



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.

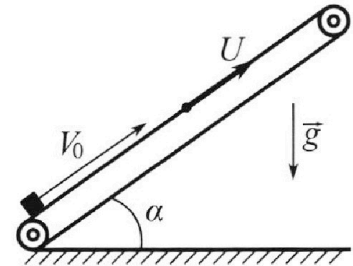
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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.

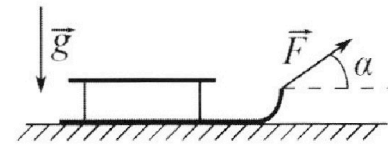
2) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

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.



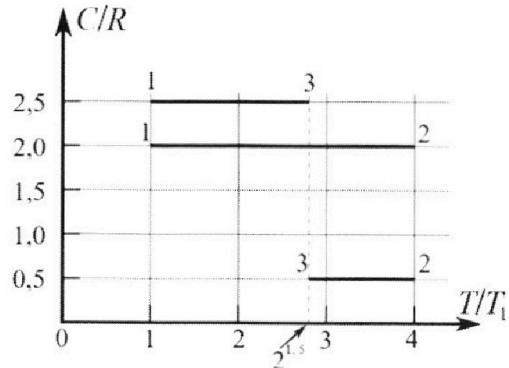
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



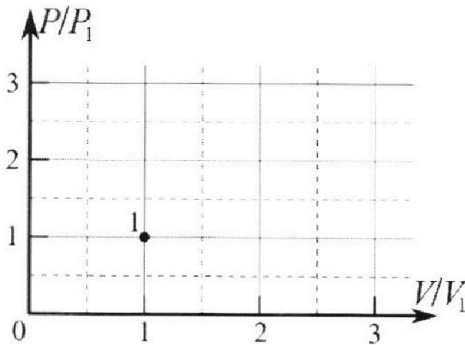
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



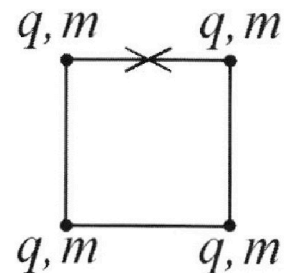
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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.

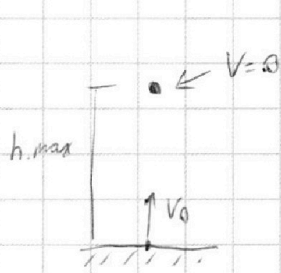
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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

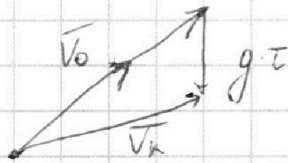
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



N 1

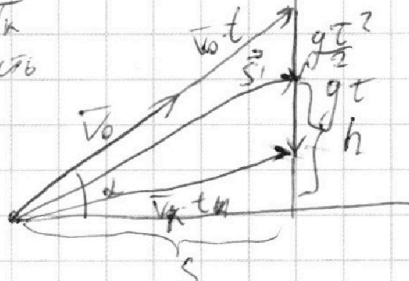
На макс. высоте  $v=0$   
 $\Rightarrow v_0 - g \cdot T = 0$   
 $\Rightarrow v_0 = g \cdot T = 20 \text{ м/с}$

Рассмотрим векторный треугольник скорости:



$v_k$  - горизонтальная скорость

Рассмотрим  $\Delta t$  перемещений,  
наложенный на  $\Delta t$  скорости:



$\alpha$  - угол м/у начальной  
скорости и горизонтал.  
 $\vec{s}_i$  - вектор перемещения.

