

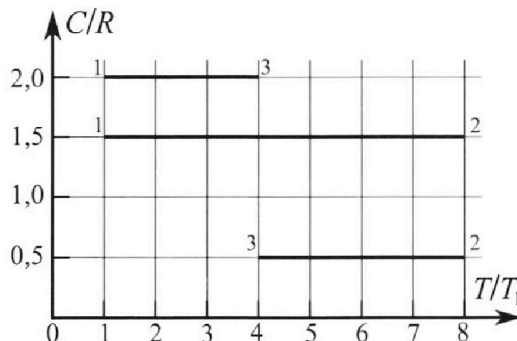
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

Вариант 10-02

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



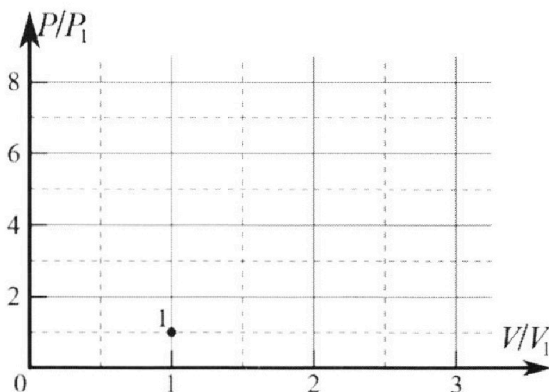
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости C газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1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

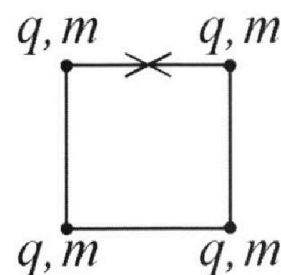
1) Найдите абсолютную величину $|q|$ заряда каждого шарика.

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.





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.

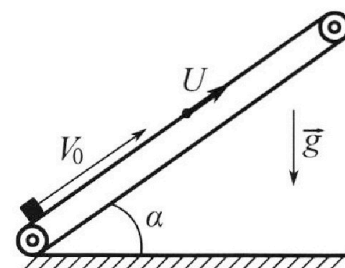
2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

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.).

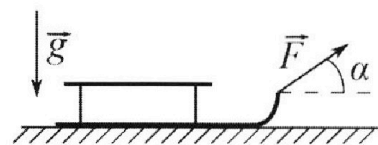
2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки во втором опыте будет равна $U = 1$ м/с?

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.

- 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!



№1

Дано:

$\alpha = 45^\circ$ $g = 10 \text{ м/с}^2$

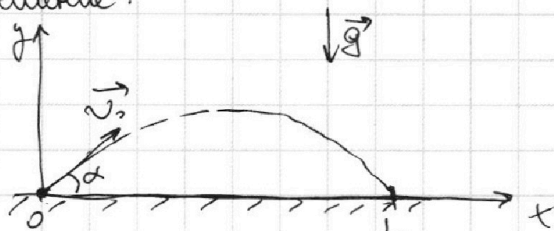
$L = 20 \text{ м}$

$H = 3,6 \text{ м}$

1) v_0 - ?

2) S - ?

Решение:



1) Найдем нач. скор. мяча v_0

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \quad \begin{cases} x: x(t) = v_0 \cos \alpha t + \frac{g_x t^2}{2} = v_0 \cos \alpha t \\ y: y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{g t^2}{2} \end{cases}$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

t_n - время полета мяча $\Rightarrow x(t_n) = L \Rightarrow v_0 \cos \alpha t_n = L \Rightarrow t_n = \frac{L}{v_0 \cos \alpha}$

$y(t_n) = 0$

$$v_0 \sin \alpha t_n - \frac{g t_n^2}{2} = 0 \Rightarrow v_0 \sin \alpha \cdot \frac{L}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{L^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = 0$$

$$\text{Тогда получим: } \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 \Rightarrow \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

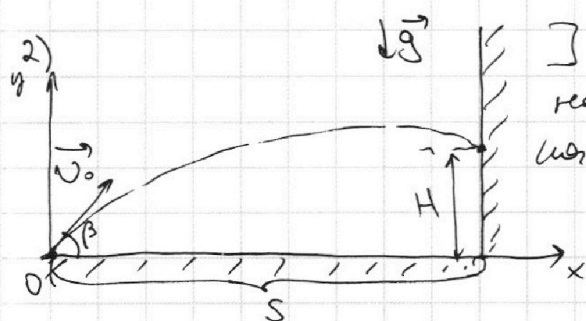
$$\text{tg} \alpha \cdot L - \frac{g L^2}{2 v_0^2} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} = 0 \quad | \cdot 2 v_0^2$$

$$\text{tg} \alpha \cdot L - \frac{g L^2}{2 v_0^2} \cdot (\text{tg}^2 \alpha + 1) = 0 \quad | \cdot 2 v_0^2$$

$$2 \text{tg} \alpha \cdot L \cdot v_0^2 - g L^2 (\text{tg}^2 \alpha + 1) = 0 \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{g L^2 (\text{tg}^2 \alpha + 1)}{2 \text{tg} \alpha}}$$

$$= \sqrt{\frac{g L (\text{tg}^2 \alpha + 1)}{2 \text{tg} \alpha}} = \sqrt{\frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м} \cdot (1+1)}{2 \cdot 1}} = \sqrt{10 \cdot 10 \cdot 2} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

