



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.

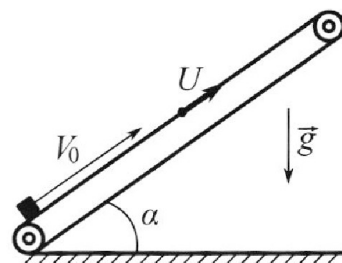
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

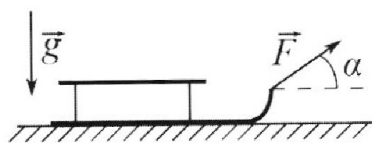
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.



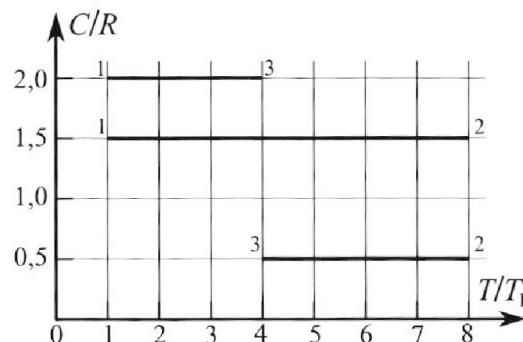
Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023

Вариант 10-02

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



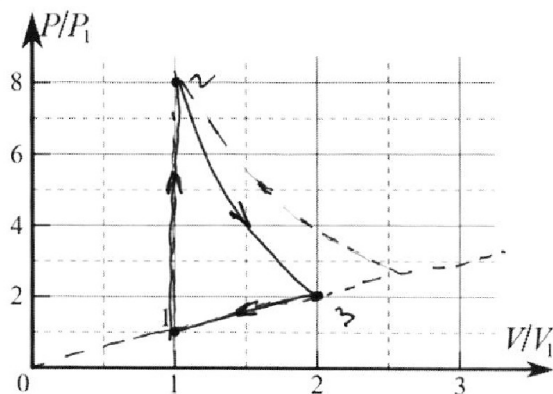
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

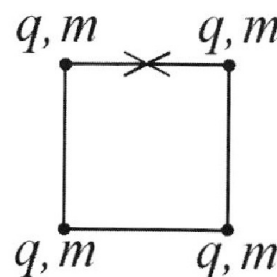
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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 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.



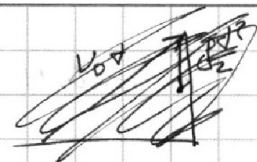
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$S \cos \alpha + \frac{S^2}{2V_0^2} \cos^2 \alpha$$

$= \frac{V_0^2}{PS} = \frac{200 \frac{M^2}{C^2}}{40 \frac{M^2}{C^2} \cdot S} = \frac{20M}{S}$, тогда порелябая $\frac{20M}{S}$ в выражение
получаем: $S(400M^2 - \frac{PS}{2V_0^2} - \frac{20M}{S} + \frac{PS}{2V_0^2}) = 3,6M$
 $- 400M^2 \cdot \frac{10M^2}{400 \frac{M^2}{C^2}} + 20M + \frac{S^2}{40} = 3,6M$

$$\frac{S^2}{40} = 3,6M^2$$

$$S^2 = 4 \cdot \frac{64}{8M}$$

$$S = 2 \cdot \frac{8M}{8M}$$

$$S = 16M$$

Ответ: $14M$; $16M$.

$$S \cos \alpha + \frac{S^2}{2V_0^2} \cos^2 \alpha$$

$$S \cos \alpha + \frac{S^2}{40} + \frac{S^2}{40} \cos^2 \alpha$$

$$-\frac{16}{20} = \frac{-S}{2 \cdot \frac{S^2}{40}} = \frac{20}{S}$$

$$- \frac{400}{S^2} \cdot \frac{S^2}{40} + S \cdot \frac{20}{S} - \frac{S^2}{40} = 3,6$$

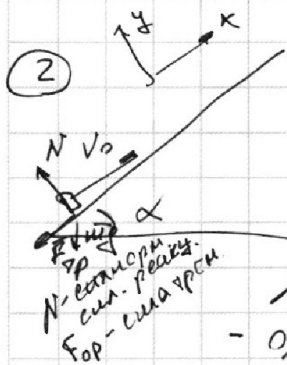
$$-10 + 20 - \frac{S^2}{40}$$

$$10 - \frac{S^2}{40}$$

$$16M = \frac{S^2}{40}$$

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!



