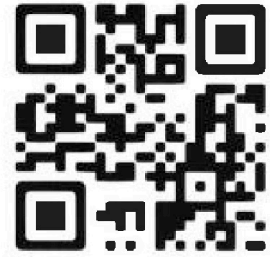




# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## 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.

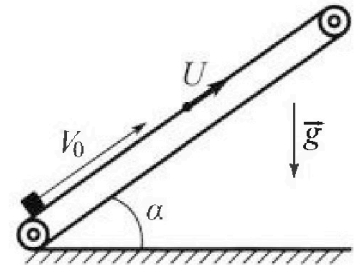
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободно го падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  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.).

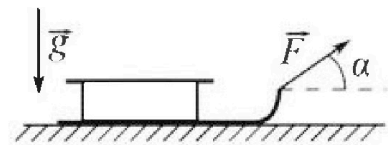
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. 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  $\alpha$  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  $\mu$  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.

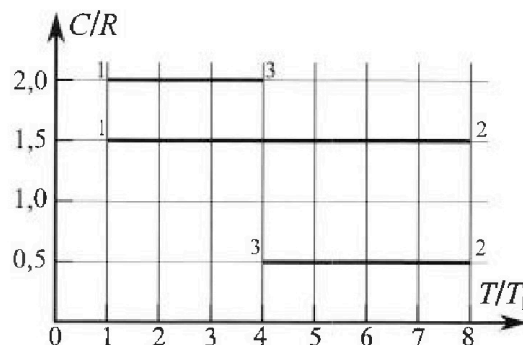
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

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



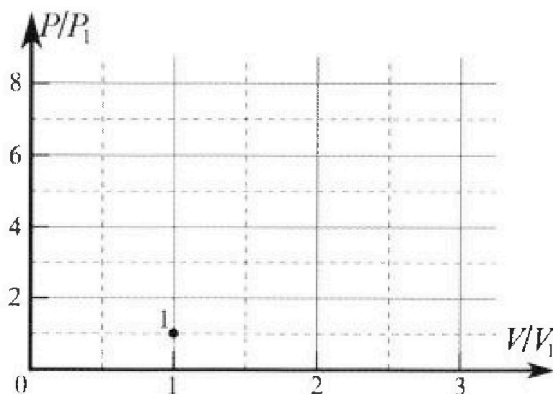
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

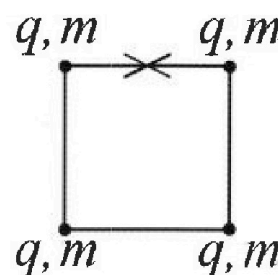
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

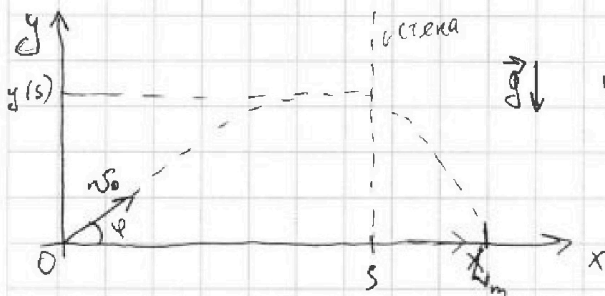
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

№ 1.



Рассмотрим бросок тела со скоростью  $v_0$  под углом  $\varphi$  к горизонту. Введем координ.  $Ox$  и верт.  $Oy$ , где точка  $(0; 0)$  - точка броска

Зависимость координат тела от времени:

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

~~Решение~~

Пусть  $t_0$  - время всего полета  $\Rightarrow y(t_0) = 0 \Rightarrow v_0 \cdot \sin \varphi \cdot t_0 - \frac{g t_0^2}{2} = 0$ . Так  $t_0 \neq 0$ , то  $v_0 \cdot \sin \varphi - \frac{g t_0}{2} = 0 \Rightarrow t_0 = \frac{2 v_0 \cdot \sin \varphi}{g}$

$$\Rightarrow L_m = x(t_0) = v_0 \cdot \cos \varphi \cdot \frac{2 v_0 \cdot \sin \varphi}{g} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\varphi}{g} - \text{дальность полета}$$

