



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.

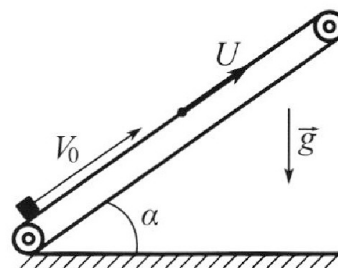
1) Найдите начальную скорость V_0 мяча.

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 возд уха 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.

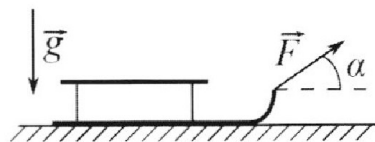
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом α к горизонту (см. рис.).

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.

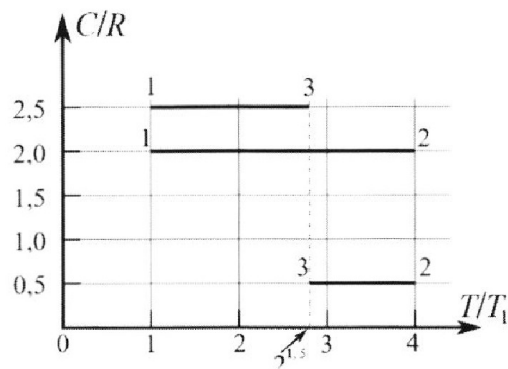


Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-01

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

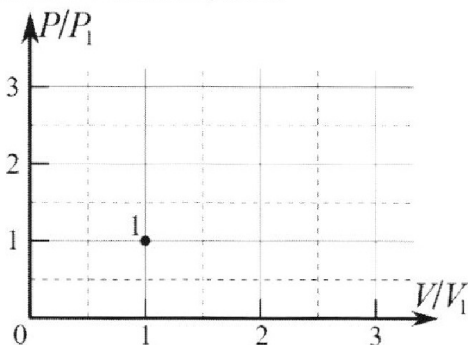
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной R) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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



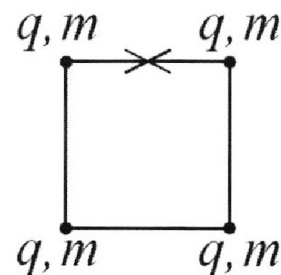
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной b (см. рис.). Масса каждого шарика m , заряд q .

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 каком расстоянии d от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?



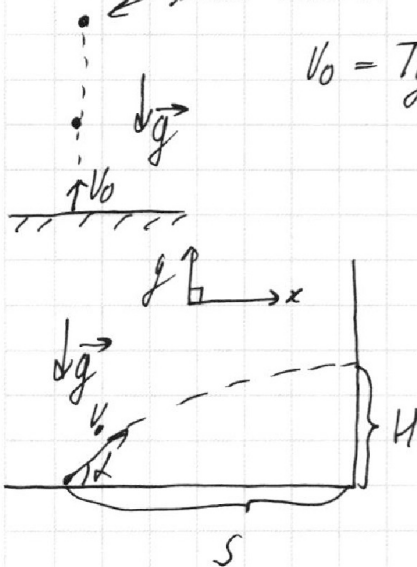
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.

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!



N1 ← макс высота $T=2c$ $S=20\text{ м}$



$$v_0 = Tg = 20 \text{ м/с} \quad (\text{м.к. скорости в вершине } \odot)$$

Вдоль оси (горизонтальную и вертикальную x и y)

найдём проекции скоростей и будем решать

$$v_y = \sin \alpha v_0$$

$$v_x = \cos \alpha v_0$$

t - время полёта до удара о сетку

$$(1) S = v_x \cdot t$$

H - высота на которой ударится шарик о сетку.

$$H = v_y t - \frac{g t^2}{2}$$

α - какой-то угол броска

$$\text{из (1)} \quad t = \frac{S}{v_x} = \frac{S}{\cos \alpha v_0}$$

$$H = v_y \frac{S}{\cos \alpha v_0} - \frac{g}{2} \left(\frac{S}{\cos \alpha v_0} \right)^2 = \frac{S v_0 \sin \alpha}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

нам нужно максимизировать $H \Rightarrow$ и функцию от α
которая зависит H

$$H = 20 \tan \alpha - 5 \frac{1}{\cos^2 \alpha} \quad (\text{подставим числа})$$

$$H = \frac{1}{\cos \alpha} \left(20 \sin \alpha - \frac{5}{\cos \alpha} \right)$$

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!