Ответ: $v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$



2) β - угол, под которым футболист направил мяч и он ударился о стенку на канонической высоте $H = 3,6 \text{ м}$.

$$\begin{cases} y(t) = v_0 \sin \beta t - \frac{g t^2}{2} \\ x(t) = v_0 \cos \beta t \end{cases}$$

t_n - время го удара

$$\begin{cases} y(t_n) = H \\ x(t_n) = S \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} v_0 \sin \beta t_n - \frac{g t_n^2}{2} = H \\ v_0 \cos \beta t_n = S \end{cases} \Rightarrow t_n = \frac{S}{v_0 \cos \beta}$$

$$v_0 \sin \beta \cdot \frac{S}{v_0 \cos \beta} - \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \beta} = H$$

$$\text{tg} \beta \cdot S - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \cdot (\text{tg}^2 \beta + 1) = H$$

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!

$$H(\beta) = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \operatorname{tg}^2 \beta + S \operatorname{tg} \beta - \frac{gS^2}{2v_0^2}$$

Значит зависимость $H(\beta)$ — квадратичная функ с ветвями вниз. График — парабола. \Rightarrow максимальное значение достиг в вершине $\operatorname{tg} \beta = -\frac{b}{2a}$

$$b = S \quad a = -\frac{gS^2}{2v_0^2}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{+S}{\frac{-gS^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2 \cdot S}{gS^2} = \frac{v_0^2}{gS} \quad (\text{тангенс угла, при котором достигается максимальная высота } H)$$

$$H = -\frac{gS^2}{2v_0^2} \cdot \frac{v_0^4}{g^2 S^2} + S \cdot \frac{v_0^2}{gS} - \frac{gS^2}{2v_0^2} =$$

$$= -\frac{v_0^2}{2g} + \frac{v_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2v_0^2} = H \mid \cdot v_0^2 g$$

$$S = \frac{v_0^4 - H v_0^2 g}{g^2} = \frac{v_0^2 (v_0^2 - Hg)}{g^2} \quad v_0^4 - g^2 S^2 = H \cdot v_0^2 g$$

$$\sqrt{(10\sqrt{2})^4 - 3,6 (10\sqrt{2})^2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} =$$

$$= \frac{10\sqrt{2} \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} \cdot \sqrt{(10\sqrt{2} \text{ м/с})^2 - 3,6 \cdot 10 \text{ м/с}^2}$$

$$= \sqrt{2} \sqrt{2} \cdot \sqrt{82} = 2\sqrt{82} \text{ м}$$

$$= \sqrt{2} \cdot \sqrt{200 - 36} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{164} =$$

$$0,56 : S = 2\sqrt{82} \text{ м}$$

$$v_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

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!

Дано (N2)

- $\sin \alpha = 0,6$
- $v_0 = 6 \text{ м/с}$
- $\mu = 0,5$
- $T = 1 \text{ с}$
- $u = 1 \text{ м/с}$
- $g = 10 \text{ м/с}^2$

- $S = ?$
- $T_1 = ?$
- $L = ?$

Решение:

1) Первый ответ



$T = lc$ m - масса кородки

$F_{\Sigma} = ma$
 $\vec{F}_T + \vec{F}_{fr} + \vec{N} = m\vec{a}$

$y: -F_r \cdot \cos \alpha + 0 + N = 0$
 $N = mg \cos \alpha$

$x: -mg \cdot \sin \alpha - \mu N = -ma$

~~$mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma \Rightarrow$~~

$mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma \Rightarrow a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

~~$v(t) = v_0 + at$~~ $v_x(t) = v_0 - at$

$x(t) = v_0 t - \frac{at^2}{2}$

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

$S = 6 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} - \frac{10 \text{ м/с}^2}{2} \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 0,8) (1 \text{ с})^2 =$