~~$v_0^2 \Delta t^2 = S^2 + (h + \frac{g \Delta t^2}{2})^2$~~   
 $v_0^2 \cdot t^2 = S^2 + v_0^2 t^2 \cdot \sin^2 \alpha$ ,  $\Rightarrow v_0^2 t^2 (1 - \sin^2 \alpha) = S^2$   
 $\Rightarrow t = \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha}$

$$h = v_0 \cdot t \cdot \sin \alpha - \frac{g t^2}{2} = v_0 \cdot \frac{S}{v_0 \cdot \cos \alpha} \cdot \sin \alpha - \frac{g \cdot S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= S \cdot \tan \alpha - \frac{g \cdot S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} = S \cdot \left( \tan \alpha - \frac{g S}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} \right)$$

$h \Rightarrow \max$ , при  $h'(\alpha) = 0$

$$\tan' \alpha = \frac{(\sin \alpha)'}{\cos \alpha} = \frac{\cos \alpha \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos^2 \alpha} + \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \Rightarrow h'(\alpha) = S \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} - \frac{g \cdot S \cdot 2 \cdot \sin \alpha}{2 v_0^2 \cos^3 \alpha} \right)$$

$$\left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)' = 0 \cdot (\cos^2 \alpha)' + 1 \cdot 2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha = \frac{2 \sin \alpha}{\cos^3 \alpha} \Rightarrow$$

$$\left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} - \frac{g S}{v_0^2 \cos^3 \alpha} \right)' = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \left( 1 - \frac{2g S}{v_0^2} \cdot \tan \alpha \right) \Rightarrow \tan \alpha = \frac{v_0^2}{2g S} = \frac{g^2 \tau^2}{2g S} = \frac{g \tau^2}{2S}$$

$$\Rightarrow \alpha = 45^\circ \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$h = S \cdot \tan \alpha - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} = \frac{S \cdot g \tau^2}{2S} - \frac{g \cdot S^2 \cdot 2}{2 v_0^2} = \frac{g \tau^2}{2} - \frac{2g S^2}{v_0^2} = 0$$



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 checked="" 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!

~~Вариант~~

Ответ:  $v_0 = 20 \text{ м/с}$ ,  $h = 0$



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

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

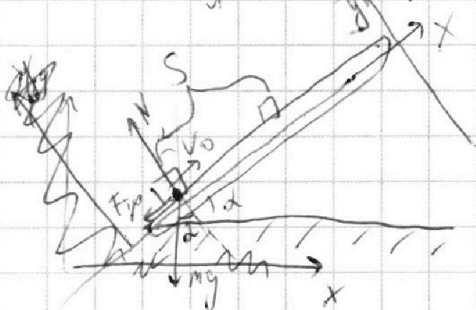
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



№2

$$\sin \alpha = 0.8$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0.6$$



Затем по II закону Ньютона на ось x y:

нью:  $N = mg \cdot \cos \alpha$

Доб x:  $ma = mg \cdot \sin \alpha - \mu N = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$   
 $= -mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = -mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$   
 ~~$S = v_0 T + \frac{a T^2}{2}$~~   $a_i = -g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

$$S = v_0 T + \frac{a T^2}{2}$$

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

$$\frac{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{2} T^2 - v_0 T + S = 0$$

~~$$T = \frac{v_0}{g} \pm \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} - \frac{2gS (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{g^2}}$$~~

$$D = v_0^2 - 2gS (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) < 0$$

$\Rightarrow$  корень уже будет отриц.

Развернется коробка в момент  $t_1$  с начала движения

$$v_1 = a_1 t_1 + v_0 = 0$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{-v_0}{a_1} = \frac{v_0}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$$

Расстояние до остановки:

$$S^1 = v_0 t_1 + \frac{a_1 t_1^2}{2} =$$

$$= \frac{v_0^2}{g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} - \frac{v_0^2}{2g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{v_0^2}{2g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = 0.3 \text{ м}$$

После остановки по II закону Ньютона:

$$a_2 = -g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

(она трения направлена)

$$S - S^1 = -\frac{a_2 t_2^2}{2}$$

$t_2$  - время от остановки до прохождения пути S.

$$\Rightarrow \frac{2(S - S^1)}{-a_2} = t_2^2 \Rightarrow t_2^2 = \frac{2 \cdot (S - \frac{v_0^2}{2g (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)})}{g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{0.24 - 0.2}{6 \cdot 1/2} = \sqrt{\frac{0.4}{6}} =$$

$$= 2 \sqrt{\frac{1}{60}} = \sqrt{\frac{1}{15}} \text{ с}$$

$$T = t_1 + t_2 = \left( \frac{1}{\sqrt{15}} + 0.4 \right) \text{ с}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



