



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.

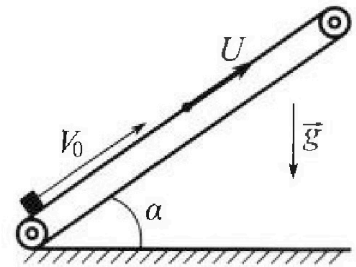
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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.

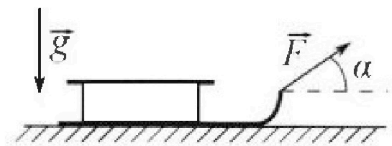
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

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.





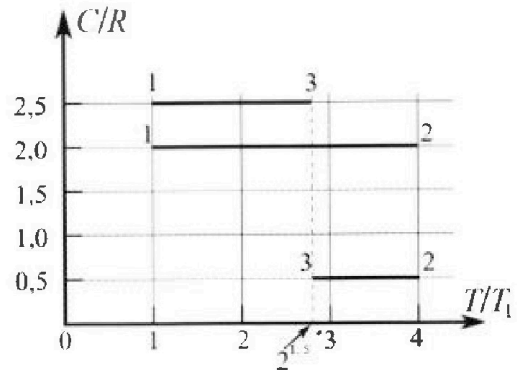
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



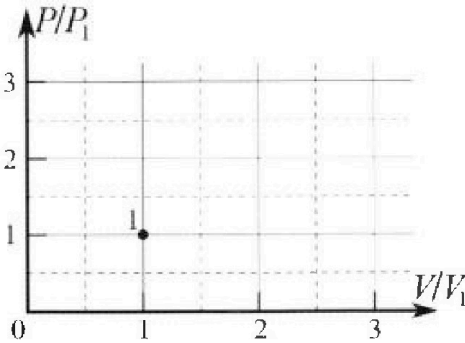
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2,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



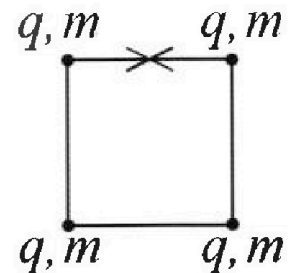
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

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 вверху (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

МФТИ

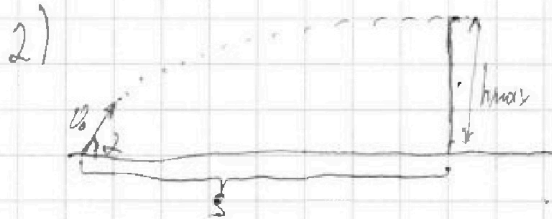
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$T = 2c$   
 $S = 20 \text{ м}$   
 $v_0 = ?$   
 $h_{\text{max}} = ?$



$T = \frac{2v_0}{g} \Rightarrow v_0 = gT = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$



$\alpha$  - угол между  $\vec{v}_0$  и горизонтом

Максимальной высотой будет достигнута тогда, когда  
справа находится в плоскости точки с максимальной высотой (вершину параболы)  
Если  $L$  - дальность полета, тогда  $\frac{L}{2} = S$ .

$$L = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}; \quad 2S = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g} \Rightarrow \sin(2\alpha) = \frac{2 \cdot 20 \text{ м} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1$$
$$\Rightarrow \sin 2\alpha = 1; \quad h_{\text{max}} = \frac{g}{2} \cdot t^2; \quad \tan 45^\circ = 1 \Rightarrow h_{\text{max}} = S = 20 \text{ м}$$

Ответ: 1)  $v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
2)  $h_{\text{max}} = \cancel{20 \text{ м}}$   
 $= 20 \text{ м}$

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!

$s = 1 \text{ м}$

$\sin \alpha = 0,8$   
 $\cos \alpha = 0,6$

$v_0 = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

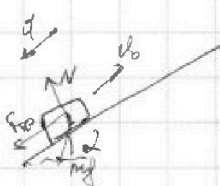
$\mu = \frac{1}{3}$

$\mu = \frac{1}{3}$

$T = ?$   $L = ?$   $H = ?$

№2

1) Лента покоится.