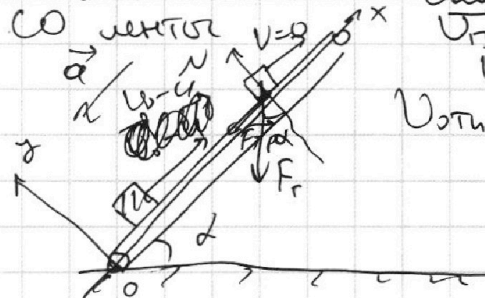
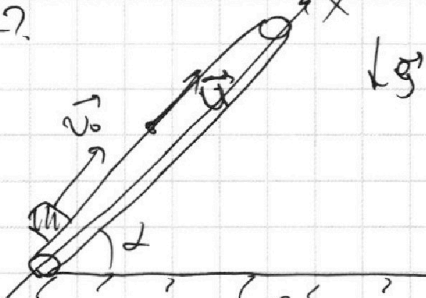
$= 6 - 5 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}$

Отв: $S = 1 \text{ м}$

2) Второй ответ.

Лента движется со скоростью $u = 1 \text{ м/с}$, скорость кородки на ленте $v_0 = 6 \text{ м/с}$

$T_1 = ?$



$v_{0 \text{ rel}} = v_0 - u$
 $v_{0 \text{ rel}} = v_0 - u$
 $v_{0 \text{ rel}x} = v_0 - u$

Через какое время T_1 скорость $v_0 = u \Rightarrow v_{0 \text{ rel}} = 0 \text{ м/с}$

$F_{\Sigma} = ma$ $\vec{F}_T + \vec{N} + \vec{F}_{fr} = m\vec{a}$ $x: -mg \sin \alpha - \mu N = -ma$

$y: 0 + N - mg \cos \alpha = 0$

$mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha = ma \Rightarrow a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$

$v(t) = v_0 + at$ $x: v_x(t) = v_0 - u - at$

$v_x(T_1) = 0: v_0 - u - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cdot T_1 = 0$

$T_1 = \frac{v_0 - u}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = \frac{6 \text{ м/с} - 1 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} = \frac{5 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = 0,5 \text{ с}$

Ответ: $T_1 = 0,5 \text{ с}$

$S = 1 \text{ м}$



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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

~~$\rightarrow U_{2c} = 0 (L - ?)$~~

~~Form 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

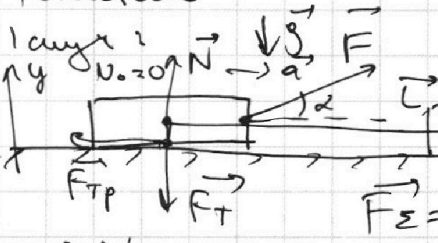


Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

№3

Дано:
 $v_0 = 0 \text{ м/с}$
 $W_k = K$
 F, α, g
 $\mu = ?$
 $S = ?$

Решение:



-] L - расстояние которое проходит санки по наклонной
-] M - масса санок
-] v_1 - ~~конечная~~ скорость после разгона в t секунд.

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{тр} + \vec{N} + \vec{F} = M\vec{a}$$

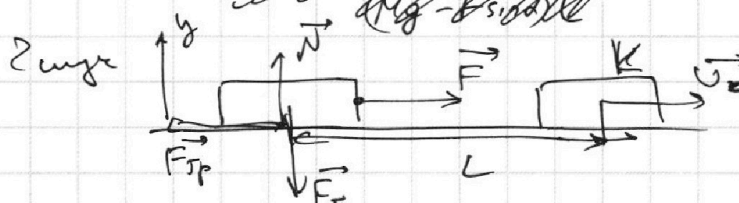
$$y: -Mg + N + F \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow N = Mg - F \sin \alpha \Rightarrow$$

$$F_{тр} = \mu N = \mu (Mg - F \sin \alpha)$$

Закон сохранения энергии $\Delta W = A_{ст. сил}$. (потенциальная энергия санок не сум, т.к они движ по поперечной оси пути) \Rightarrow работу энергии не учитываем. $A_{ст. сил}$ - работа сил F и $F_{тр}$.

$$\frac{Mv_1^2}{2} - \frac{M \cdot 0^2}{2} = \vec{F} \cdot \vec{L} + \vec{F}_{тр} \cdot \vec{L} = F \cdot L \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) \cdot L$$

$$\frac{Mv_1^2}{2} = K \text{ по условию} \Rightarrow K = FL \cos \alpha - \mu (Mg - F \sin \alpha) L \quad (1)$$



$$\vec{F}_T = M\vec{a}$$

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{тр} + \vec{N} = M\vec{a}$$

$$y: -Mg + N = 0 \Rightarrow N = Mg$$

$$F_{тр} = \mu N = \mu Mg$$

$\Delta W = A_{ст. сил}$:

$$K - 0 = FL - \mu Mg \cdot L \Rightarrow (F - \mu Mg) L = K \quad (2)$$

$$K = L (F \cos \alpha - \mu Mg + \mu F \sin \alpha) \quad (1)$$

$$K = L (F - \mu Mg) \quad (2)$$

$$(1) = (2): F \cos \alpha - \mu Mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu Mg$$

$$\mu = \frac{F - F \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \left[\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \right]$$