№ 3

Первый шаг

По II-му з-у Ньютона:

$$mg = F \cos \alpha + N \quad (\text{ось } y')$$

$$N = mg - F \sin \alpha$$

$$\text{ось } x: \quad m \cdot a_1 = F \cos \alpha - \mu \cdot N = m(mg - F \sin \alpha) + F \cos \alpha$$

$$\Rightarrow a_1 = -\mu g + \frac{F}{m} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

По II-му з-у Ньютона:

$$(\text{ось } y) \quad N = mg; \quad m a_2 = F - \mu N = F - \mu mg \quad (\text{ось } x)$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{F}{m} - \mu g$$

Т.к. они разогнались до той скорости за одинаковое время, то  $a_1 = a_2$

$$\frac{F}{m} - \mu g = \frac{F}{m} (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu g$$

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

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

После прекращения действия силы, замкнем II-й з-н Ньютона.

$$m a = -\mu N = -\mu mg \quad (\text{ось } x)$$

$$\Rightarrow a = -\mu g$$

$$\Rightarrow v_0 - \mu g T = 0$$

$$\Rightarrow T = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) \cdot g}$$

$$\text{Ответ: } \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}; \quad T = \frac{v_0 \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) \cdot g}$$



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!



УЧ

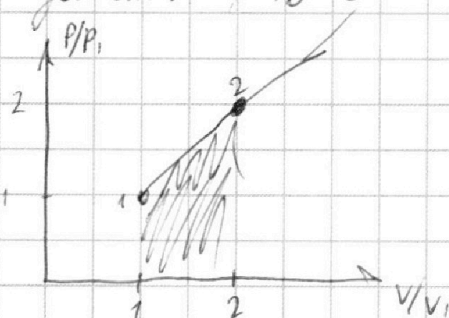
Заметим, что процесс 3-1- изобарный ( $C_p = R \cdot \frac{5}{2}$ )

Процесс 1-2 - тоже прямой,

которая в координатах  $(\frac{P}{P_1}; \frac{V}{V_1})$  будет прямой

где  $\frac{P}{V} = \text{const}$  Нарисуем такой график

и докажем, что  $C = 2$  (для  $i = 3$ )



$$Q = \frac{3}{2} \nu R \Delta T + A, \quad A = \frac{1}{2} \nu R \Delta T$$

$$\Rightarrow C = \frac{3}{2} + \frac{1}{2} = 2 \text{ Дж/моль}^\circ\text{К}$$

Также можно заметить, что  $T \sim PV$ ,  $P \sim V \Rightarrow T \sim P^2 \sim V^2$

$\Rightarrow$  если  $T$

увеличилось в  $n$  раз, то  $P$  и  $V$  - в  $\sqrt{n}$

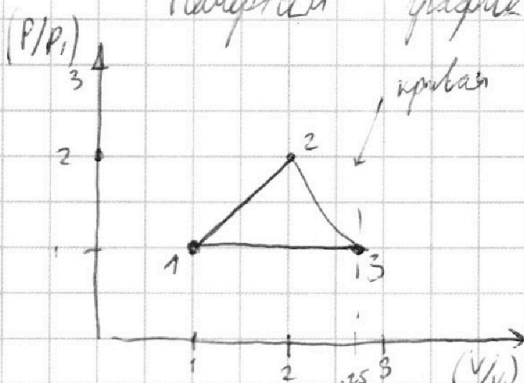
$$\Rightarrow P_2 = 2P_1, \quad V_2 = 2V_1$$

$$A_{12} = \frac{(P_1 + P_2)}{2} \cdot (V_2 - V_1) = \frac{3P_1}{2} \cdot V_1 = \frac{3}{2} \nu R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 400 \cdot 8.31 =$$

$$= 6 \cdot 831 \text{ Дж} = 4986 \text{ Дж}$$

$\begin{matrix} \times 831 \\ 4986 \end{matrix}$

Нарисуем график в координатах  $(\frac{P}{P_1}; \frac{V}{V_1})$



Процесс 2-3 имеет теплотехность постоянную и  $> 0 \Rightarrow$  этот процесс "круче" отдавать энергии тепло на внешнюю среду.