2 ЗН:  $\mu mg \cos \alpha = F_{\text{тр}}$ ;  $a = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha = g$

(1)  $S = v_0 T - \frac{g T^2}{2}$ ;  $\tau = \Delta = v_0^2 - 2gS < 0 \Rightarrow$  при торможении

Коробка не пройдёт  $S = 1 \text{ м}$ .  $t_{\text{торм}} = \frac{v_0}{g} = 0,4 \text{ с} = \frac{2}{5} \text{ с}$

После этого время в (1), получим:  $S_1 = v_0 t_{\text{торм}} - \frac{g t_{\text{торм}}^2}{2} = 0,8 \text{ м}$ .

Далее движение коробочки прекратится ввиду срыва и путь не продолжится.



$\mu mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a_2 = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 0,6g$

Путь — время — квадрат скорости  $\Rightarrow$  искомое время  $T$  находимся следующим образом:

$T = t_{\text{торм}} + t_{\text{срыв}}$ , где за  $t_{\text{торм}}$  пройдено  $0,8 \text{ м}$  ( $S_1$ ) и за  $t_{\text{срыв}}$   $0,2 \text{ м}$  ( $S_2$ ), и

$S = S_1 + S_2$ . Тогда:

$S_2 = \frac{0,6g \cdot t_{\text{срыв}}^2}{2}$ ;  $t_{\text{срыв}} = \sqrt{\frac{2S}{0,6g}} = \sqrt{\frac{2}{30}} \text{ с}$ ;  $T = (0,4 + \sqrt{\frac{2}{30}}) \text{ с}$

2)

Рассмотрим происходящее в СО движущейся с лентой.

Скорость коробки будет равна  $U$ , когда её скорость совпадёт относительно ленты.

$a_1 = g$ ;  $t_1 = \frac{v_0 - U}{g} = 0,2 \text{ с}$ ;  $L_1 = v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = (4 \cdot 0,2 - 5 \cdot 0,2 \cdot 0,2) \text{ м} = 0,6 \text{ м}$

3) Коробка будет покоиться в СО Земли, в момент когда будет иметь скорость  $U$  вниз (против направления ленты в СО Земли) относительно ленты.

$a_2 = 0,6g$ ;  $t_2 = \frac{U}{0,6g} = \frac{1}{3} \text{ с}$ ;  $L_2 = \frac{0,6g \cdot t_2^2}{2} = \frac{1}{3} \text{ м}$

$H = (L_1 + L_2) \cdot \sin \alpha = (0,6 \text{ м} + \frac{1}{3} \text{ м}) \cdot 0,8 = \frac{22,4}{30} \text{ м}$

Ответ: 1)  $T = (0,4 + \sqrt{\frac{2}{30}}) \text{ с}$

2)  $L = 0,6 \text{ м}$

3)  $H = \frac{22,4}{30} \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

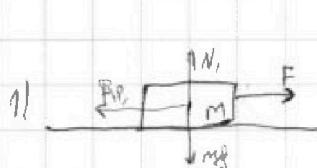
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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



$v_0, \alpha$   
 $\mu = ?$   
 $\tau = ?$

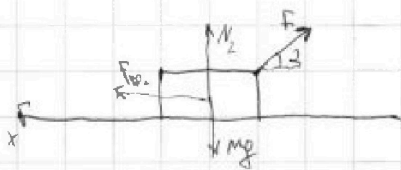


$m$  - масса блока  
 $F$  - внешняя сила  
 $\tau$  - время разгона

$$F_{тр} = \mu mg; \quad F - \mu mg = ma;$$

$$m v_0 = (F - \mu mg) \cdot \tau \quad - 3 \text{ UU}$$

2)



$$2 \text{ UU: } N_2 = mg - F \sin \alpha; \quad F_{тр2} = \mu (mg - F \sin \alpha);$$

$$3 \text{ UU: } m v_0 = (F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha)) \cdot \tau$$

$$F \cos \alpha - \mu mg + F \sin \alpha = F - \mu mg \Rightarrow F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F \quad | \cdot \frac{1}{F}$$