Введем оси как показано на рисунке, тогда запишем II закон Ньютона на оси:

$$Oy: N - \mu mg \cos \alpha = 0 \quad (a_y = 0 \text{ упр. на } Oy)$$

$$Ox: m a_x = -\mu mg \sin \alpha - m N (a_x = \text{усл. на } Ox)$$

$$N = \mu mg \cos \alpha \quad a_x = -\mu g \sin \alpha - \mu^2 g \cos \alpha = -6 \frac{m}{c^2} -$$

$$- 0,5 \cdot 10 \cdot \sqrt{1 - 0,6^2} = -10 \frac{m}{c^2} \quad \text{по моменту остановки,}$$

тогда $t = \frac{6 \frac{m}{c^2}}{10 \frac{m}{c^2}} = 0,6 \text{ с}$ - время до остановки.

Проверим, будет ли скользить тело вниз, тогда

$$\mu mg \sin \alpha > F_{fr} = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow 6 \frac{m}{c^2} > 4 \frac{m}{c^2},$$

значит тело будет скользить вниз, значит

$$m a_{x1} = -\mu mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = 2 \frac{m}{c^2} \quad (a_{x1} - \text{ускорение при скольж.})$$

значит $t_1 = T - t = 0,4 \text{ с}$ - время скольжения, до

$$V_1 = a_{x1} t_1 = -0,8 \frac{m}{c^2} - \text{скорость через } T_1, \text{ значит}$$

$$S_1 - \text{пути до остановки} \quad S_2 - \text{пути до ост. до } 1 \text{ сек.}$$

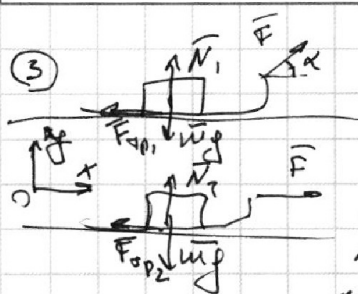
$$S_1 = \frac{V_1 t_1}{2} = 1,6 \text{ м}; \quad S_2 = \frac{V_1 t_1}{2} = 0,16 \text{ м}, \text{ откуда } S = S_1 + S_2 = 1,76 \text{ м}$$

2) перейдем в ИСО ленты, ~~тогда $V_{12} = 0$~~ скорость относительно транспортера равная обнуляется также $V_{12} = V - u = 5 \frac{m}{c^2}$ - начальная скорость в ИСО ленты. Но так как система инерциальная то $a_{12} = a_{12}$ - ускорение в системе ленты) $a_{12} = a_x$, тогда $T_1 = \frac{V_{12}}{a_x} = 0,5 \text{ с}$

3) чтобы скорость коробки стала 0, надо чтобы в ИСО ленты $V_{12} = u = 1 \frac{m}{c^2}$ и направлен против $V_{12} + u = 0$, где V_{12} - скорость коробки в ИСО, чтобы в земной скорости была 0 $V_{12} = -1 \frac{m}{c^2}$ по оси Ox , а т.к. $a_{12} = a_{x1}$, где a_{12} - ускорение скольжения в ИСО ленты, то T_2 - время от остановки до набора скорости $6 \frac{m}{c^2}$, то $V_{12} = a_{x1} \cdot T_2$, значит $T_2 = 0,5 \text{ с}$, откуда $T_1 + T_2 = 1 \text{ с}$ - время, значит $S_3 = \frac{V_{12} T_2}{2} = 0,25 \text{ м}$ (расстояние до набора скорости $1 \frac{m}{c^2}$ в ИСО ленты) и $S_4 = \frac{V_{12} T_2}{2} = 0,25 \text{ м}$, значит S_3 (расстояние до набора скорости $1 \frac{m}{c^2}$ в ИСО ленты), а лента значит $L_1 = S_3 - S_4 = 0 \text{ м}$ (перемещение в ИСО ленты), а лента перемещается на $L_2 = u(T_1 + T_2) = 1 \text{ м}$, значит $L = L_1 + L_2 = 1 \text{ м}$

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!



m - масса санок

Так как F сонаправлен SL , то тогда $A = \vec{F} \cdot \vec{SL} = F \cdot SL$, где A - работа силы F , а L - перемещение, так как движение прямолинейное, то путь и перемещение равны по модулю (и так как движение в одном направлении).