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

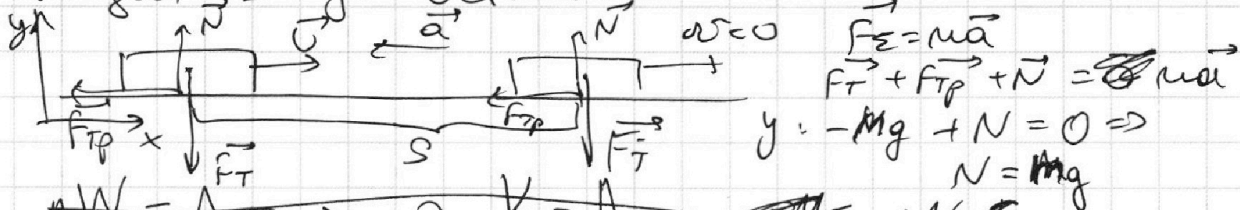
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

с) S - ?

В обоих случаях ~~слож~~ катушки обретают кин энергию K. Масса катушки (m) в 1 и 2 случае одинакова => скорость после разрыва тоже одинакова:

$$K = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$$

Найдем S до остановки



~~$\Delta W = A_{CT} \Rightarrow 0 - K = A_{F_{Tp}} = -\mu N \cdot S$~~

~~$0 - \mu N = -Ma \quad K = \mu N S = \mu M g S$~~

~~$+\mu M g = +Ma \Rightarrow a = \mu g$~~

~~$0 = L \cos \alpha + \mu M g L + \mu L \sin \alpha \quad L \cos \alpha + \mu M g L + \mu L \sin \alpha = L = 0$~~

~~$\Delta W = A_{CT} = A_{F_{Tp}}$~~

~~$0 - K = -F_{Tp} \cdot S = -\mu N \cdot S \Rightarrow K = \mu N S = \mu m g S \Rightarrow$~~

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

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

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!



Дано:

Цикл 1-2-3-1

$\nu = 1 \text{ моль}$

$Z = 3$ (одноатомный газ)

$\frac{C}{R} \left(\frac{T}{T_1} \right)$

$T_1 = 200 \text{ K}$

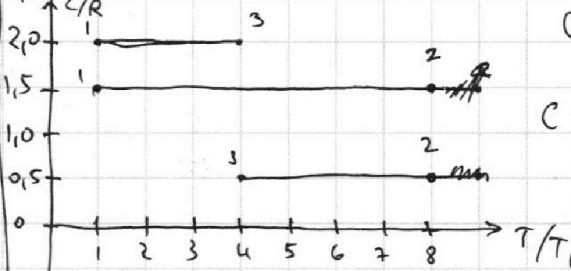
$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$

$A_{31} = ?$

$\eta = ?$

$\left(\frac{p}{p_1} \left(\frac{V}{V_1} \right) \right) = ?$

Решение:



$$Q = \Delta U + A_{\text{раб}} \left(\frac{Q_{\text{вх}}}{T_1} \right)$$

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + p \Delta V$$

Изохорный процесс

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + 0$$

Изобарный процесс

$$C \cdot \nu \cdot \Delta T = \frac{i}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T$$

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$\frac{C_V}{R} = \frac{i}{2} = \frac{3}{2}$$

$$C_P = \left(\frac{i}{2} + 1 \right) R$$

$$\frac{C_P}{R} = \frac{3}{2} + 1 = \frac{5}{2}$$

$pV^n = \text{const}$ (по уравнению состояния и уравнению Менделеева-Клапейрона)

$$pV = \nu RT, \quad \nu = 1 \Rightarrow pV = RT$$

$$\eta = \frac{C - C_P}{C - C_V}$$

~~Процесс 1 → 2: $pV = \text{const} \Rightarrow p = \text{const} \Rightarrow p = V \cdot \text{const}$~~

~~Процесс 2 → 3: $C = 0,5R \Rightarrow n = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2 \Rightarrow pV^2 = \text{const} \Rightarrow p = \frac{\text{const}}{V^2}$~~

~~Процесс 3 → 1: $C = 2R: n = 2R$~~

Процесс 1 → 2: $C = 1,5R$: ~~$C = 2,5R$~~ ~~$C = 1,5R$~~
 изохорный процесс: $V = \text{const}$ $p = \text{const}$