Из уравнения  $x(t)$  выразим  $t = \frac{x}{v_0 \cos \varphi}$ . Подставим в  $y(t)$ , получим  $y(x)$ .

$$y(x) = v_0 \cdot \sin \varphi \cdot \frac{x}{v_0 \cos \varphi} - \frac{g \cdot x^2}{2 v_0^2 \cdot \cos^2 \varphi} = x \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{g}{2 v_0^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot x^2$$

Перейдем к задаче: 1) мы знаем, что  $L_m = L = 20 \text{ м}$  при  $\varphi = \alpha = 45^\circ$

$$\Rightarrow L = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{g L}{\sin 2\alpha}}; \quad v_0 = \sqrt{\frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 20 \text{ м}}{1}} = \underline{\underline{10 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}}}$$

2) При изменении угла броска  $\varphi$  величина  $y(S)$ , т.е. высота удара о стену, имеет максимум  $H = 3,6 \text{ м}$

$$\Rightarrow S \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{g}{2 v_0^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot S^2 \leq H, \text{ при чем равенство достигается}$$

$$- \operatorname{tg}^2 \varphi \cdot \frac{g S^2}{2 v_0^2} + S \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{g S^2}{2 v_0^2} \leq H. \text{ В левой части пер. ва параболы выведем внизу относительно } \operatorname{tg} \varphi (S, g, v_0 = \text{const})$$

$$\Rightarrow H - \text{значение этой параболы в ее вершине. Вершина: } \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{-S}{-\frac{g S^2}{v_0^2}} = \frac{v_0^2 S}{g S^2} = \frac{v_0^2}{g S}$$

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

$$\frac{g S^2}{2 v_0^2} = \frac{v_0^2}{2g} - H \Rightarrow S^2 = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{2 v_0^2}{g} - H \cdot \frac{2 v_0^2}{g} = \frac{v_0^4}{g^2} \left( \frac{v_0^2}{g^2} - \frac{2H}{g} \right)$$

$$\Rightarrow S = v_0 \cdot \sqrt{\frac{v_0^2}{g^2} - \frac{2H}{g}}; \quad S = 10 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{\frac{200 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} - \frac{2 \cdot 3,6 \text{ м}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 10 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \sqrt{1,28} = 10 \sqrt{2} \cdot \sqrt{0,8} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$= 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 16 \text{ м.}$$

Ответ: 1)  $v_0 = 10 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; 2)  $S = 16 \text{ м}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

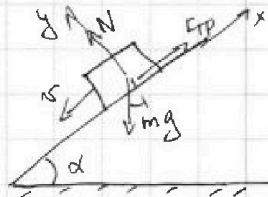
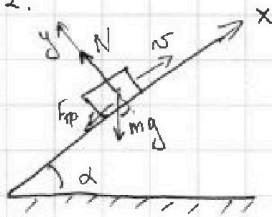
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

N2.



Введем  $Ox$  вдоль наклонной плоскости,  $Oy \perp Ox$ .

Когда коробка находится на ленте, на неё действуют 3 силы:

вертикальная сила тяжести  $mg$ , сила реакции опоры ленты  $\vec{N} \perp Oy$ , сила трения  $F_{тр}$ , направленная вдоль  $Ox$ , её направление зависит от скорости коробки.

вне зависимости от скорости ленты и коробки по  $Oy$  коробка должна находиться  $\Rightarrow$

по 2-3 законам Ньютона в проекции на  $Oy$   $N - mg \cdot \cos \alpha = 0 \Rightarrow N = mg \cdot \cos \alpha$ .

$$|F_{тр}| \leq \mu N = \mu mg \cdot \cos \alpha$$

Если коробка относительно ленты движется вверх (по  $Ox$ ), то сила трения будет направлена против  $Ox$ . Тогда по 2-3 законам Ньютона в проекции на  $Ox$   $-F_{тр} - mg \cdot \sin \alpha = m \cdot a_{bx}$ , где  $m$  - масса коробки,  $a_{bx}$  - проекция ускорения коробки (в ИСО ленты) на  $Ox$  в данном случае. В рассматриваемом случае коробка едет  $\Rightarrow F_{тр} = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow a_{bx} = -\mu g \cos \alpha + g \sin \alpha$