1) Пусть N_1 и F_{tr1} - силы реакции опоры и трения, а N_2 и F_{tr2} - веса. Тогда запишем 2-й закон Ньютона, но пренебрежем вправо, так как на рисунке:

2: $0y: m a_y = -m g + N_2 = 0$, значит $N_2 = m g$ (a_y - ускорение по y), тогда $F_{tr2} = m N_2 = m g$ (т.к. пренебрежим движение).

1: $0x: m a_x = -m g + N_1 + F \sin \alpha = 0$, значит $N_1 = m g - F \sin \alpha$ (где a_x - ускорение по оси $0x$), а $F \sin \alpha$ - проекция F на ось $0x$. Значит $F_{op1} = m N_1 = m g - m F \sin \alpha$ (т.к. пренебрежим движение).

Запишем ЗСЭ:

1: $A_1 - A_{tr1} = K = L (m g \cos \alpha - m g + m F \sin \alpha)$

2: $A_2 - A_{tr2} = K = L (m g - m g)$

Откуда $F = F \cos \alpha + m F \sin \alpha$

$$1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$$

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

2) при $F=0$ $F_{op2} = m g$ аналогично 2-й закону Ньютона. Второй F - сила трения в процессе торможения.

Тогда из ЗСЭ: $K = A_{tr} = m g S$, т.к. S и $m g$ сонаправлены.

$$S = \frac{K}{m g} = \frac{K \sin \alpha}{m g (1 - \cos \alpha)}$$



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!

4) Пользуясь тем, что все процессы изотермические, запишем уравнения состояния $pV = \nu RT$ и $pV^\gamma = \text{const}$ для 1-атомного газа $C_V = 1,5R$, $C_P = 2,5R$.
 $pV^\gamma = \text{const}$, где $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{2,5R}{1,5R} = \frac{5}{3}$, откуда $\gamma_{12} = -1$, $\gamma_{23} = 2$, откуда для 1-3: $\frac{p}{V} = \text{const}$.
 2-3: $pV^2 = \text{const}$ и 1-2: $V = \text{const}$

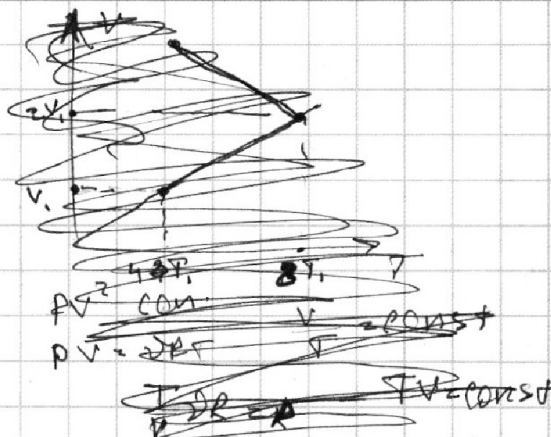
Также из графика в процессе 1-2 $T \uparrow$ в 6 раз, значит так $V = \text{const}$, то $p = \text{const}$, значит p тоже в 6 раз.
 В процессе 3-1 $T \downarrow$ в 6 раз и т.к. $pV = \text{const}$, то $p \downarrow$ в 6 раз и $V \downarrow$ в 6 раз.