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

После прекращения действия силы  $F$  движение будет равно-  
 ускоренным:

$$x: \quad F_x = \mu mg = ma; \quad a = \mu g = g \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

$$a x \cdot \tau = v_0; \quad \tau = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0}{g \left( \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right)} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$$

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

2)  $\tau = \frac{v_0 \sin \alpha}{g (1 - \cos \alpha)}$

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!



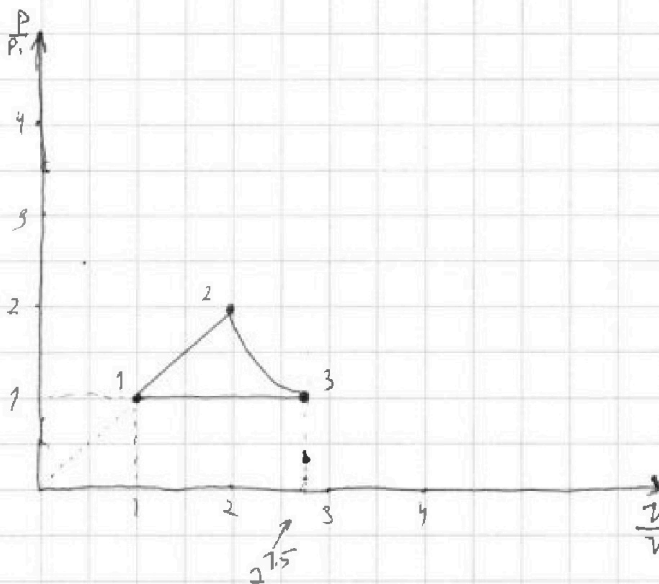
54

Заметим, что во всех трех процессах  $C = \text{const} \Rightarrow$  процессы изотермичны.

1-2:  $C_0 = 2R$ ;  $pV = \text{const}$   $\mu_1 = \frac{2R - 5R}{2R - 3R} = \frac{-3}{-1} = 3$

2-3:  $C_{23} = 0,5R$ ;  $\mu_{23} = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = 2$ ;  $pV^2 = \text{const}$   $T_2 = 4T_1$ ;  $T_3 = T_1\sqrt{8}$   
 $p_2 V_2^2 = p_3 V_3^2$

3-4:  $\mu_{31} = 0 \Rightarrow p = \text{const}$  - изобарный процесс.



$p_2 V_2 = 4R - 4T_1$ ,  $p_2 V_3 = 0R \cdot V_3$

$2 \cdot 4 \sqrt{RT_1} \cdot V_2 = 2 \sqrt{2} \sqrt{RT_1} \cdot V_3$

$V_3 = \frac{2}{\sqrt{2}} V_2 = \sqrt{2} \cdot V_2$

~~$V_2 = 2V_1 \Rightarrow V_3 = 2\sqrt{2}V_1$   
 $p_1 V_1 = p_3 \cdot 2\sqrt{2} \cdot V_1$   
 $p_3 = \frac{p_1}{2\sqrt{2}} = \frac{p_1 \sqrt{2}}{4} = p_1$~~

$p_1 V_1 = 0R V_1$

$p_2 V_3 = 0R \cdot 2\sqrt{2} V_1$

$p_1 = p_3$ , т.е.  $C_{23} = 2,5R$

$A_{12} = \int p dV$   $A_{12} = \frac{(p_1 + 2p_1)}{2} \cdot V_1 = \frac{3p_1 V_1}{2} = \dots$

$= \frac{3 \cdot 0R \cdot T_1}{2} = \frac{3 \cdot 0,31 \cdot 600}{2} \text{ Дж} = 600 \cdot 0,31 \text{ Дж}$ ;  $Q_{12} = 2R \cdot 3T_1 = 6RT_1 = Q_{12}$