Если коробка движется против  $Ox$  от ленты, то  $F_{тр}$  направлена по  $Ox$ ,  $|F_{тр}| = \mu mg \cos \alpha \Rightarrow$  по 2-3 законам Ньютона в пр. или на  $Ox$   $F_{тр} - mg \sin \alpha = m g (\mu \cos \alpha - \sin \alpha) = m a_{bx}$ ,  $a_{bx}$  - проекция ускор. коробки на  $Ox$  в этом случае  $\Rightarrow a_{bx} = g (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$

по условию  $\sin \alpha = 0,6$ , угол явно острый  $\Rightarrow$  по ОТТ  $\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,36} = 0,8$

$\Rightarrow a_{bx} = g \cdot (0,5 \cdot 0,8 - 0,6) = -0,2g < 0 \Rightarrow$  случай пока коробки на ленте невозможен, т.к. в нём  $F_{тр} \leq \mu mg \cos \alpha$ , направлена так же  $\Rightarrow$  ускорение будет не больше  $a_{bx}$ , т.е.  $< 0$ . которое должно быть 0

1) Зависимость скорости коробки от времени до её остановки и разворота:

$v(t) = v_0 + a_{bx} t = v_0 - g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)t$  по закону равноускоренного движения

$\Rightarrow$  остановка произойдет через время  $t_1$ ,  $v(t_1) = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)} = \frac{v_0}{a_{bx}}$

$$t_1 = \frac{6 \frac{m}{c}}{10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 0,6 \text{ с} < T = 1 \text{ с}$$

до остановки коробка пройдет путь  $S(t_1) = v_0 \cdot t_1 + \frac{a_{bx} \cdot t_1^2}{2} = \frac{v_0^2}{-a_{bx}} + \frac{a_{bx} \cdot v_0^2}{2 a_{bx}^2} = \frac{v_0^2}{-2 a_{bx}} = \frac{v_0^2}{2g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}$

$$S(t_1) = \frac{36 \frac{m^2}{c^2}}{2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot (0,5 \cdot 0,8 + 0,6)} = 1,8 \text{ м} = S_1$$

После остановки коробка продолжит движение, но уже вниз. Зависимость пройденного пути от времени после остановки:  $S_2(t) = \frac{|a_{bx}| \cdot t^2}{2}$ , т.к.  $a_{bx} \uparrow$  скорость

$S = S_1 + S_2(t_2)$ , где  $t_2 = T - t_1 = 1 \text{ с} - 0,6 \text{ с} = 0,4 \text{ с}$ .

$$\Rightarrow S_2(t_2) = \frac{0,2 \cdot 10 \frac{m}{c^2} \cdot 0,4^2 \text{ с}^2}{2} = 0,16 \text{ м} \Rightarrow S = 1,8 \text{ м} + 0,16 \text{ м} = \underline{\underline{1,96 \text{ м}}}$$



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!

№2 - продолжение

2) При движении ленте соотношения, записанные в п.1 будут верны, но в ИСО ленто, т.е. движущаяся со скоростью  $u$  по  $Ox$ .

в ЛСО скорость коробки будет  $u$ , либо если скорость в ИСО равна 0, либо если в ИСО скорость коробки равна  $2u$  и направлена против  $Ox$ .

Первый случай достигается через время  $t_1 = 0,6$  с (см. п.1)

Зависимость модуля скорости коробки от времени после её разворота (в ИСО) будет  $v_2(t) = |a_{nx}| t \Rightarrow$  через время  $t_1'$  после разворота  $v_2(t_1') = 2u = |a_{nx}| t_1' = 0,2g t_1'$

$$\Rightarrow t_1' = \frac{2u}{0,2g} = \frac{2 \cdot 1 \frac{m}{s}}{2 \cdot 0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 1 \text{ с}$$

$\Rightarrow$  скорость коробки во втором случае в ЛСО будет равна  $u$  через  $t_1 = 0,6$  с и через  $t_1 + t_1' = 0,6 + 1$  с = 1,6 с.