1) Пусть A_{31} - работа газа на 3-1, тогда $A_{31} = -A_{13}$ равна площади под графиком, где $A_{31} = -1,5R \cdot \frac{V_1}{V_1} \cdot p_1 = -1,5R p_1$, так как $V \downarrow$
 Из ур. Н-К: $p_1 V_1 = \nu R T_1$, тогда $A_{31} = -1,5 \nu R T_1 = -300 R \cdot K \cdot \text{моль} = -82500 \text{ Дж} = -2,5 \text{ кДж} = -A_{13}$, откуда $A_{31} = 2,5 \text{ кДж}$

2) Так как $pV^{\frac{5}{3}} = \text{const}$ - работа идеального газа, то $p = \frac{\text{const}}{V^{\frac{5}{3}}} = \text{const} \cdot V^{-\frac{5}{3}}$, а процесс 2-3: $p = \frac{\text{const}}{V^2}$, откуда p по процессу 2-3 имеет вид $p = \frac{\text{const}}{V^2}$, значит в нем энергия выделяется, пусть A - работа за цикл, а Q_+ - энергия поглощаемая газом за цикл, тогда $Q_+ = Q_{12}$ - подводимая энергия в процессе 1-2, значит $Q_+ = A_{12} + C_V \nu \Delta T = C_V \nu \Delta T = 1,5 \nu R \cdot (T_2 - T_1) = 10,5 \nu R \cdot T_1$

В процессе 2-3 $p = \frac{\nu R T_2}{V^2} = \frac{\nu R T_2 V_2}{V^2}$, откуда $\text{const} = \nu R T_1 V_1$, значит $p = \frac{\nu R T_1 V_1}{V^2}$, тогда $dA = \frac{\nu R T_1 V_1}{V^2} dV$, тогда $A = \frac{\nu R T_1 V_1}{V}$, значит $A_{2-3} = \frac{\nu R T_1 V_1}{V_2} - \frac{\nu R T_1 V_1}{V_3} = 4 \nu R T_1$, а $A_{31} = -1,5 \nu R T_1$, значит $\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{2,5 \nu R T_1}{10,5 \nu R T_1} = \frac{5}{21} \approx 19\%$.

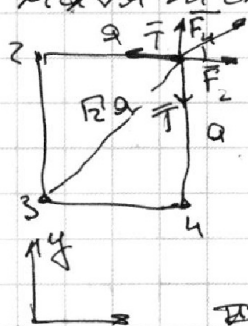
3)



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!

⑤ 1) Ввиду симметричности конструкции сила натяжения всех веревок T , тогда:



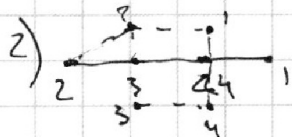
F_2 под углом 45° к горизонту и силе F_3 на другом конце веревочки (соответственно тогда: $F_2 = k \frac{q^2}{a^2} = F_4$, $F_3 = k \frac{q^2}{2a^2}$ вверев осн Ox как на рисунке, тогда F_{4x}, F_{3x}, F_{2y} - проекции сил F_4, F_3 и F_2 на ось Ox , F_{4y}, F_{3y}, F_{2x} - на ось Oy , тогда: запишем 3-й закон Ньютона:

$Ox: m a_x = 0 = F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} - T = F_2 \cos 45^\circ + F_3 \cos 45^\circ + F_4 - T = F_2 + \frac{F_3}{\sqrt{2}} - T$

$Oy: m a_y = 0 = F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} - T = F_2 \sin 45^\circ + F_3 \sin 45^\circ + F_4 - T$

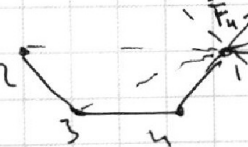
откуда $T = k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2 \sqrt{2}} = k \frac{q^2}{a^2} (1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})$

то есть $q^2 = \frac{T a^2}{k(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})}$, то есть $q = a \sqrt{\frac{T}{k(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})}}$



Ввиду того, что на систему из

шаров и веревки внешние силы не действуют, то центр масс этой системы покоится (теорема о движении центра масс), тогда центр масс системы (сварочная перемычка) это его центр, а центр масс прямой - в ее середине, то есть положение ~~какое~~ которое займет прямая из и тел показано на картинке относительно сварочной перемычки. Также заметим, что расстояние ^{между телами} меняется только у 1 и 2 , значит ~~только~~ изменение энергии на взаимодействие у 1 и 2 в K шаров. Также стоит отметить, что мы не будем считать натяжения, так как все силы,



кроме T имеют положительную проекцию на ось Ox (вертикальную и Oy (горизонтальную)).