N2

$$\sin \alpha = 0,8 \quad V_0 = 9 \text{ м/с} \quad \mu = \frac{1}{3} \quad S = 1 \text{ м}$$

m - масса груза

$$N = \cos \alpha \cdot mg$$

$$F_{\text{тр}} = N \mu \quad (\text{сила действующая на груз со стороны наклонной})$$

$$a_1 = \frac{F_{\text{тр}}}{m} = \mu g \cos \alpha \quad (\text{ускорение за счет силы трения})$$

общее ускорение $a_0 = a_1 + g \sin \alpha = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

по основному тождеству $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$ где $\sin \alpha = 0,8$

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

$$S = V_0 T - \frac{a_0 T^2}{2}$$

$$T^2 \frac{a_0}{2} - T V_0 + S = 0 \quad (\text{квадратное уравнение})$$

$$D = V_0^2 - 4 S \frac{a_0}{2}$$

$$T = \frac{V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - 4 S \frac{a_0}{2}}}{2 \frac{a_0}{2}}$$

← с минусом будет отриц. не подходит

$$\Rightarrow T = \frac{V_0 + \sqrt{V_0^2 - 4 S \frac{a_0}{2}}}{a_0} = \frac{V_0 + \sqrt{V_0^2 - 2 S g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{9 + \sqrt{9^2 - 2 \cdot 1 \cdot 10 (0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6)}}{10 (0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6)}$$

$$= \frac{9 + \sqrt{81 - 20}}{10} = \frac{9 + \sqrt{61}}{10} \leftarrow D < 0 \text{ решение нет}$$

2) учесть что вагончик движется для нас ничего не

значит т.к. $V_0 \geq u$ и скорость груза не опускается ниже скорости вагончика $\Rightarrow a_0$ направлена также против движения

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta V}{a_0} = \frac{V_0 - u}{a_0} = \frac{V_0 - u}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{9 - 2}{10 (0,8 + \frac{1}{3} \cdot 0,6)} = \frac{7}{10} = 0,7 \text{ с}$$

Δt - время за которое тело установилось до $u = 2 \text{ м/с}$

ΔV - изменение скорости за время движения

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!

N2 (продолжение)

$$L = v_0 a t - \frac{g a t^2}{2} = 9 \cdot 0,2 - \frac{10(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot 0,2^2}{2} = 0,8 - \frac{10 \cdot 0,04}{2} = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ м}$$

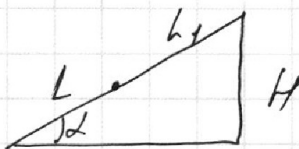
3) так как v' скорость груза всегда $< u \Rightarrow$ груз останавливается со скоростью

$$= a_0' = g \sin \alpha - a_1 = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \text{ — заданы в 3 пункте}$$

$$t' = \frac{\Delta v'}{a_0'} = \frac{u - 0}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{2}{10(0,8 - 0,2)} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \text{ (время до полной остановки)}$$

$$L_1 = u t' - \frac{a_0' t'^2}{2} = 2 \cdot \frac{1}{3} - \frac{10(0,8 - 0,2) \cdot (\frac{1}{3})^2}{2} = \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \text{ (расстояние до полной остановки)}$$

Таким образом видно что u не есть предельная



$$\Rightarrow H = \sin \alpha (L + L_1) = 0,8 \left(0,6 + \frac{1}{3} \right) = \frac{4}{5} \left(\frac{28}{30} \right)$$

$$H = \frac{56}{75} \text{ м}$$

1) Таким образом видно что мы ~~предельная~~ ~~система~~ ~~н.р. условия~~
 $L + L_1 < 1 \text{ м}$ даже с учетом того что в L_1 груз не останавливается

Ответ: 1) время T невозможно найти (нет решения)

2) $L = 0,6 \text{ м}$

3) $H = \frac{56}{75} \text{ м}$

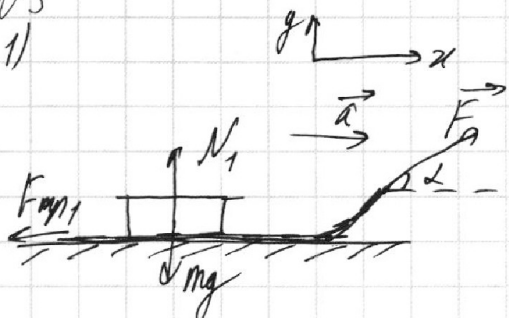
1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

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



N3

1)

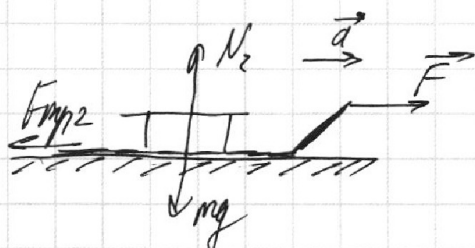


Введем ось x и y
горизонтальную и вертикальную

$F_{тр1}$ - сила трения когда сила F наклон

$F_{тр2}$ - сила трения когда F горизонтал

2)