3) скорость коробки обратиться в 0 в ЛСО во втором случае, когда в ИСО лента скорости коробки будет направлена "вниз" и равна  $u$  по модулю, т.е. после разворота, через время  $t_2$ :  $v_2(t_2) = 0,2g \cdot t_2 = u \Rightarrow t_2 = \frac{u}{0,2g}$

До разворота в ИСО коробка проедет  $L_1 = u \cdot t_1 + v_0 \cdot t_1 + \frac{a_{nx} t_1^2}{2} = u \cdot t_1 + S_1$

после разворота в ЛСО смещение по  $Ox$  дообучение скорости  $L_2 = u \cdot t_2 + \frac{a_{nx} t_2^2}{2}$

$$L = L_1 + L_2 = u \left( t_1 + \frac{u}{0,2g} \right) + S_1 - \frac{a_{nx} \cdot u^2}{2 \cdot 0,2g \cdot 0,2g}$$

$$L = 1 \frac{m}{s} \cdot \left( 0,6 \text{ с} + \frac{1 \frac{m}{s}}{0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} \right) - \frac{1 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0,2 \cdot 10 \frac{m}{s^2}} = 1,1 \text{ м} - 0,25 \text{ м} = 0,85 \text{ м}$$

Ответ: 1)  $1,96 \text{ м} = S$ ; 2)  $T_1 = 0,6 \text{ с}$  и  $T_1 = 1,6 \text{ с}$ ; 3)  $L = 0,85 \text{ м}$ .

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

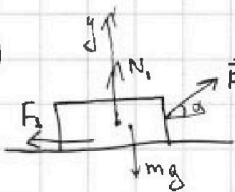
1  2  3  4  5  6  7



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

№3

I)



Когда сила направлена под углом к горизонту, на санки при движении действуют: сила  $F$ , сила тяжести  $mg$  вертикаль вниз, сила норм. реакции опоры  $N_1$  вверх и сила трения  $F_1 = \mu N_1$ , направленная горизонт. против направления движения.

По вертик. ОУ санки покоятся  $\Rightarrow$  по 2-3 Ньютона впр. на ОУ  $N_1 + F \cdot \sin \alpha - mg = m \cdot 0$

$$\Rightarrow N_1 = mg - F \cdot \sin \alpha$$

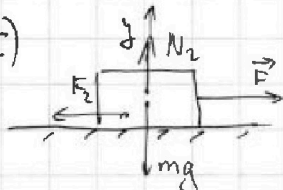
$$\Rightarrow F_1 = \mu mg - \mu F \sin \alpha$$

Пусть разрыв происходит на пути  $l$ , при этом силы  $mg$  и  $N_1$  не совершают работы, т.к. направлены  $\perp$  смещению  $\Rightarrow$  по т.о кинетической энергии

$$K = 0 = F \cdot l \cdot \cos \alpha - F_1 \cdot l = F \cdot l \cdot \cos \alpha - \mu mg l + \mu F \sin \alpha \cdot l$$

↑ работа силы F      ↑ работа силы трения

II)



Когда сила  $F$  горизонтально, всё аналогично: по ОУ  $N_2 - mg = 0 \Rightarrow N_2 = mg$  - сила норм. реакции опоры;  $F_2 = \mu N_2 = \mu mg$  - сила трения в этом случае.

по т.о кинетической энергии  $K = 0 = F \cdot l - F_2 \cdot l = F \cdot l - \mu mg l$

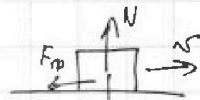
↑ работа силы F      ↑ работа силы трения

1) Итого, получаем систему уравнений:  $\begin{cases} K = l \cdot (F \cdot \cos \alpha + \mu F \sin \alpha - \mu mg) \\ K = l \cdot (F - \mu mg) \end{cases}$

$$\Rightarrow \frac{K}{l} = F \cdot \cos \alpha + \mu (F \sin \alpha - mg) = F - \mu mg$$

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

2) После прекращения действия силы  $F$ :



на санки действует  $mg$ , вверх сила норм. реакции опоры  $N$  и сила трения  $F_{тр}$  против скорости. По вертикали санки покоятся  $\Rightarrow N - mg = m \cdot 0$  по 2-3 Ньютона  $\Rightarrow N = mg$ ,  $F_{тр} = \mu N = \mu mg$  при движении сан.