Ввиду симметричности, 1 и 2 шар имеют одинаковую скорость в CO шаров (значит тоже имеют одинаковую скорость ввиду симметрии), тогда в момент, когда они располагаются на

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!

примой прямой пусть скорость 1 м/с шара $\vec{v}_1$,
тогда $v_{\text{ш.м.}} = \frac{20 \text{ м}}{4 \text{ м}} = \frac{v_1}{2}$, но так как центр
шара находится, то скорость эрозии-

системе отсчета $\frac{v_1}{2}$, значит в реальный
системе отсчета скорость $\frac{v_1}{2}$ всех шаров $\frac{v_1}{2}$, тогда
запишем ИСЗ: $\mu(\frac{v_1}{2})^2 = k \frac{q^2}{a^2} - k \frac{q^2}{3a^2}$, откуда

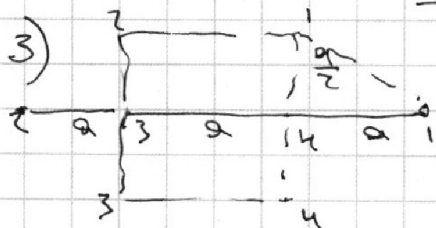
$$\frac{\mu v_1^2}{2} = k \frac{q^2}{a^2} \cdot \frac{2}{3}, \text{ значит } v_1 = \sqrt{\frac{16}{3} \cdot \frac{q^2}{a^2} \cdot \frac{k}{\mu}} = \frac{4q}{3a} \sqrt{\frac{k}{\mu}}, \text{ от-}$$

$$\text{куда } \frac{v_1}{2} = \frac{2q}{3a} \sqrt{\frac{k}{\mu}} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{k}{\mu} \cdot \frac{T}{4(1+\frac{1}{2\epsilon})}} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{T}{\mu(1+\frac{1}{2\epsilon})}}$$

$$\frac{\mu v_1^2}{2} = k \frac{q^2}{a^2} \cdot \frac{2}{3}$$

$$v_1^2 = \sqrt{\frac{24 k q^2}{3 a \mu}}, \text{ откуда } \frac{v_1}{2} = \sqrt{\frac{k q^2}{3 a \mu}} = \sqrt{\frac{k}{3 a \mu} \cdot \frac{a^2 T}{k(1+\frac{1}{2\epsilon})}} = \sqrt{\frac{a T}{3 \mu (1+\frac{1}{2\epsilon})}}$$

$$\text{откуда } \mu(\frac{v_1}{2})^2 = \frac{a T}{6(1+\frac{1}{2\epsilon})} = k$$



из предыдущих суммирований
получаем $a^2 = a^2 \epsilon \frac{a}{4} = \underline{a = a \sqrt{1,25}}$