$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ,  $\eta = 1 - \frac{5(\sqrt{8}-1) + 4 - \sqrt{8}}{12} = \dots$   $Q_{23} = 1,5R \cdot T_1 (\sqrt{8} - 4) = -Q_{21}$

$= 1 - \frac{4\sqrt{8} - 1}{12}$

$Q_{31} = 2,5R \cdot T_1 (1 - \sqrt{8}) = -Q_{32}$ ;  $Q_{12} = Q_{21} + Q_{31}$

Ответ: 1)  $A_{12} = \frac{3 \cdot 0R \cdot T_1}{2} \approx 600 \cdot 0,31 \text{ Дж}$

2)  $\eta = 1 - \frac{4\sqrt{8} - 1}{12}$ ; 3) А Грехин в решении

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

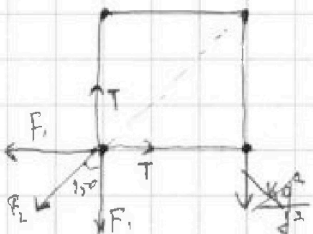
1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

$m, q, b$   
 $T = ?$   
 $v = ?$   
 $d = ?$

Картинка сил.



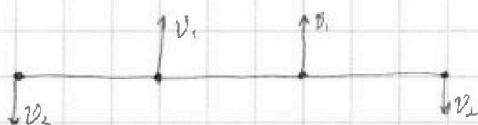
WS.

$$1) F_1 = \frac{kq^2}{b^2} \cdot f_2 = \frac{kq^2}{(\sqrt{2}b)^2} = \frac{kq^2}{2b^2}$$

$$T = F_1 + F_2 \cdot \cos 45^\circ = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2b^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} =$$

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

$$2) W_0 = W_{\text{нар}} = \frac{4kq^2}{b} + \frac{2kq^2}{b\sqrt{2}}; E_{\text{к0}} = E_{\text{к(кон)}} = 0$$



$$W = \frac{3kq^2}{b} + \frac{2kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b} =$$

$$= \frac{4kq^2}{b} + \frac{kq^2}{3b}$$

Система шариков замкнута  $\Rightarrow$  для системы верев 3Ц4, 4 ~~3Ц4~~

$2mv_1 = 2mv_2; v_1 = v_2 = v \Rightarrow$  скорости шариков по модулю равны.

Ангелт = 0  $\Rightarrow$  для сист верев 3Ц4:  $E_1 = E_2; W_0 + E_{\text{к0}} = W + E_{\text{к}}$

$$\frac{4kq^2}{b} + \frac{2kq^2}{b\sqrt{2}} + 0 = \frac{4kq^2}{b} + \frac{kq^2}{3b} + \left(\frac{1}{2}mv^2\right) \cdot 4 \Rightarrow 2mv^2 = \frac{kq^2}{b} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3}\right)$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{kq^2}{2bm} \left(\frac{2}{\sqrt{2}} - \frac{1}{3}\right)}$$

Бого

стало



$$d = \sqrt{b^2 + \frac{b^2}{4}} = \frac{b\sqrt{5}}{2}$$

Ответ: 1)  $T = \frac{kq^2(4 + \sqrt{2})}{4b^2}$

2)  $v = \sqrt{\frac{kq^2(\sqrt{2} - \frac{1}{3})}{2bm}}$

3)  $d = \frac{b\sqrt{5}}{2}$





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!