При движении до остановки работу совершает только сила трения

$$\Rightarrow \text{по т.о кин. энергии } \overset{\text{после остановки кин. энергия } = 0}{K} - k = - F_{тр} \cdot S = - \mu mg S \Rightarrow k = \mu mg S \Rightarrow S = \frac{k}{\mu mg} = \frac{k \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$$

Вот ответ

ответ: 1)  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$ ; 2)  $S = \frac{k \cdot \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$



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!

№4.

$\nu$  - кол. молекул, т.е.  $\nu = 4$  моль;  $\nu_2$  адиабатический  $\Rightarrow$  кол-во степеней свободы  $\nu_2 = 3$

1) по I началу термодинамики

$$\Delta U_{31} = U_3 - U_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$T_2$  - тем. в с. 3

$$Q_{2-1} = \Delta U_{2-1} - A_{2-1}$$

наведенное к нему тепло  $Q_{2-1}$  изм. внутреннюю энергию газа в пр-се 2-1.

$$Q_{2-1} = \nu \cdot c_{31} \cdot (T_2 - T_3) \text{ где } c_{31} \text{ мол. теплоемкость в процессе 3-1}$$

$$\Rightarrow (T_2 - T_3) \cdot c_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_3) - A_{31} \Rightarrow A_{31} = \frac{3}{2} \nu R T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} + 1 \right) - \nu \cdot c_{31} T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} + 1 \right)$$

найдем из графика.

$$A_{1-2} = \nu R \left( \frac{3}{2} T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) - \frac{c_{21}}{R} \right)$$

$$A_{2-1} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \left( \frac{3}{2} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 - 1) - 2 \right)$$

$$A_{31} = \nu R T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} + 1 \right) \left( \frac{3}{2} - \frac{c_{31}}{R} \right); \quad A_{31} = 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 200 \text{ К} \cdot (4 + 1) \cdot \left( \frac{3}{2} - 2,0 \right) = -2,5 \text{ кДж}$$

2) Обозначим  $A_{i,j}^*$  - работа газа в процессе  $i-j$ ,  $Q_{i,j}$  - полученное тепло,  $\Delta U_{i,j}$  - изм. внутренней энергии в процессе  $i-j$ ,  $c_{ij}$  - мол. теплоемкость в этом процессе,  $T_i$  - темп. в состоянии  $i$ ;

$\Rightarrow$  по ср. мол. теплоемкости и I началу термодинамики:

$$\left\{ \begin{aligned} \nu \cdot c_{12} \cdot (T_2 - T_1) &= Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + A_{12}^* \\ \nu \cdot c_{23} \cdot (T_3 - T_2) &= Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + A_{23}^* \\ \nu \cdot c_{31} \cdot (T_1 - T_3) &= Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31}^* = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + A_{31}^* \end{aligned} \right. \quad (*)$$

$T_2 - T_1 > 0$ ,  $T_3 - T_2$  и  $T_1 - T_3 < 0$ , все  $c > 0 \Rightarrow Q_{12} > 0$ ,  $Q_{23}, Q_{31} < 0$ .

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{12}^* + A_{23}^* + A_{31}^*}{Q_{12}} \quad Q_{12} = \nu \cdot c_{12} \cdot T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

Все в уравнение, запишем выше, аналогично:  $A_{i,j}^* = (T_j - T_i) \cdot \nu R \left( \frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right) = T_i \cdot \left( \frac{T_j - T_i}{T_i} \right) \cdot \nu R \left( \frac{c_{ij}}{R} - \frac{3}{2} \right)$

$$\Rightarrow \eta = \frac{T_1 \cdot \nu R \left( \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \cdot \left( \frac{c_{12}}{R} - \frac{3}{2} \right) + \left( \frac{T_3}{T_1} - \frac{T_2}{T_1} \right) \cdot \left( \frac{c_{23}}{R} - \frac{3}{2} \right) + \left( \frac{T_1}{T_1} - \frac{T_3}{T_1} \right) \cdot \left( \frac{c_{31}}{R} - \frac{3}{2} \right) \right)}{T_1 \cdot \nu R \cdot \frac{c_{12}}{R} \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}$$