Процесс 2 → 3: $C = 0,5R$: $n = \frac{0,5R - 2,5R}{0,5R - 1,5R} = \frac{-2R}{-R} = 2$
 $pV^2 = \text{const}$ ~~$p = \frac{\text{const}}{V^2}$~~ ~~$\frac{R^2 T^2}{p p^2} = \text{const} \Rightarrow \frac{T^2}{p} = \text{const} \Rightarrow p = \frac{T^2}{\text{const}}$~~

Процесс 3 → 1: $C = 2R$: $n = \frac{2R - 2,5R}{2R - 1,5R} = \frac{-0,5R}{0,5R} = -1$
 $pV^{-1} = \text{const} \Rightarrow p = V \cdot \text{const}$
 $p = \frac{RT}{V} \cdot \text{const} \Rightarrow p = \sqrt{RT \cdot \text{const}}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

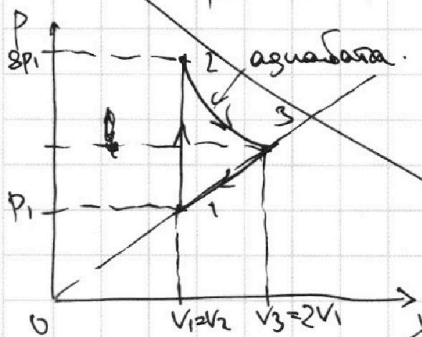
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 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!

$PV = DRT$ (упр. е. М.-К.) $\nu = 1 \Rightarrow PV = RT \Rightarrow T = \frac{PV}{R}$



1 → 2: $P = \text{const}$ (изобара)

$$\frac{P}{T} = \frac{R}{V}$$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{R}{V} = \frac{P_2}{8T_1}$$

$$P_2 = 8P_1$$

2 → 3: $PV^2 = \text{const}$

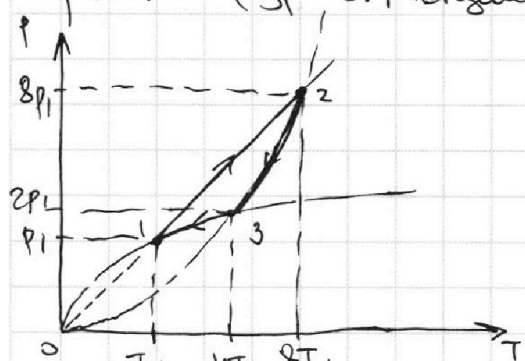
$$8P_1 \cdot V_2^2 = P_3 \cdot V_3^2$$

$$8P_1 \cdot V_1 = R \cdot 8T_1$$

$$P_3 \cdot V_3 = R \cdot 4T_1$$

$$P_3 = \frac{4RT_1}{2V_1} = 2R \cdot \frac{T_1}{V_1} = 2R \cdot \frac{8P_1}{R} = 16P_1$$

$PV = DRT$ (упр. е. Менделеева-Клапейрона) $\nu = 1 \text{ моль} \Rightarrow PV = RT$



$$P_1 = \text{const} \cdot T_1$$

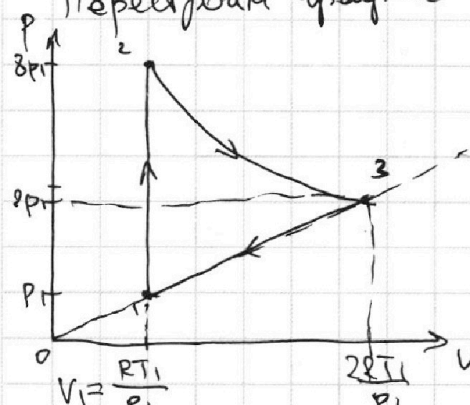
$$P_2 = \text{const} \cdot 8T_1 \Rightarrow P_2 = 8P_1$$

$$P_2 = \frac{T_2^2}{\text{const}} = \frac{64T_1^2}{\text{const}}$$

$$P_3 = \frac{16T_1^2}{\text{const}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_3} = \frac{64T_1^2}{16T_1^2} = 4$$

$$P_3 = \frac{P_2}{4} = 2P_1$$

Перестроим график в координатах P(V)



$$2 \rightarrow 3: P = \frac{T}{\text{const}}$$

$$P = \frac{\text{const} \cdot R^2}{\text{const} \cdot V^2} = PV^2 = \text{const}$$

$$3 \rightarrow 1: P = \sqrt{T} \cdot \text{const}$$

$$P^2 = T \cdot \text{const}$$

$$2P_1 \cdot V_3 = R \cdot 4T_1$$

$$V_3 = \frac{2RT_1}{P_1}$$

$$A_{31} = S_{\text{под кр}} = \int_{V_3}^{V_1} P \, dV = \int_{\frac{2RT_1}{P_1}}^{\frac{RT_1}{P_1}} \sqrt{T \cdot \text{const}} \, dV = -2RT_1^2 + \frac{RT_1}{2} = -\frac{3RT_1}{2} = -3 \cdot 8,31 \cdot 2000 \text{ Дж} = -24930 \text{ Дж}$$

3-1-2: $A_{31} = -A_{31} = 24930 \text{ Дж}$ (Внешние силы)

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!