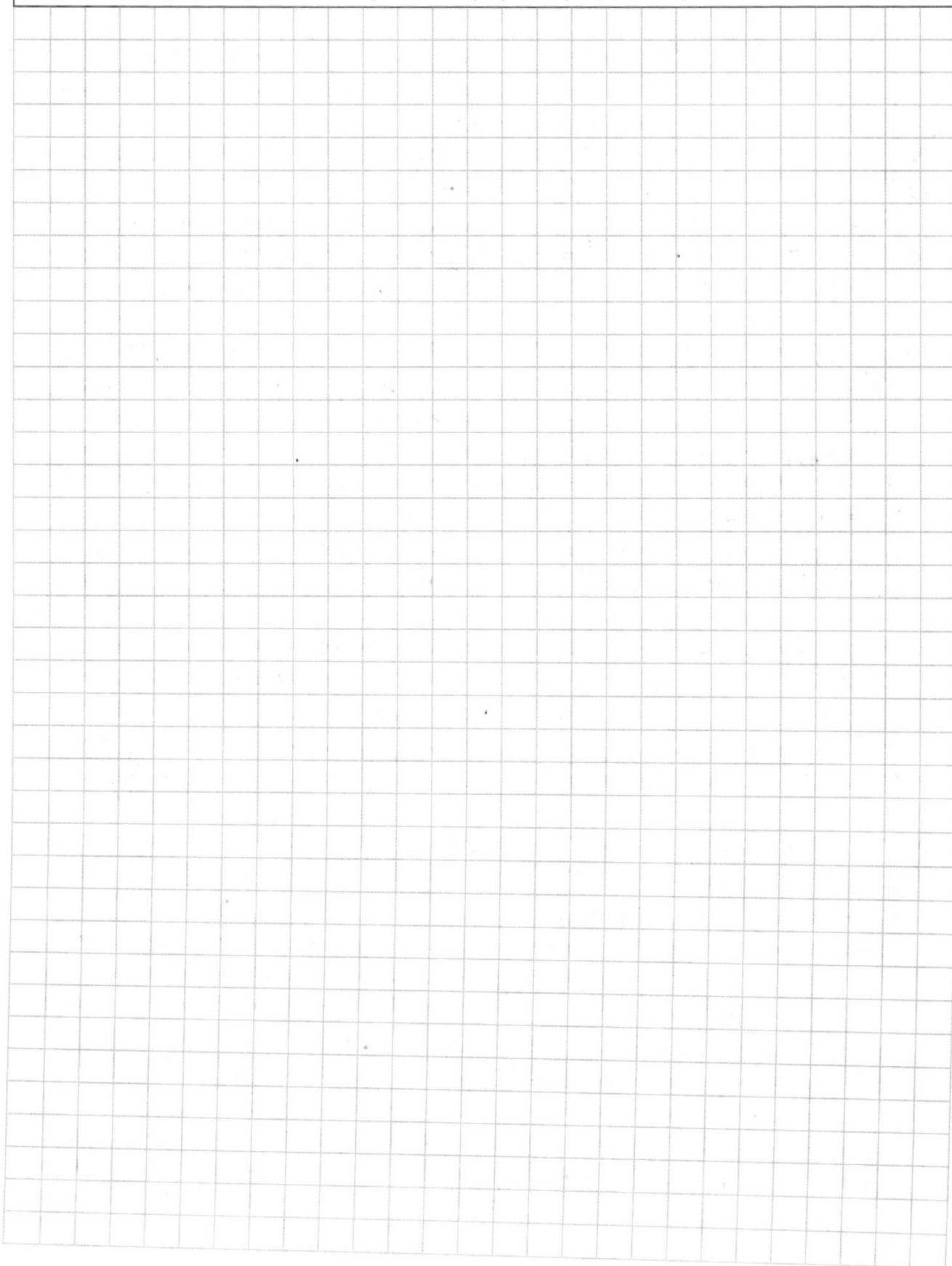
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!