$\leftarrow$  все нулевые отменены берем из графика.

$$\eta = \frac{(8-1) \cdot (1,5-1,5) + (4-8) \cdot (0,5-1,5) + (1-4) \cdot (2-1,5)}{1,5 \cdot (4-1)} = \frac{4-3,2}{2,5} = \frac{8}{25}$$

3) При вычислении  $\eta$  заметили, что  $A_{12}^* = 0 \Rightarrow$  процесс 1-2 изохорический ( $V_2 = V_1$ )  $\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 1$

$$\Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left( \frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} \nu R T_1 \cdot \left( \frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} \nu R T_1 \cdot \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right) \text{ с графиком}$$

$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = 8$$

Запишем уравнение, аналогичное (\*), в дифференциальной форме:

$$\nu \cdot c \cdot dT = dQ = \frac{3}{2} \nu R dT + dA^*, \text{ придем к выводу о процессе } c = \text{const}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



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

УЧ-процесс

~~УЧ-процесс~~

$$\Rightarrow c = \frac{3}{2} R + \frac{dA^*}{dT} = \text{const} \Rightarrow \frac{dA^*}{dT} = \frac{2c - 3R}{2} = \text{const}$$

энергетическое уравнение состояния:  $p dV + V dp = \nu R dT \Rightarrow \nu dT = \frac{p dV + V dp}{R}$

$$\Rightarrow \frac{2}{2c - 3R} = \frac{p dV + V dp}{R \cdot dA^*} \quad dA^* = p dV$$

$$\Rightarrow \frac{2R}{2c - 3R} = \frac{p dV + V dp}{p dV} = 1 + \frac{V dp}{p dV} \Rightarrow \frac{V dp}{p dV} = \frac{2R - 2c}{2c - 3R} = \text{const} = -n$$

$$\Rightarrow V dp = -n \cdot p dV \Rightarrow V dp + n \cdot p dV = 0 \quad | \cdot V^{n-1}$$

$$d(V^n \cdot p) = V^n \cdot dp + n \cdot V^{n-1} \cdot dV \cdot p = 0$$

$$\Rightarrow p \cdot V^n = \text{const}, \text{ где } n = \frac{5R - 2c}{2c - 3R} = \frac{5 - 2 \frac{c}{R}}{2 \frac{c}{R} - 3}$$

уравнение процессов 2-3 и 3-1

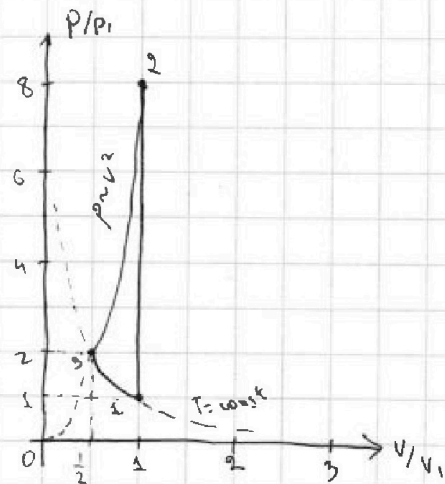
$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2^{n_2}}{V_1^{n_2}} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3^{n_2}}{V_1^{n_2}}, \text{ где } n_2 = \frac{5 - 2 \frac{c_{23}}{R}}{2 \frac{c_{23}}{R} - 3} = \frac{5 - 2 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.5 - 3} = \frac{5 - 1}{1 - 3} = -2 \Rightarrow p \sim V^2 \text{ пр. 2-3}$$

$$\Rightarrow 8 \cdot 1^{-2} = \frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{-2} = 8 \quad (1)$$

$$\frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{n_3} = \frac{p_1}{p_1} \cdot \left(\frac{V_1}{V_1}\right)^{n_3} = 1, \text{ где } n_3 = \frac{5 - 2 \frac{c_{31}}{R}}{2 \frac{c_{31}}{R} - 3} = \frac{5 - 2 \cdot 2}{2 \cdot 2 - 3} = \frac{5 - 4}{2 - 3} = \frac{1}{-1} = -1$$

$$\Rightarrow \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} = 1 \quad (2) \Rightarrow 3-3 \text{ - изотерма}$$