2) Найти КПД.

Q^+ ← работа газа.

$$\eta = \frac{A}{Q^+} \leftarrow \text{полезная теплота}$$

$$\begin{array}{r} 500 \overline{) 21} \\ 42 \\ \hline 80 \\ 63 \\ \hline 17 \end{array}$$

$A = \oint p \, dV$ в п. графика = $A_{12} + A_{23} + A_{31} =$

Процесс 2 → 3: $pV^2 = \text{const}$ $\Rightarrow p_1 \cdot \left(\frac{RT_1}{p_1}\right)^2 = \text{const} =$
 $= 8p_1 \cdot \frac{R^2 T_1^2}{p_1^2} =$
 $= \frac{8R^2 T_1^2}{p_1}$

$$A_{23} = \int_{\frac{p_1}{2}}^{\frac{p_1}{8}} \frac{\text{const}}{V^2} dV = \left(-\frac{1}{V} \right) \Big|_{\frac{2RT_1}{p_1}}^{\frac{RT_1}{p_1}} =$$

$$= \left(-\frac{1}{\frac{2RT_1}{p_1}} - \left(-\frac{1}{\frac{RT_1}{p_1}} \right) \right) = \left(-\frac{p_1}{2RT_1} + \frac{p_1}{RT_1} \right) \text{const} =$$

$$= \frac{p_1}{2RT_1} \cdot \frac{8R^2 T_1^2}{p_1} = 4RT_1$$

$$A_{31} = -1,5RT_1 \Rightarrow A_{\text{net}} = 0 + 4RT_1 - 1,5RT_1 = 2,5RT_1$$

$$Q^+ : 1 \rightarrow 2 : Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}^0 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} R \cdot 7T_1 = \frac{21}{2} RT_1$$

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + 4RT_1 = \frac{3}{2} R \cdot (-4T_1) + 4RT_1 < 0 \Rightarrow$$

← отброс.

$$Q_{31} < 0 \quad Q^+ = \frac{21}{2} RT_1$$

$$\eta = \frac{2,5RT_1}{\frac{21}{2} RT_1} = \frac{5}{2} \cdot \frac{2}{21} = \frac{5}{21}$$

Ответ: $A_{\text{net}} = 2,5RT_1$
 $\eta = \frac{5}{21}$

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

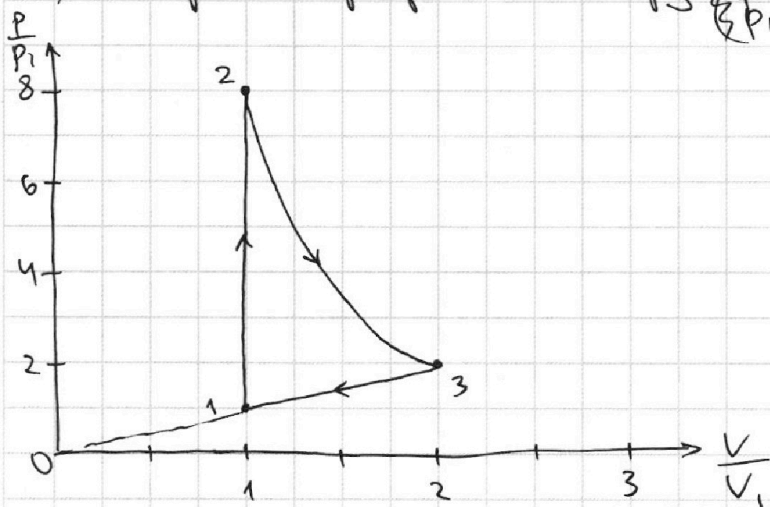
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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!

3) Построим график в координатах $(\frac{P}{P_1}, \frac{V}{V_1})$.



$$\text{Ответ: } A_{31} = \frac{3}{2} RT_1 = 2493 \text{ Дж}$$

$$\eta = \frac{5}{21}$$

пр. см выше

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

Дано:

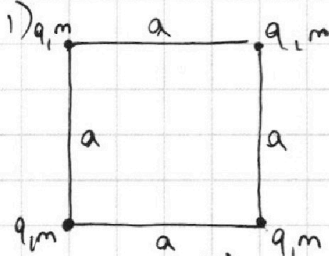
a, T, ϵ_0

$|q| - ?$

$k - ?$

$d - ?$

Решение:



Шарик может быть заряжен отрицательным зарядом или же положительным. В обоих случаях заметим, что если когда шарик зарядит положит. $q > 0$.