N_1 и N_2 - соответственно силы
реакции опоры

и в первом и во втором случаях
 $a_1 = a_2 = a$ т.к. по усл. конечные
скорости равны v_0 и сила F
действует равно по
время.

$$N_1 = mg - F_y = mg - \sin \alpha F$$

$$N_2 = mg$$

$$F_{тр1} = \mu N_1 = \mu (mg - \sin \alpha F)$$

$$F_{тр2} = \mu N_2 = \mu mg$$

$$ma = F_x - F_{тр1} = \cos \alpha F - \mu (mg - \sin \alpha F)$$

$$ma = F - F_{тр2} = F - \mu mg$$

Приравняем первую и вторую части

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

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

$$\mu \sin \alpha F = F(1 - \cos \alpha)$$

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

когда сила F прикладывает горизонтал у нас остается сила $F_{тр}$

$F_{тр} = \mu mg$ и скорость v_0

$$ma' = \frac{F_{тр}}{a'}$$

$$ma' = \mu mg$$

$$a' = \mu g$$

$$\Rightarrow T = \frac{v_0}{a'} = \frac{v_0}{\mu g}$$

$$\text{Ответ: } 1) \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$2) T = \frac{v_0}{\mu g}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

МФТИ

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



N4

Обозначение $12 \Rightarrow 1 \rightarrow 2$ перемещение из точки 1 в 2
 Q - количество теплоты A - работа ΔU - внутренняя энергия

$$Q_{12} = c_{12} \nu \Delta T_{12} = 2R \nu (T_2 - T_1) = 2R \nu \cdot 3T_1 = 6R \nu T_1$$

$$Q_{23} = c_{23} \nu \Delta T_{23} = 0,5 R \nu (T_3 - T_2) = 0,5 R \nu (2^{1,5} T_1 - 4T_1)$$

$$Q_{31} = c_{31} \nu \Delta T_{31} = 2,5 R \nu (T_1 - T_3) = 2,5 R \nu (T_1 - 2^{1,5} T_1)$$

$$Q_{12} = 6R \nu T_1 > 0 \text{ нагрев.}$$

$$Q_{23} = R \nu T_1 (\sqrt{2} - 2) < 0 \text{ охлаждение.}$$

$$Q_{31} = 2,5 R \nu T_1 (1 - 2\sqrt{2}) < 0 \text{ охлаждение}$$

$$2) \eta = \frac{Q}{Q_{in}} = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = 1 + \frac{(\sqrt{2} - 2) + (2,5 - 5\sqrt{2})}{6} = 1 + \frac{0,5 - \sqrt{2}}{6} =$$

$$= \frac{13}{12} - \frac{2\sqrt{2}}{3} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

$$1) \Delta U = Q_{12} + A_{12}$$

$$\Rightarrow A_{12} = 6R \nu T_1 - 3R \nu T_1 = 3R \nu T_1$$

$$\text{Ответ: } 1) A_{12} = 3R \nu T_1 = 3 \cdot 1,8 \cdot 31 \cdot 100 = 831 \cdot 12 = 9972 \text{ Дж}$$

$$2) \left[\eta = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12} \right]$$

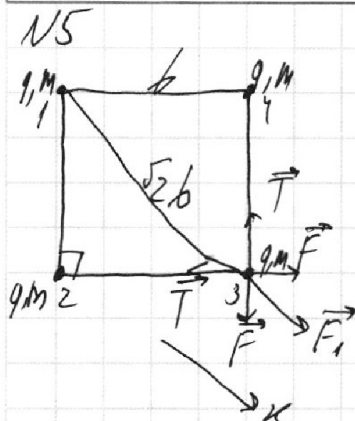
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

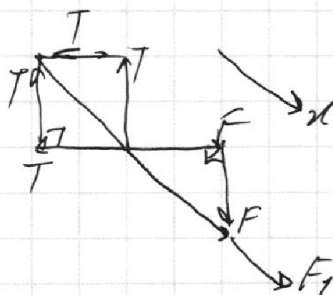


это квадрат (истинно симметрично) будем использовать это и считать одинаково
 $\Rightarrow$ все точки все равно любой шарик
 на него будет действовать $F \perp F$
 от ближайших шариков и F , по диагонали
 где диагональ квадрата $= \sqrt{2}b$
 $\Rightarrow F = \frac{kq^2}{b^2}$ $F_1 = \frac{kq^2}{2b^2}$

