



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.

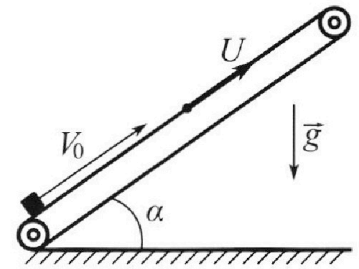
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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.

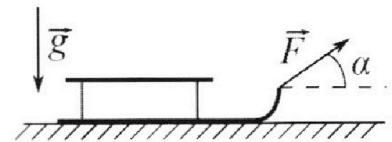
2) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

3) На какой высоте  $H$ , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.

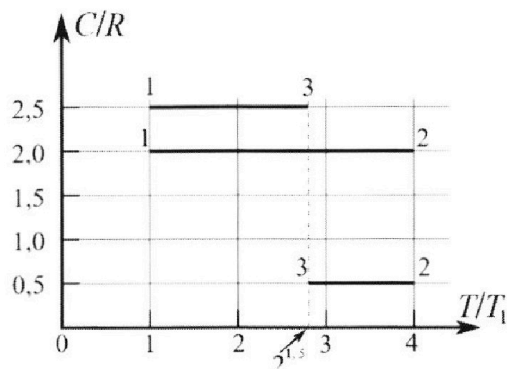
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



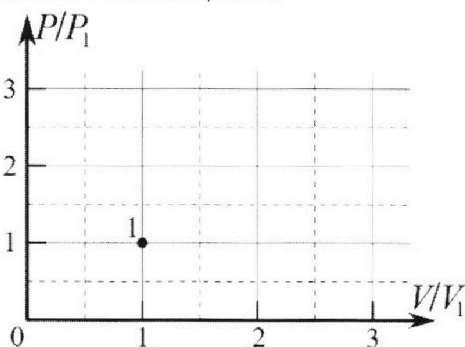
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



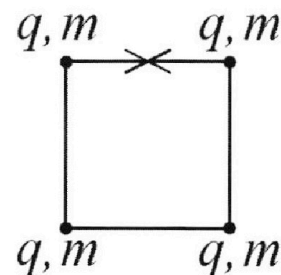
1) Найдите работу  $A_{12}$  газа в процессе 1-2.

2) Найдите КПД  $\eta$  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.

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

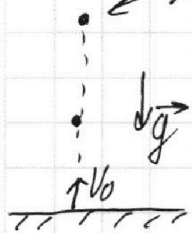
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

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



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

Выбор осей (горизонтальную и вертикальную  $x$  и  $y$ )

найдём проекции скорости и будем решать

$$v_y = \sin \angle v_0$$

$$v_x = \cos \angle v_0$$

$t$  - время полета шарика о сетку

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

$H$  - высота на которой ударится шарик о сетку.

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

$\angle$  - какой-то угол броска

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

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

нам нужно максимизировать  $H \Rightarrow$  и функцией от  $\angle$  которая зависит  $H$

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

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

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!



N2

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

$m$  - масса груза

$$N = \cos t \cdot mg$$

$$F_{\text{тр}} = N\mu \quad (\text{сила трения действует на груз со стороны на который он движется})$$

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

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

по основной тригонометрии  $\sin^2 t + \cos^2 t = 1$  где  $\sin t = 0,8$

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

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

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

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

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

$\leftarrow$  с минусом будет отриц. не подходит

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

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

2) учесть что конвейер движется для нас число не

механика т.к.  $V_0 \geq u$  и скорость груза не опускается ниже скорости конвейера  $\rightarrow a_0$  направлена также против движения

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

$\Delta t$  - время за которое тело остановилось по  $u = 2 \text{ м/с}$

$\Delta V$  - изменение скорости во 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
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

N2 (продолжение)

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

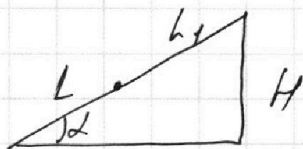
3) так как  $v' < v$  скорость груза всегда  $< v \Rightarrow$  груз останавливается со скоростью

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

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

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

Значит мы видим что у нас есть три участка



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

$$H = \frac{56}{75} \text{ м}$$

1) Так как мы видим что мы ~~не~~ ~~вышли~~ ~~из~~ ~~плоскости~~ ~~и~~ ~~т.д.~~ ~~и~~ ~~т.д.~~  
 $L + L_1 < 1 \text{ м}$  даже с учетом того что в  $L_1$  груз останавливается

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

2)  $L = 0,6 \text{ м}$

3)  $H = \frac{56}{75} \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

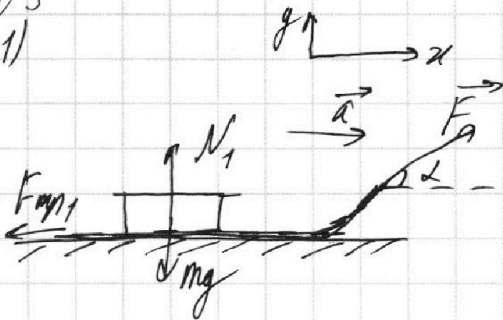
**МФТИ**

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



N3

1)

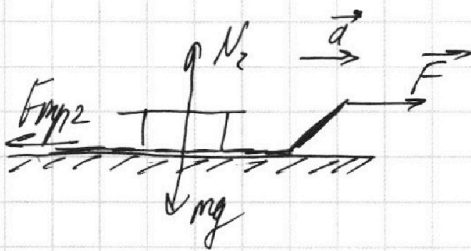


Введем ось  $x$  и  $y$   
горизонтальную и вертикальную

$F_{mp1}$  - сила трения когда сила  $F$  под углом

$F_{mp2}$  сила трения когда  $F$  горизонтал.