Он будет отталкиваться друг от друга. Но нам можно предположить, что шарик там есть.

Каждый шарик создает эл. поле с зарядом $E = \frac{kq}{r^2} \Rightarrow F = Eq$ - сила действ. на заряд b поле другого заряда.

$$F_{12} = F_{21} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{23} = F_{32} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{34} = F_{43} = \frac{kq}{a^2} \cdot q \quad F_{14} = F_{41} = \frac{kq}{a^2} \cdot q$$

$$F_{13} = F_{31} = \frac{kq}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot q \quad F_{24} = F_{42} = \frac{kq}{(\sqrt{2}a)^2} \cdot q$$

Затем первое условие равновесия (равнодейств. сил, действ. на заряд равно 0) для ~~каждого~~ ~~заряда~~ ~~шарика~~ шарика (пусть q_1).

в проекции на ось x :

$$\frac{kq^2}{2a^2} + \frac{kq^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{kq^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 2T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 0 \quad | \cdot 2a^2$$

$$kq^2 + \sqrt{2}kq^2 + \sqrt{2}kq^2 - 2\sqrt{2}Ta^2 = 0$$

$$kq^2(1 + 2\sqrt{2}) = 2\sqrt{2}Ta^2 \Rightarrow q^2 = \frac{2\sqrt{2}Ta^2}{k(1 + 2\sqrt{2})} \quad \text{⊗}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\text{⊗} \quad q^2 = \frac{2\sqrt{2} \cdot Ta^2 \cdot 4\pi\epsilon_0}{(1 + 2\sqrt{2})} = \frac{2\sqrt{2} \cdot Ta^2 \cdot 4\pi\epsilon_0 (2\sqrt{2} - 1)}{7}$$

$$= \frac{8\sqrt{2} Ta^2 \pi \epsilon_0 (2\sqrt{2} - 1)}{7} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{8\sqrt{2} Ta^2 \pi \epsilon_0 (2\sqrt{2} - 1)}{7}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

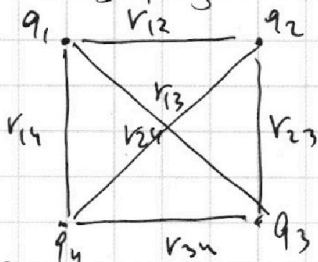
1 2 3 4 5 6 7

МФТИ

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

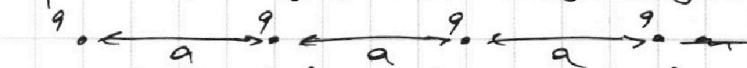


2) Одну нить перегибают. Найдем кинетическую энергию любого шарика K после того как шарик скатился на одну прямую. Рассмотрим систему из четырех зарядов связанных тремя нитями. Введем формулу для энергии взаимодействия этих зарядов эл. полем.



$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_2q_4}{r_{24}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} + \frac{kq_1q_4}{r_{14}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_3q_4}{r_{34}} \quad (\text{общая формула})$$

Запишем потенциальную энергию нити W_{p1} на $\frac{b}{a}$ нити и b нити.



$$W_{p1} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2})$$

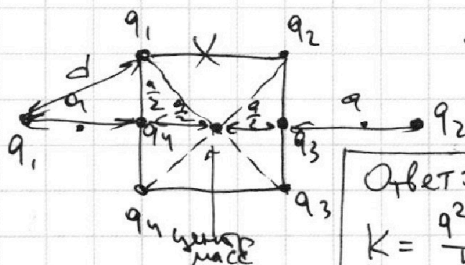
В силу симметрии рисунка можно понять, что скорости двух верхних шариков будут одинаковой и двух нижних. Также в начале перерезания скорости шариков равны 0 \Rightarrow импульс системы равен 0 \Rightarrow по закону сохранения импульса для излученной системы, ~~импульс~~ импульс в конце тоже должен быть равен 0. Значит по модулю скорости каждого шарика равны \Rightarrow у них одинак кин. энергия K :

Закон сохранения энергии: $W_{p1} = W_{p2} + 4K$

$$\frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2}) = \frac{13kq^2}{3a} + 4K \quad (-3a \rightarrow 3kq^2(4 + \sqrt{2}) = 13kq^2 + 12Ka)$$

$$12Ka = (3\sqrt{2} - 1)kq^2 \Rightarrow K = \frac{kq^2(3\sqrt{2} - 1)}{12a} = \frac{q^2(3\sqrt{2} - 1)}{12a \cdot 4\pi\epsilon_0}$$

3) Найдем расстояние d . (от левого верхнего шарика до места его отрыва). Заметим, что на систему из 4-х шаров и 3-х нитей не действуют внешние силы \Rightarrow по тл о движении центра масс он не перемещ. Значит:



$$d = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \sqrt{a^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}a}{2}$$