$$\frac{v_0}{f} = t; \quad \text{лат} - \frac{f \cdot t^2}{2} = \frac{v_0^2}{f} - \frac{v_0^2}{2f} = \frac{v_0^2}{2f} \quad 1,8 \cdot 5 =$$
$$\frac{-2}{-1} \quad \frac{20 \cdot 0,8}{2 \cdot 1,8 \cdot 5}$$
$$\frac{40}{14,4}$$
$$\frac{40}{14,4} = 2,777$$
$$\frac{6}{10} \cdot \frac{8}{10} = \frac{48}{100} = \frac{24}{50}$$
$$11,7 + 6 = \frac{22,9}{20} \text{ м}$$
$$\frac{6}{30} + 0,48$$
$$\frac{24,4}{30}$$
$$11,7 + 6 = 22,9$$

$$Q_x = 2,5 \text{ РТ} \cdot \frac{\text{РТ}}{2} \left( 5(\sqrt{8}-1) + (4-\sqrt{8}) \right)$$

$$5\sqrt{8} - \sqrt{8} + 4 - 5 = \frac{4\sqrt{8} - 1}{12}$$

$$S = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\alpha)}{2g} \Rightarrow 20 = \frac{20 \cdot 20 \cdot \sin(2\alpha)}{20} \Rightarrow \sin(2\alpha) = 1$$

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!

$V_0 \sin \alpha = g t$   
 $V_0 \cos \alpha \cdot t = S$

$\frac{t \cdot t}{t} = \frac{g t^2}{S}$   
 $g t^2 = \frac{g t^2}{S}$

$\sqrt{\frac{0,4 \text{ м}}{6 \text{ м}}}$

$V_0 \cos \alpha = \frac{S}{t}$

$\frac{V_0 \sin \alpha}{g} = t$   
 $\frac{S}{V_0 \cos \alpha} = t$

$\frac{S}{S} = 1/6$   
 $5 \cdot \frac{4}{55} \cdot \frac{4}{5} = 0,8$   
0,8 м

$V_0 \cos \alpha \cdot t = S$   
 $V_0 \sin \alpha \cdot t = \frac{g t^2}{2} = h_{\text{max}}$   
 $V_0 \sin \alpha = \frac{g t}{2}$

$\sqrt{2} T = F_1 + F_2$

$h_{\text{max}} = \frac{V_0 \sin \alpha \cdot V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$   
 $h_{\text{max}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{g}$

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

$\frac{10 \cdot \sqrt{3}}{10} \text{ м}$   $\sqrt{3} \text{ м}$   
 $\frac{20 \cdot \sqrt{3}}{2} \approx 17$

$\frac{mg^2 \cdot \sqrt{3}}{2g \cdot \sqrt{3} \cdot 2}$

$h_{\text{max}} = 0,8 \text{ м}$   
 $S = 0,9$

$V_0 \cos \alpha = V = \frac{S}{t}$   
 $V_0 \sin \alpha = g t = \frac{h}{t}$

$V_0 \cos \alpha \cdot t = S$   
 $\frac{V_0 \sin \alpha}{g} = t$   
 $V = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g}$

$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{h}{S} ; h \cos \alpha = S \sin \alpha ; h = S \cdot \frac{g t}{g}$

$\frac{mg}{g} \left( \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} - \frac{1}{\sin \alpha} \right)$

$F_{\text{cos} \alpha} = \frac{mg - mg \cos \alpha}{\sin \alpha} = F \sin \alpha + F \cos \alpha \sin \alpha$   
 $g = \sqrt{16 - 20}$

$-\frac{mg}{\sin \alpha} + mg \cot \alpha + F$

$\frac{g}{g} \cdot t^2 - V_0 \cdot t \cos \alpha = 0 ; t = \frac{V_0 \pm \sqrt{V_0^2 - 2gS}}{g}$   
 $\frac{4 \pm 2}{10} = \frac{1}{5}, \frac{3}{5}$

$mg \sin \alpha + mg \cos \alpha = mg ; \alpha = g \cdot 0,6 + \frac{1}{3} \cdot \frac{6^2}{10} = g$

$x(t) = V_0 t - \frac{g t^2}{2} ; S = V_0 t - \frac{g t^2}{2} ; g t^2 - 2V_0 t + 2S = 0 ;$   
 $D = \frac{4V_0^2 - 8gS}{64} = \frac{8gS}{80}$