$$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{A}{Q_2} = \frac{A}{(2^{1.5} - 1) \frac{V}{V_1}} \cdot \text{высотой } P_1$$

$$\Rightarrow \eta \approx \frac{1.82 \cdot P_1 \cdot V_1}{A_{12} + Q_{12}} = \frac{1.82 \cdot \nu R T_1}{\frac{3}{2} \nu R T_1 + 3 \cdot \nu R T_1} = \frac{1.82}{4.5} \approx 0.4$$

Ответ:  $A_{12} = 4986 \text{ Дж}$ ;  $\eta \approx 0.4$ ; см. рисунок

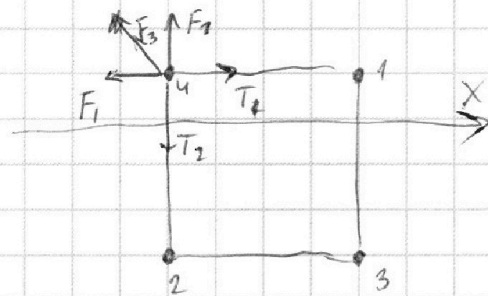
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$\sqrt{5}$

$T_1 = T_2$  из симметрии  
 $F_1 = F_2$  из симметрии (силы направлены к 4 шару)  
 $T_1$  - сила натяжения между 4 и 1 шаром  
 $T_2$  - между 4 и 2 м

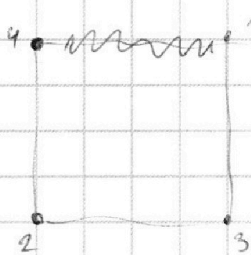
На ось X для шарика 4

$$F_1 + F_3 \cdot \cos 45^\circ = T_1$$

$$k \cdot \frac{q^2}{b^2} + k \cdot \frac{q^2}{2b^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = T_1$$

$$T = k \cdot \frac{q^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right) = k \cdot \frac{q^2}{b^2} \cdot \frac{(4 + \sqrt{2})}{4}$$

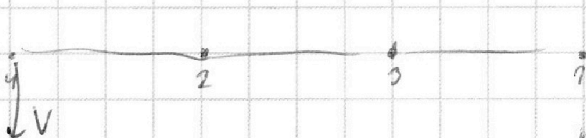
2)



в направлении (в начальном положении равновесия)

$$\varphi_4 = k \cdot \frac{q^2}{b} + k \cdot \frac{q^2}{b} + k \cdot \frac{q^2}{b \cdot \sqrt{2}} =$$

$$= k \cdot \frac{q^2}{b} \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = k \cdot \frac{q^2}{b} \left(\frac{4 + \sqrt{2}}{2}\right)$$



$$\varphi_{4 \text{ кон}} = k \cdot \frac{q^2}{b} + k \cdot \frac{q^2}{2b} + k \cdot \frac{q^2}{3b} =$$

конечный потенциал

$$= k \cdot \frac{q^2}{b} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) =$$

$$= k \cdot \frac{q^2}{b} \left(\frac{11}{6}\right)$$

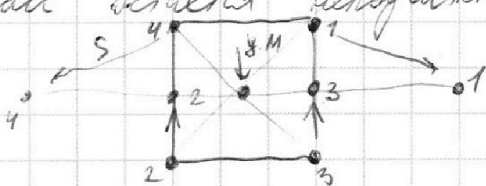
Асм = Есм

$$q \cdot (\varphi_4 - \varphi_{4 \text{ кон}}) = \frac{mV^2}{2}$$

$$k \cdot \frac{q^2}{b} \cdot \left(2 + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{11}{6}\right) = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow V^2 = k \cdot \frac{q^2}{mb} \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{2}}{2}\right) \cdot 2 =$$

$$V = \sqrt{k \cdot \frac{q^2}{mb} \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right)} = q \cdot \sqrt{\frac{k}{mb} \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right)}$$

на систему не действует внешняя сила  $\Rightarrow$  центр масс остается неподвижным.