2)



$N_1$  и  $N_2$  - соответственно силы  
реакции опоры

и в первом и во втором случае  $a_1 = a_2 = a$  т.к. по укл. конечные скорости равны  $v_0$  и сила  $F$  горизонтальна равна по направлению.

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

$$N_2 = mg$$

$$F_{mp1} = \mu N_1 = \mu (mg - \sin \alpha F)$$

$$F_{mp2} = \mu N_2 = \mu mg$$

$$ma = F_x - F_{mp1} = \cos \alpha F - \mu (mg - \sin \alpha F)$$

$$ma = F - F_{mp2} = F - \mu mg$$

Спроецируем первую и вторую равенства

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

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

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

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

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

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

когда сила  $F$  прикладывает горизонтально и как остается сила  $F_{mp}$

$F_{mp} = \mu mg$  и скоростью  $v_0$

$$ma' = \frac{F_{mp}}{g}$$

$$F_{mp} a' = \mu mg$$

$$a' = \mu g$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

МФТИ

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

N4

Обозначим  $T_2 \rightarrow T_1 \rightarrow T_3$  температурами из точек а б з  
 $Q =$  количество теплоты  $A =$  работа  $\Delta U =$  изменение

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

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

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

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

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

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

$$2) \eta = \frac{Q}{Q_n} = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = 1 + \frac{(\sqrt{2} - 2) + (2,5 - 5\sqrt{2})}{6} = 1 + \frac{0,5 - \sqrt{2}}{6} =$$
$$= \frac{13}{12} - \frac{2\sqrt{2}}{3} = \frac{13 - 8\sqrt{2}}{12}$$

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

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

$$\text{Ответ: 1) } A_{12} = 3R\nu T_1 = 3 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 100 = 2493 \text{ Дж}$$

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

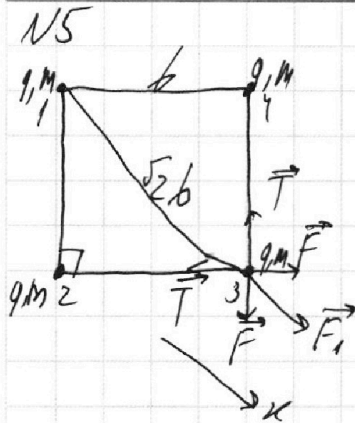
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!

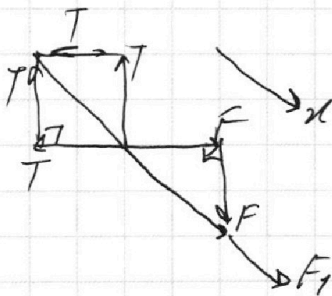


это квадрат (система симметрична) будем использовать это и симметрию  
 $\Rightarrow$  все точки все равно любой шарик на него будет действовать  $F \perp F$  от симметричных шариков и  $F$ , по диагонали где диагональ квадрата  $= \sqrt{2}b$   
 $\Rightarrow F = \frac{kq^2}{b^2}$       $F_1 = \frac{kq^2}{2b^2}$

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

из закона Ньютона  $\Rightarrow \vec{T} + \vec{T} + \vec{F} + \vec{F} + \vec{F}_1 = 0$

Базисными ось  $x$  по диагонали



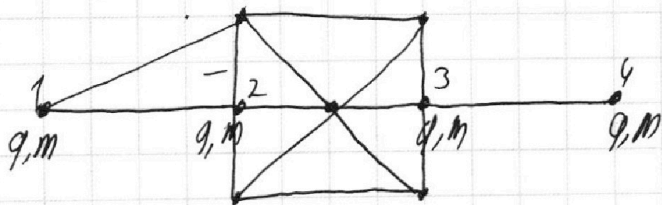
Видим что  $\sqrt{2}T^2 = \sqrt{2}F^2 + F_1$

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

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

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

2) опять применим симметрию и увидим то что это симметричная система  $\Rightarrow$  центр масс будет в одной точке, а квадрата это точка нулевого электрического поля



по что скорости всех шариков одинаковы и будет нулевым (скорость в любой точке) и так как мы можем сказать что все шарики скреплены нитями, катушке

действуют с одинаковыми силами с одной и другой катушкой.

мы можем применить закон сохранения энергии



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!