Разделим (2) на (1):  $\frac{\frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1}}{\frac{p_3}{p_1} \cdot \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^{-2}} = \frac{1}{8} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^3 \Rightarrow \frac{V_3}{V_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{p_3}{p_1} = \frac{1}{1/2} = 2$



Ответ: 1)  $A_{31} = 2.5 \text{ кДж}$ ; 2)  $\eta = \frac{5}{24}$ ; 3) см.





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!

**Черновик**

$$\eta = 1 - \frac{c_{12} \cdot (8-4) + c_{13} \cdot (4-1)}{c_{12} \cdot (8-1)} = 1 - \frac{0,5 \cdot 4 + 2 \cdot 3}{1,5 \cdot 7} = 1 - \frac{8 \cdot 2}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21} \approx \frac{1}{3}$$

$$Q_{12} = 2R \cdot 1,5 \cdot T_1 \cdot 7, \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot 7 \Rightarrow A_{12}^X = 2R T_1 \cdot 7$$

$$Q_{23} = 2R T_1 \cdot 0,5 \cdot (-4); \quad \Delta U_{23} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-4) \Rightarrow A_{23}^X = 2R T_1 \cdot (-2+6)$$

$$Q_{31} = 2R T_1 \cdot 2 \cdot (-3); \quad \Delta U_{31} = \frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-3) \Rightarrow A_{31}^X = 2R T_1 \cdot (-6 + \frac{9}{2})$$

$$1 - \frac{2 \cdot 8}{21} = \frac{21-16}{21} = \frac{5}{21}$$

$$\frac{21}{2} - 8 = 4 - \frac{3}{2} \quad 21-16 = 5 \rightarrow$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} p_1 V_1 \left( \frac{p_2}{p_1} - 1 \right) = \frac{3}{2} 2R T_1$$

$$\frac{3}{2} 2R T_1 \cdot (-4) = \frac{3}{2} (p_3 V_3 - p_2 V_2) \Rightarrow -4 = \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} - 8 \Rightarrow \frac{p_3}{p_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} = 4$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{\frac{3}{2} 2R \Delta T + A}{\Delta T} = \frac{3}{2} R + \left( \frac{A}{\Delta T} \right) = \text{const}$$

$$\frac{dA}{\Delta T} = \frac{pdV}{\Delta T} = C - \frac{3}{2} R = \frac{2C-3R}{2}$$

$$pdV + V \cdot dp = 2R dT$$

$$1 + \frac{V dp}{pdV} = \frac{2R}{2C-3R}$$

$$\frac{V dp}{pdV} = \frac{2R-2C+3R}{2C-3R} = \frac{5R-2C}{2C-3R} = \text{const} = A$$

$$pV^n = \text{const}$$

$$p \cdot n \cdot V^{n-1} dV + V^n \cdot dp = 0$$

$$p \cdot n \cdot V^{n-1} dV = -V^n \cdot dp \quad | : V^n$$

$$n \cdot \frac{pdV}{V} = -dp \quad | : p$$

$$n \cdot \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p} \Rightarrow -\frac{dV \cdot p}{V \cdot dp} \cdot n = 1$$

$$A_{23} = \frac{5-2 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,5-3} = \frac{4}{-2} = -2$$

$$A_{31} = \frac{5-2 \cdot 2}{2 \cdot 2-2} = \frac{1}{0}$$

$$n = -\frac{V dp}{pdV} \quad \frac{V \cdot dp}{dV \cdot p} = \frac{V dV \cdot dp}{dV \cdot p \cdot dp}$$