Ответ:  $d = \sqrt{\left(\frac{b^2}{2} + b^2\right)} = \frac{b}{2} \cdot \sqrt{5}$

Ответ:  $T = k \cdot \frac{q^2}{b^2} \left(1 + \frac{\sqrt{2}}{4}\right)$ ,  $V = q \cdot \sqrt{\frac{k}{mb} \cdot \left(\frac{1}{3} + \sqrt{2}\right)}$



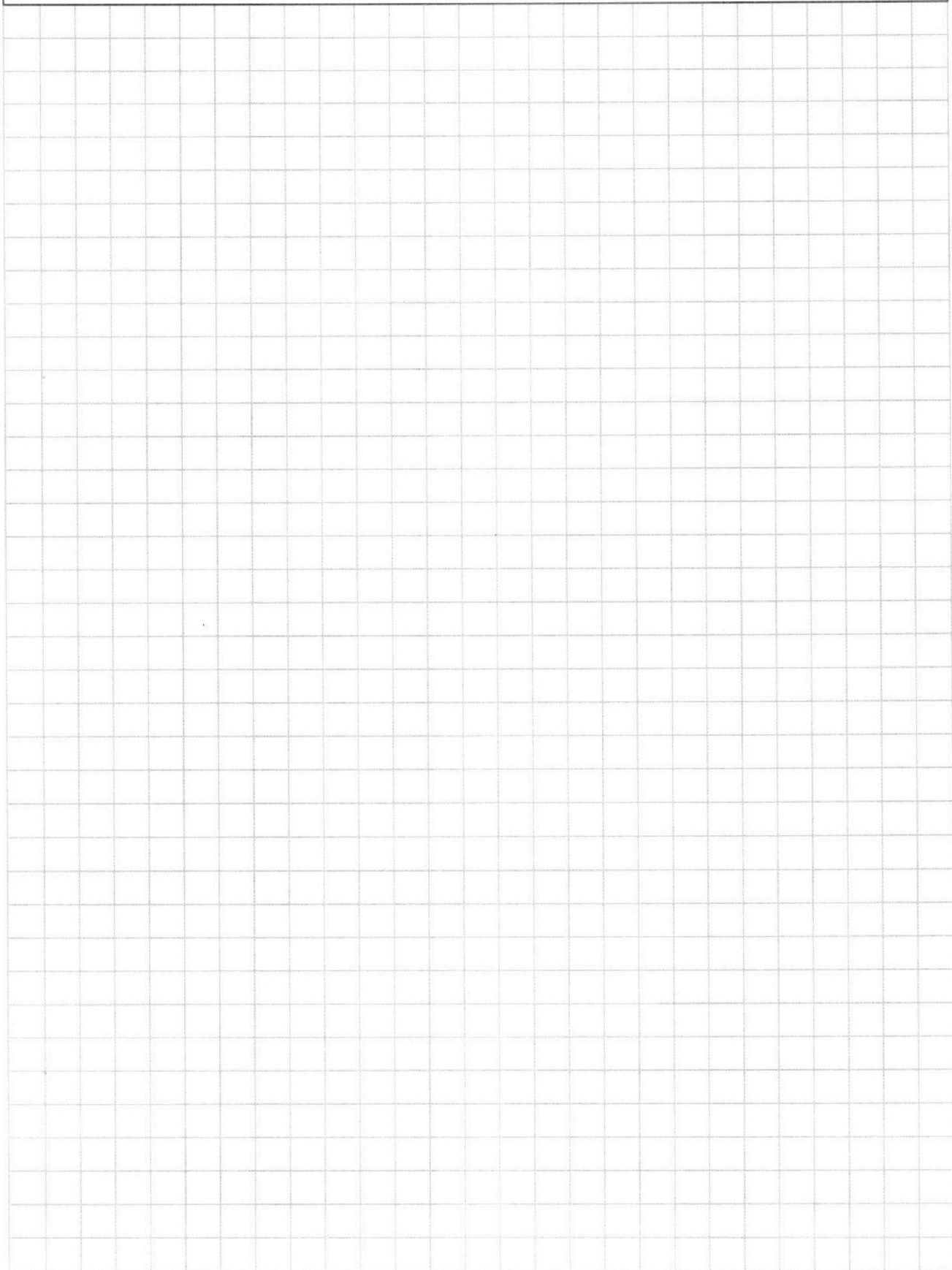
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!







