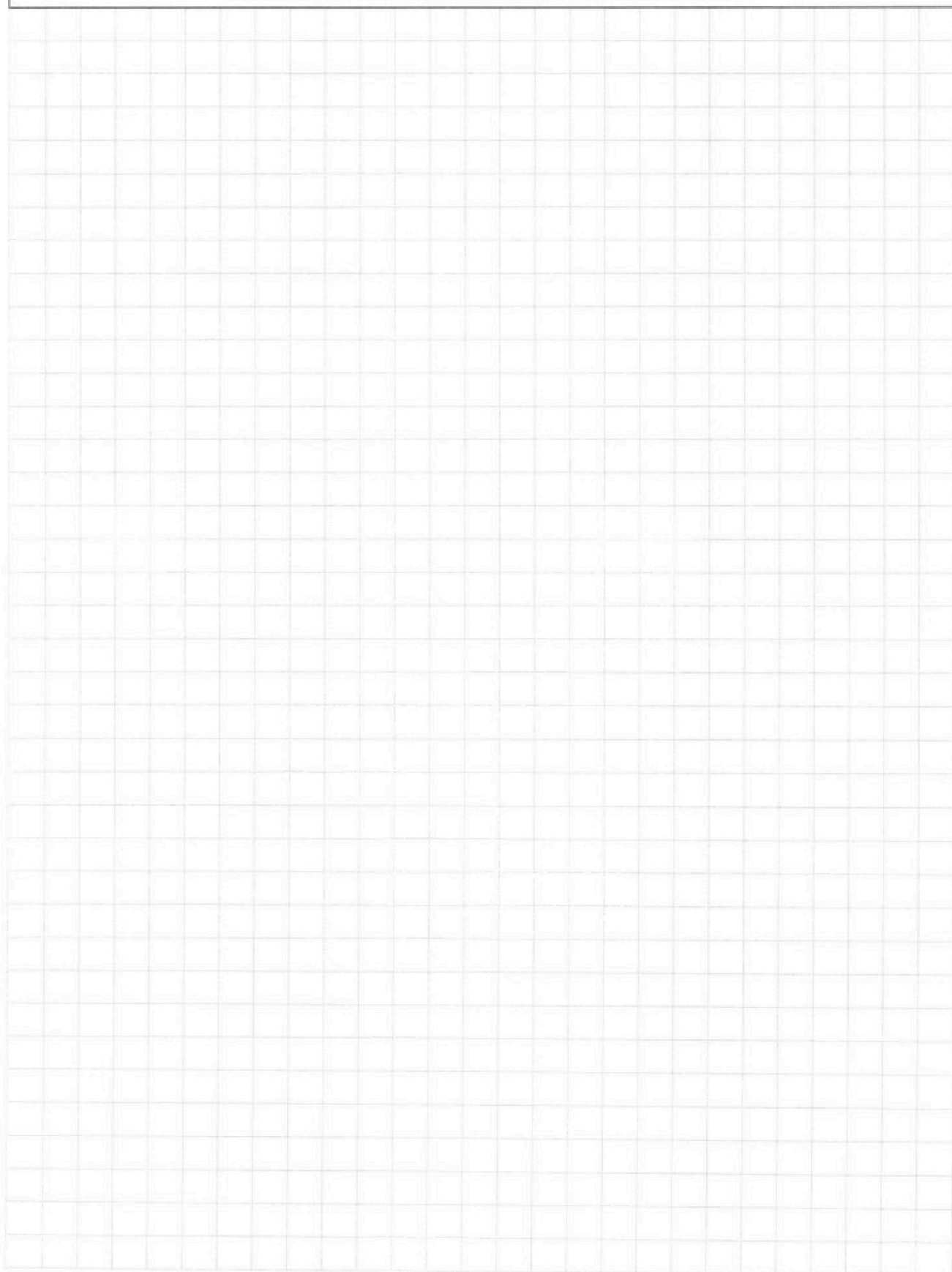
5
☐

6
☐

7
☐



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





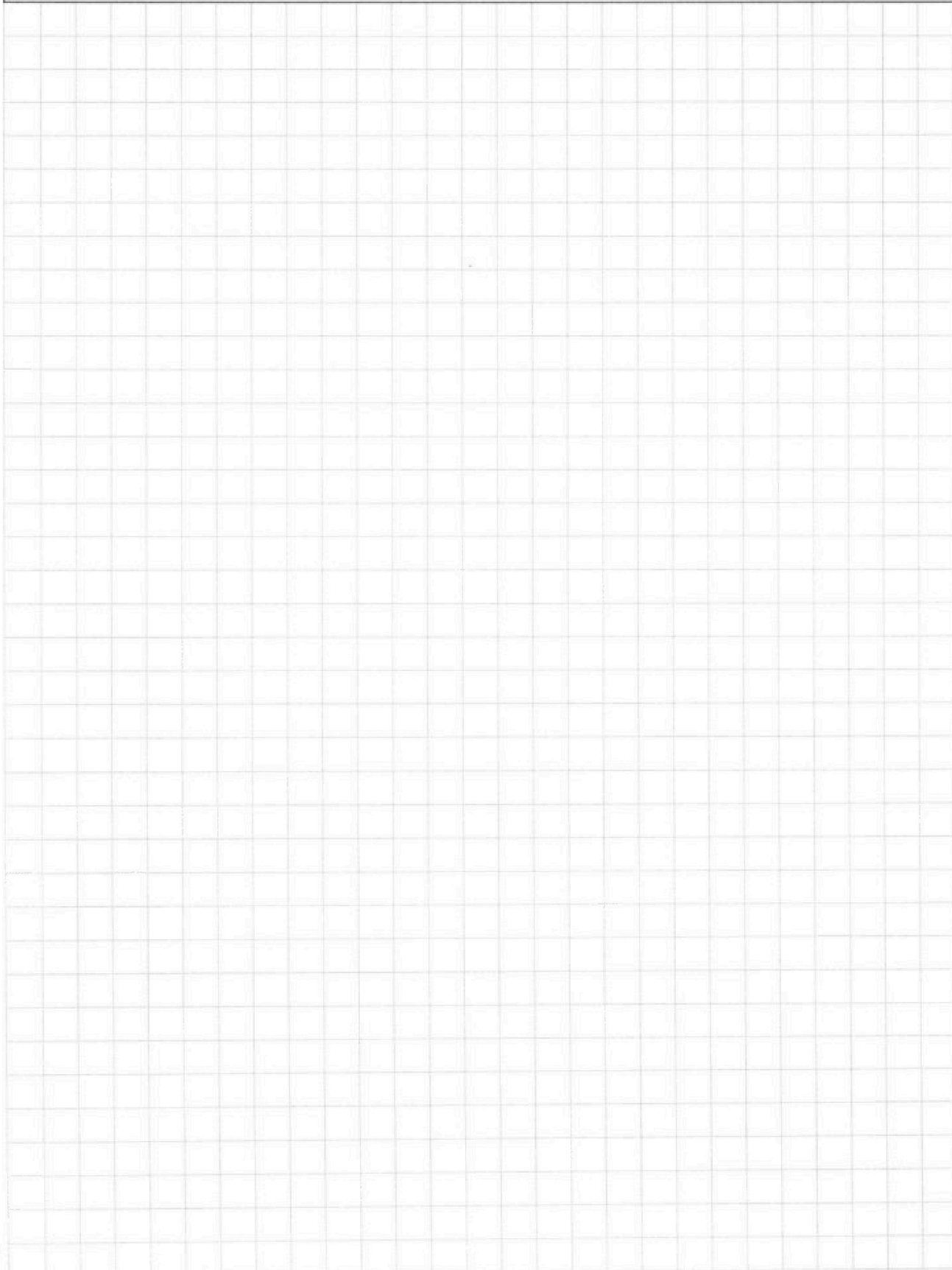
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐



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!



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!