№5 (продолжение)

для зарядов и для их скоростей

т.к. три нити ниспадали и длины  $\Rightarrow$  расстались за 4 нс  
изменилось  $\Rightarrow$  закон сохранения эн. чрез потенциальн  
применяем только к крайним зарядам  $\Rightarrow$  и применяем  
записываем только для них (заряды 1 и 2)  
для квадрата для пушковой

$$F_1 = k \frac{q^2}{b^2}$$

$$F_2 = k \frac{q^2}{36}$$

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

$$q \Delta p = \frac{2}{9} \frac{m v^2}{2}$$

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

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

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

3) т.к. диагональ это центр квадрата и чрез него  
проводится нити пружина // горизонтально

$= l = \frac{b}{2}$  если не растягивали 2 шарик

обозначим 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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

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

$$N 1 \\ H = \frac{SS \sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{g}{2} \frac{S^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha}$$

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

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

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

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

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



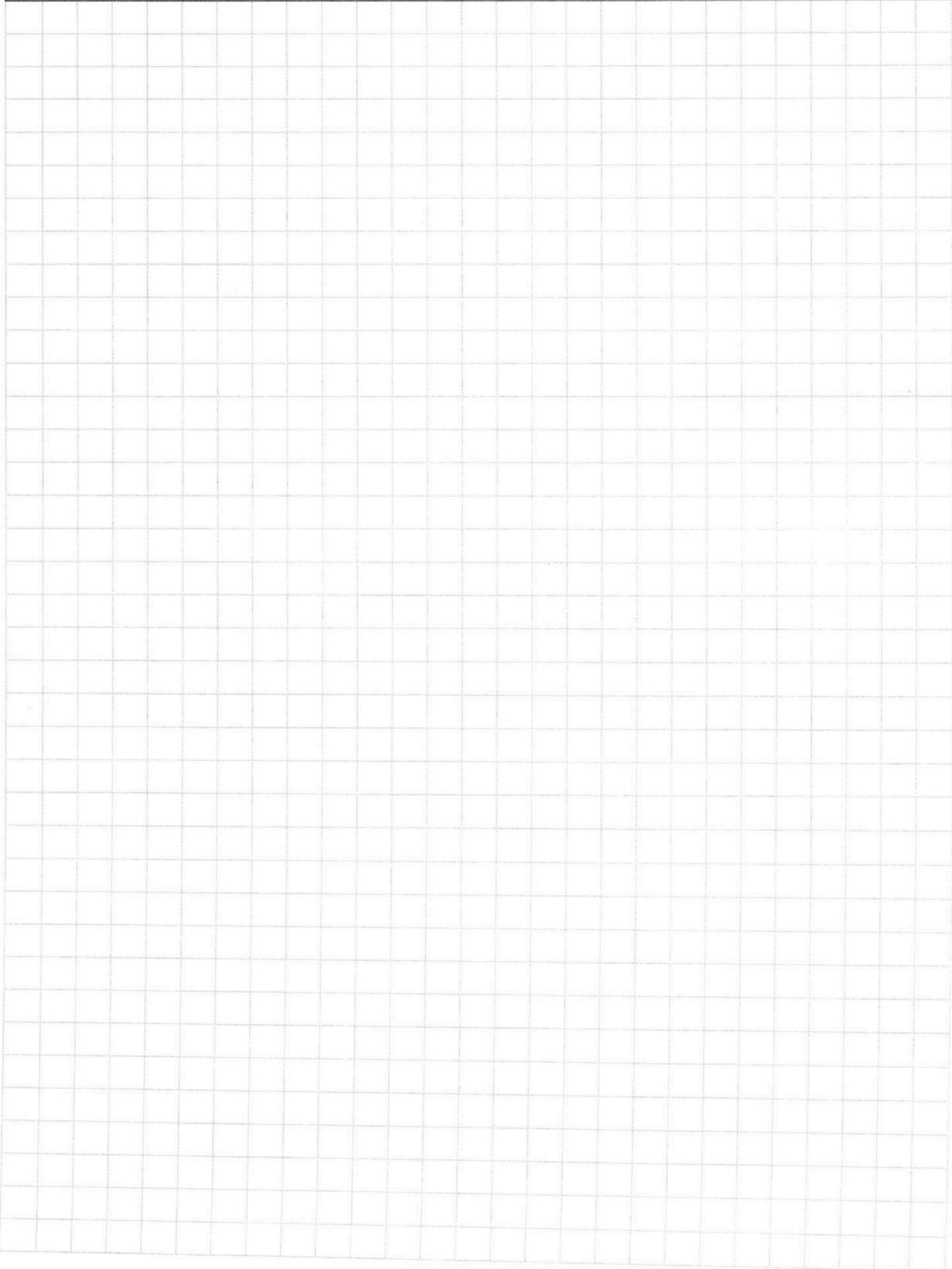
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



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
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

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

N4

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

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

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

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

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

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

1)  $PV = \nu RT$  где  $\Delta(PV)_{12} = 5P_1 V_1$  м.к.  $\Delta T_{12} = 3T_1$

~~$\Delta U = \Delta(PV)_{12}$~~   $\Delta U = Q_{12} + A_{12}$

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

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

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

$$831 \cdot 12 = 8510 + 1662 = 9972$$