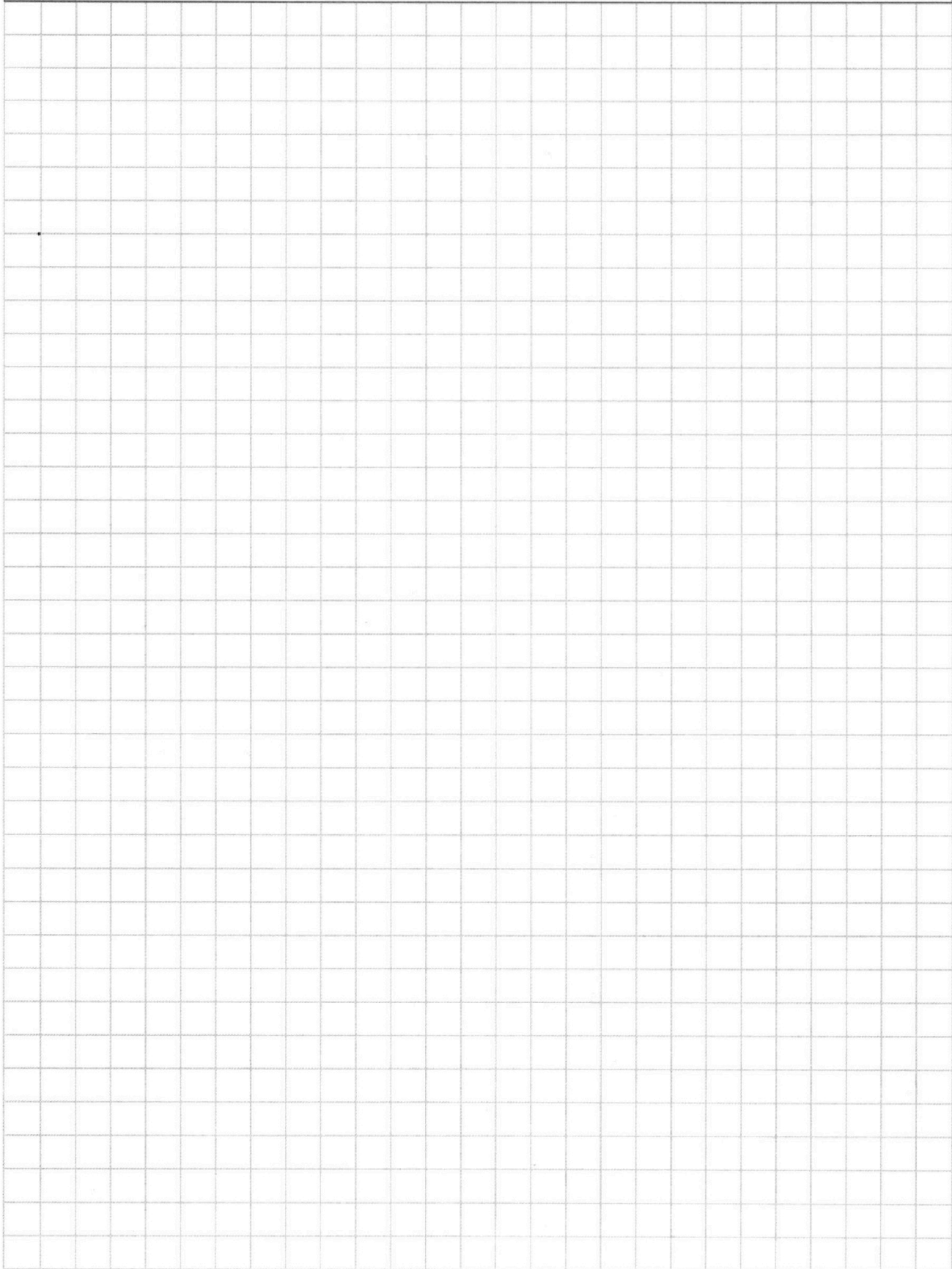
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 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!