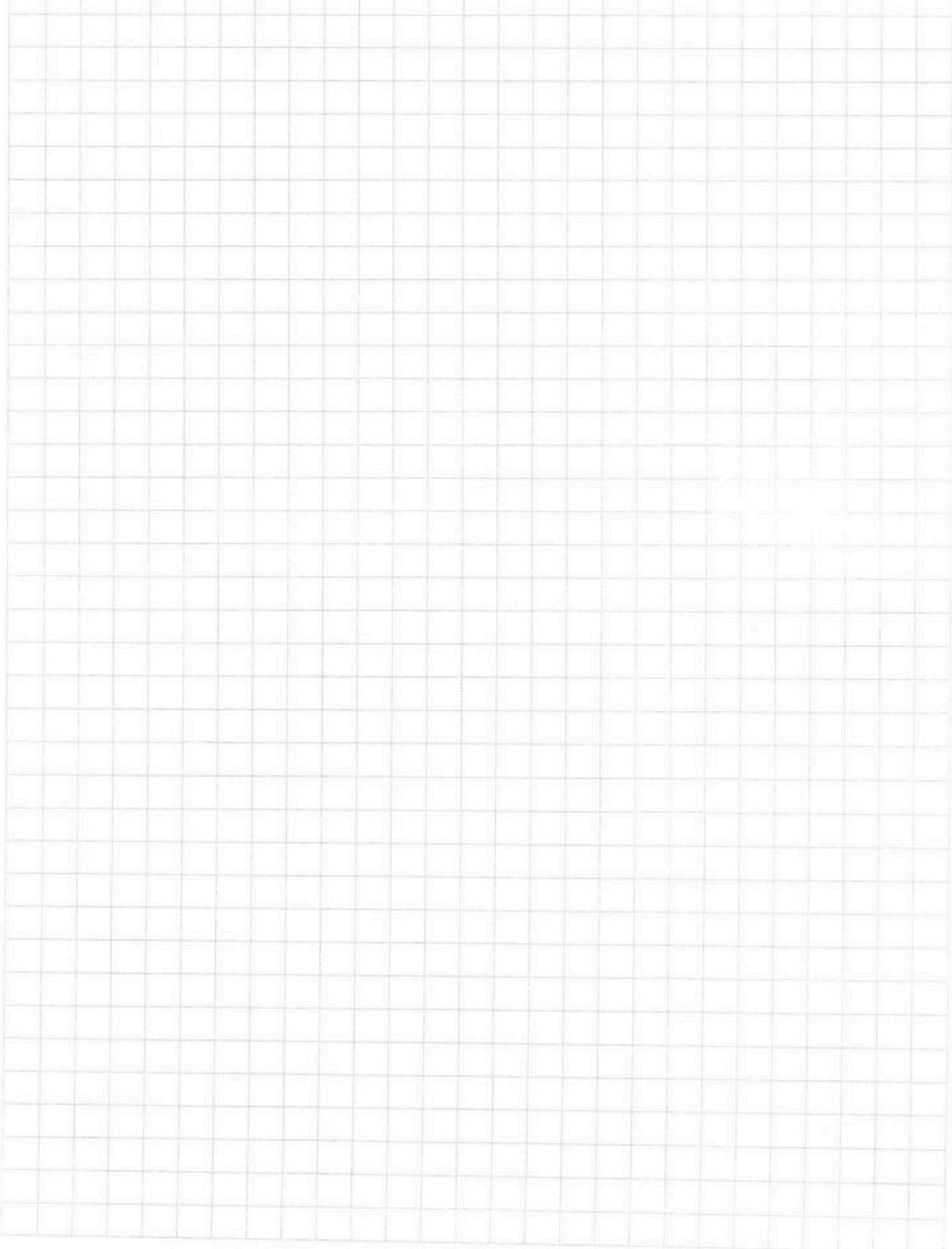
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