А со стороны нитей действуют две силы $T \perp T$

из принципа неподвижности $\Rightarrow \vec{T} + \vec{T} + \vec{F} + \vec{F} + \vec{F}_1 = 0$

Рассмотрим ось x по диагонали



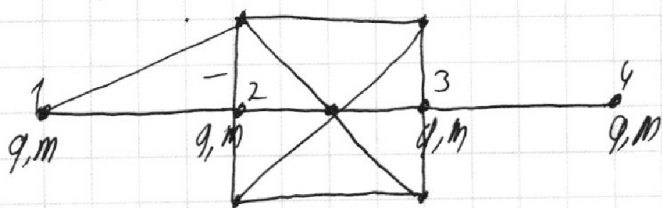
Видим что $\sqrt{2}T^2 = \sqrt{2}F^2 + F_1$

$$\sqrt{2}T = \sqrt{2}F + F_1$$

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

$$T = \frac{\sqrt{2} + \frac{1}{2}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{kq^2}{b^2} = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \frac{kq^2}{b^2}$$

2) опять применим симметрию и увидим то что это замкнутая
 система $\Rightarrow$ центр масс всегда в одной точке, а квадрата
 это точка пересечения диагоналей



По что скорости всех шариков
 одинаковы будет излучением
 (скорость $\vec{v}$ любого шарика)
 а также мы можем

показать что все шарик
 скрещены нитями, которые

действуют с одинаковыми силами с одной и другой стороны.

Мы можем применить закон сохранения энергии



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!

N5 (продолжение)

для зарядов и для их скоростей

т.к. три нити ниспадали и длинны => расстояние от 4 н
изменилось => закон сохранения эн. чрез потенциальн
применяем только к крайним зарядам => и применяем
записываем только для них (заряды 1 и 2)
для квадрата для шариков
$$F_1 = k \frac{q^2}{b^2}$$
$$F_2 = k \frac{q^2}{36b^2}$$

$$\Delta F = F_1 - F_2 = 2k \frac{q^2}{36b^2}$$

$$q \Delta F = \frac{1}{2} m v^2$$

$$2 m v^2 = q \cdot 2 k \frac{q^2}{36b^2} \quad v^2 = \frac{k q^2}{36 m}$$

$$v = \sqrt{\frac{k q^2}{36 m}}$$

3) т.к. диагональ это центр квадрата и чрез него
проводится ниспадающая // горизонту

$= L = \frac{b}{2}$ если не шариков было 2 шарик

обозначив на чертеже

ответ) 1) $T = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 2}\right) \frac{k q^2}{b^2}$

2) $v = \sqrt{\frac{k q^2}{36 m}}$

3) $L = \frac{b}{2}$ для 2 шарика

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!

$$N1$$

$$H = \frac{SS \sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

$$H' = -S \frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{V_0^2} \frac{1}{2 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha} = 0$$

$$\frac{\cos \alpha}{\sin^2 \alpha} = \frac{g}{2} \frac{S^2}{V_0^2} \frac{1}{2 \cos \alpha \cdot \sin^3 \alpha}$$

$$\sin \alpha \cos^2 \alpha = \frac{g S^2}{4 V_0^2} = \frac{10 \cdot 20}{4 \cdot 20^2} = \frac{1}{8}$$

$$\sin \alpha (\sqrt{1 - \sin^2 \alpha})^2 = \sin \alpha - \sin^3 \alpha = \frac{1}{8}$$