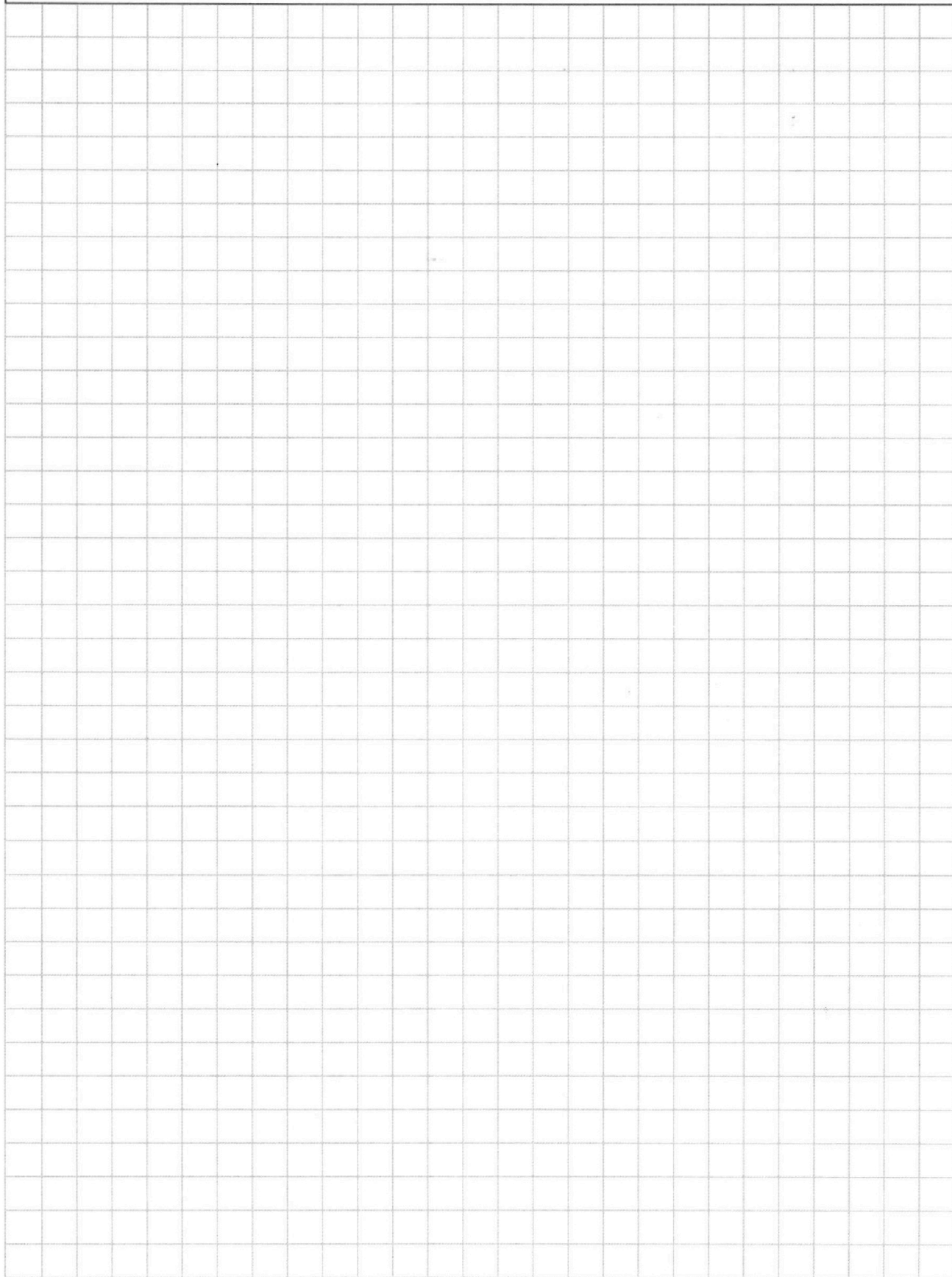
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 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!