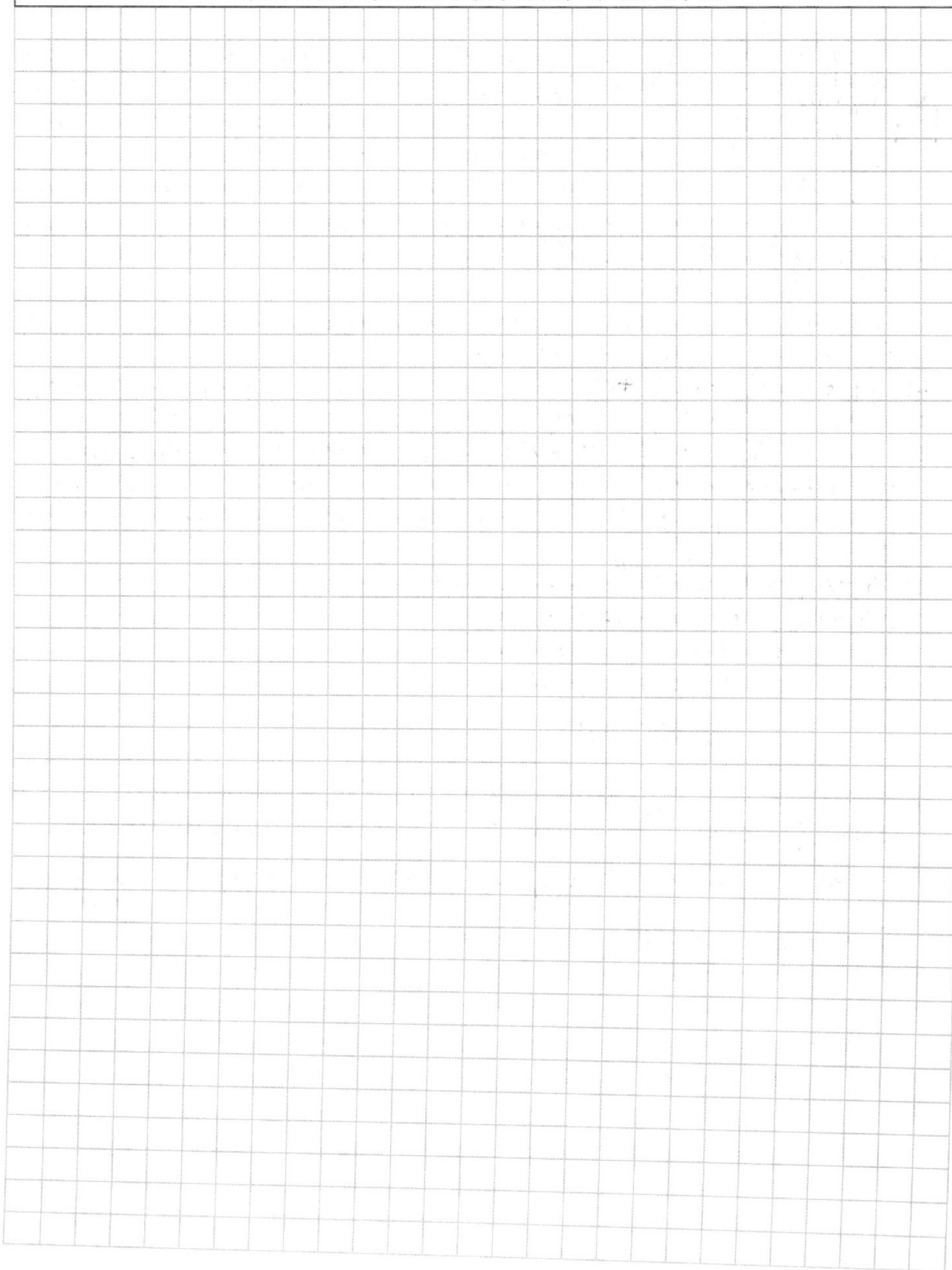
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

МФТИ

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



$\sqrt{6 \frac{H}{c^2}}$
 $0,6c$
 $0,8 \frac{H}{c}$
 $\frac{0,8 \frac{H}{c} \cdot 0,4mc}{2} + \frac{0,6c \cdot 0,6c}{2} = 0,13H + 0,16H$
 $T = 2 \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$
 $\approx k \frac{q^2}{a^2} (1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})$
 $K = \frac{(k \frac{q^2}{a} - k \frac{q^2}{3a})}{4}$
 $= k \frac{q^2}{a} \cdot \frac{1}{6} = \frac{Ta}{6(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})}$
 $q^2 = \frac{Ta^2}{K(1 + \frac{1}{2\sqrt{2}})}$
 $1,5 \frac{H}{c^2} = 1,5 \sqrt{RT_1} = 300 \cdot 6,31$
 2500 Дж
 $P_2 = \frac{\sqrt{RT_2} V_2}{V_2^2} = \frac{\sqrt{RT_1} V_1}{V_2^2}$
 $\frac{2 \sqrt{RT_1} V_1}{V_2^2} dV$
 $-\frac{2 \sqrt{RT_1} V_1}{V}$
 $\frac{8 \sqrt{RT_1} V_1}{V_1} - \frac{8 \sqrt{RT_1} V_1}{2V_1} = 4 \sqrt{RT_1} \cdot \frac{2-6}{16}$
 $= 5 \sqrt{RT_1}$
 $2,5 \sqrt{RT_1}$



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!