$$\sin^3 \alpha - \sin \alpha + \frac{1}{8} = 0$$



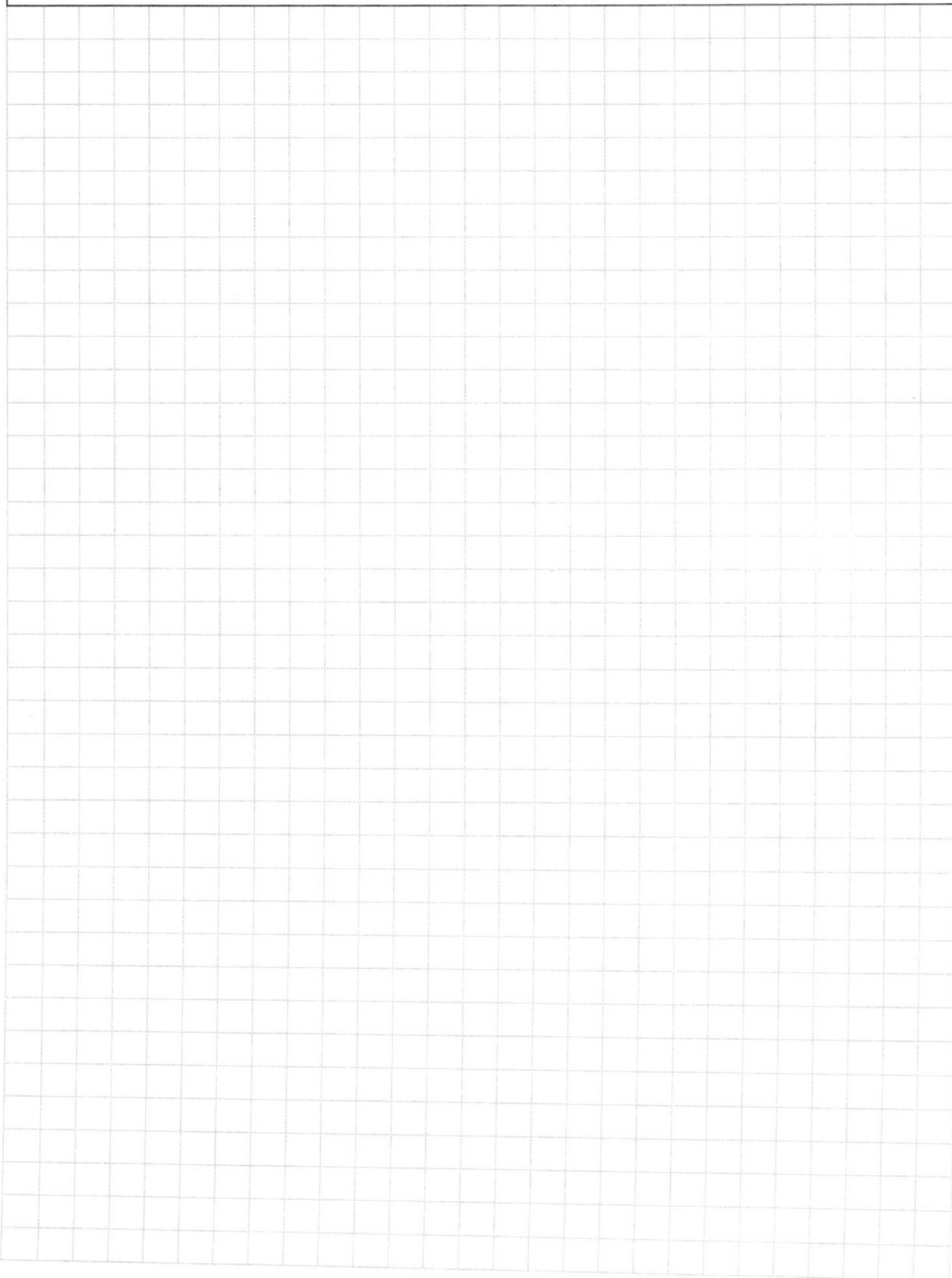
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



N4

$$Q_{12} = C_{12} \Delta T_{12} = 2R \cdot \nu (T_2 - T_1) = 2R \cdot \nu \cdot 3T_1 = 6R\nu T_1$$

$$Q_{23} = C_{23} \Delta T_{23} = 0,5R \nu (T_3 - T_2) = 0,5R \nu (2^{1,5}T_1 - 4T_1)$$

$$Q_{31} = C_{31} \Delta T_{31} = 2,5R \nu (T_1 - T_3) = 2,5R \nu (T_1 - 2^{1,5}T_1)$$

$$Q_{12} = 6R\nu T_1 > 0 \quad \text{слож.}$$

$$Q_{23} = R\nu T_1(\sqrt{2} - 2) < 0 \quad \text{слож.}$$

$$Q_{31} = 2,5R\nu T_1(1 - 2\sqrt{2}) < 0 \quad \text{слож.}$$

1) $PV = \nu RT$ где $\Delta(PV)_{12} = 3P_1V_1 \text{ м.к.}$ $\Delta T_{12} = 3T_1$

~~$Q_{12} = A_{12}$~~ $\Delta U = Q_{12} + A_{12}$

$$A_{12} = \Delta U - Q_{12}$$

$$\eta = \frac{Q}{Q_n} = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = 1 + \frac{(\sqrt{2} - 2) + (2,5 - 2\sqrt{2})}{6}$$

$$\eta = 1 + \frac{0,5 - \sqrt{2}}{6} = 1 + \frac{1}{12} - \frac{\sqrt{2}}{3} = \frac{13}{12} - \frac{\sqrt{2}}{3}$$

$$831 \cdot 12 = 8310 + 1662 = 9972$$