Ответ: $q = \sqrt{\frac{8\sqrt{2} \Gamma a^2 \pi \epsilon_0 (2\sqrt{2} - 1)}{7}}$
 $K = \frac{q^2(3\sqrt{2} - 1)}{48 a \pi \epsilon_0}$
 $d = \frac{\sqrt{5}a}{2}$

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

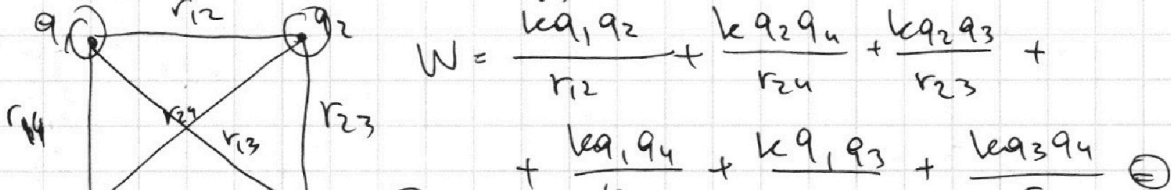
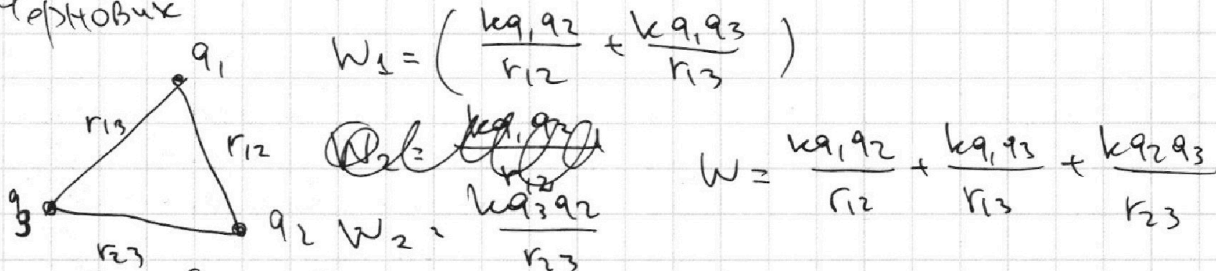
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7

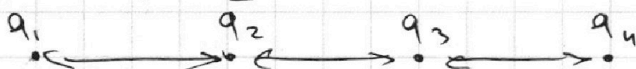
МФТИ

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

Черновик



$\sqrt{\frac{a^2 + a^2}{2}} = \frac{\sqrt{2}a}{2}$

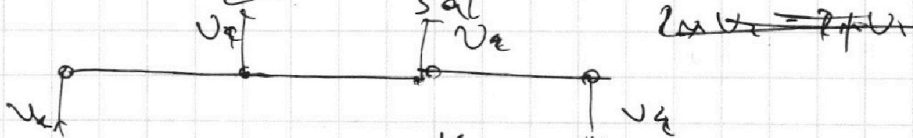


$\Rightarrow \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{2a} + \frac{kq^2}{a} = W_{PK}$

$W_{P1} = \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{3a} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}a} + \frac{kq^2}{a} =$

$= \frac{4kq^2}{a} + \frac{\sqrt{2}kq^2}{a} = \frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2})$

~~$\frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2}) = \frac{13kq^2}{3a} + K \cdot 4 \cdot 3a$~~



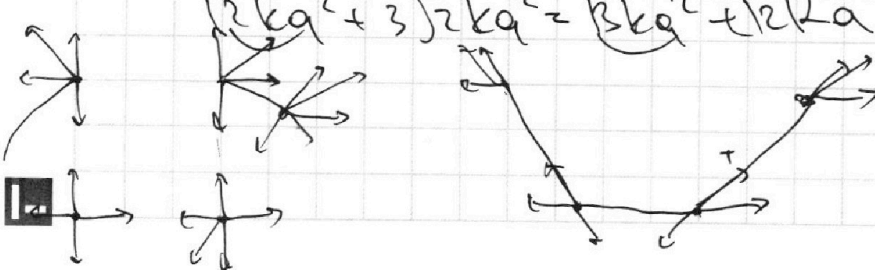
$\frac{kq^2}{a} (4 + \sqrt{2}) = \frac{13kq^2}{3a} + K \cdot 4 \cdot 3a$

$3kq^2 (4 + \sqrt{2}) = 13kq^2 + 12Ka$

$12kq^2 + 3\sqrt{2}kq^2 = 13kq^2 + 12Ka$

$12Ka = 3\sqrt{2}kq^2 - kq^2$

$K = \frac{kq^2 (3\sqrt{2} - 1)}{12a}$





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!