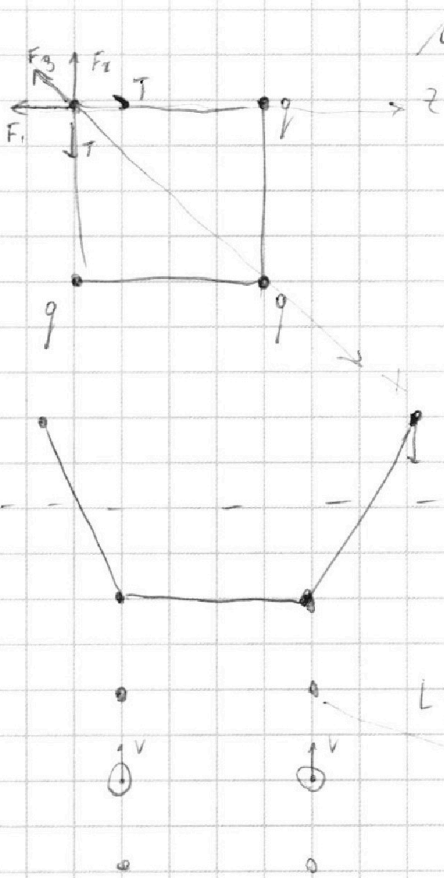
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

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



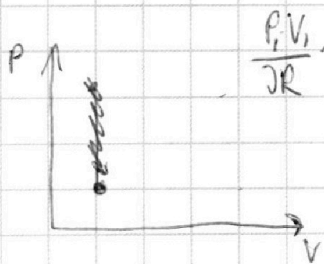
$$T = k \frac{q^2}{b^2} + k \frac{q^2}{2b^2} \cos 45^\circ = k \frac{q^2}{b^2} \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \right)$$

$$= k \frac{q^2}{b^2} \cdot \frac{(4 + \sqrt{2})}{4}$$

$$\begin{aligned} v_0 \cos \alpha \cdot t &= S \\ v_0 \sin \alpha &= 2g \cdot t \\ \Rightarrow S &= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g} \end{aligned}$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + b^2} = b \sqrt{\frac{1}{4} + 1} = \frac{b}{2} \sqrt{5}$$

$$2v_2 = 2v_1 = v_3$$



$$\frac{3}{2}R C_v \quad \frac{5}{2}R$$

$$C_v + R = C_p$$

$$\begin{array}{r} 18,2 \\ 18,0 \\ \hline 0,200 \end{array} \quad \begin{array}{r} 145 \\ 140 \\ \hline 0,404 \end{array}$$

$$P \cdot V^\gamma = \text{const} \quad \gamma = 1,4$$

$$P \cdot V = \nu R T$$

$$P = \frac{\mu}{M^2} \cdot \mu^3 = \mu_0 \mu \cdot R \cdot \text{°C}$$

$$\frac{\partial \mu}{\mu \text{°C}}$$

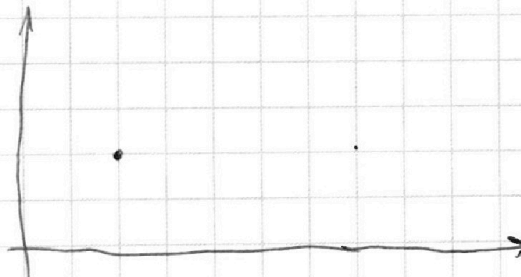
$$P(V^\gamma)' + V^\gamma P' = 0$$

$$P \cdot \gamma V^{\gamma-1} dV + V^\gamma dP = 0$$

$$P \cdot dV = -\gamma V dP$$

$$\frac{dV}{dP} = -\frac{V}{\gamma} \quad \frac{dP}{dV} = -\frac{\gamma P}{V}$$

$$\frac{1,41}{2} = 0,705$$







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!