$$\Rightarrow V dp = pdV \quad | \cdot \frac{V^3}{p}$$

$$8 = 8 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4$$

$$1 = 1 \cdot 1^4 = p_3 \cdot V_3^4 \Rightarrow V_3 = 8$$

$$V_3 = 8 = 2^3, \quad p_3 = \frac{2^3}{2^3} = 1$$

$$V^{n+1} \cdot dp = dV \cdot V^n \cdot p$$





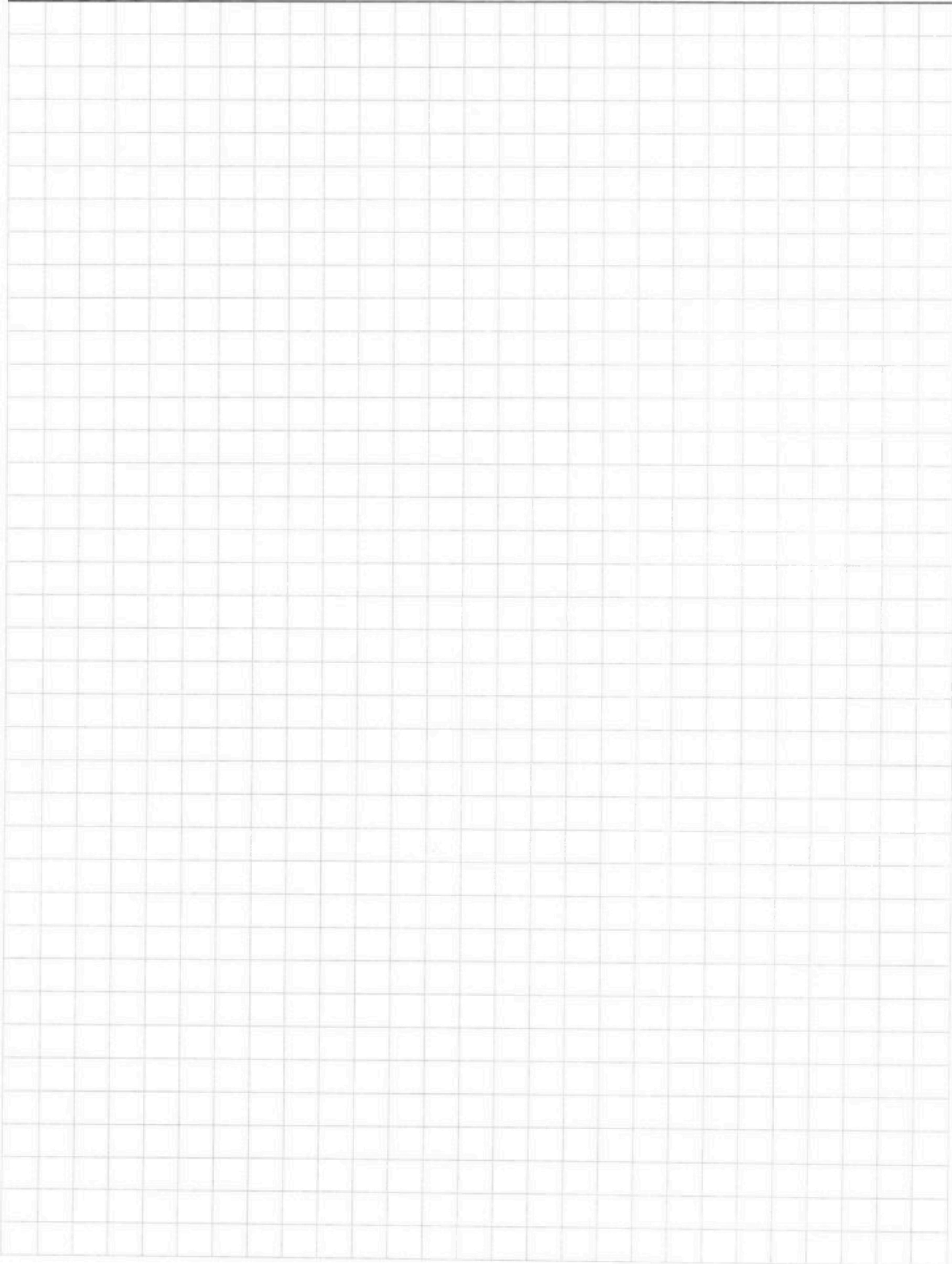
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!

