



# 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.

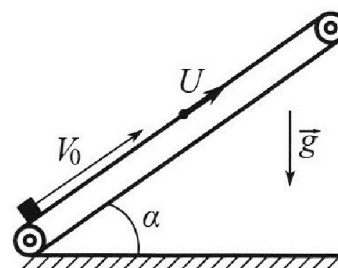
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение с вободного 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.).

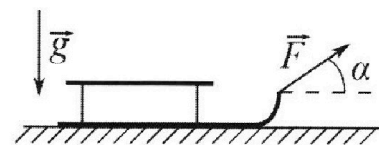
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

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.



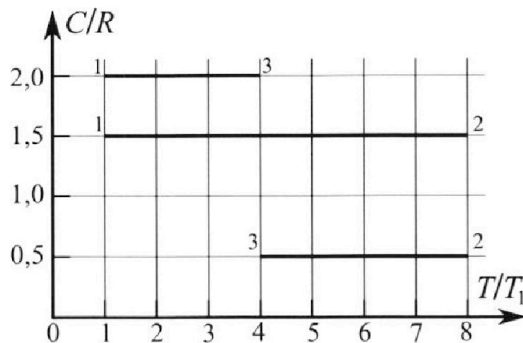
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02



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

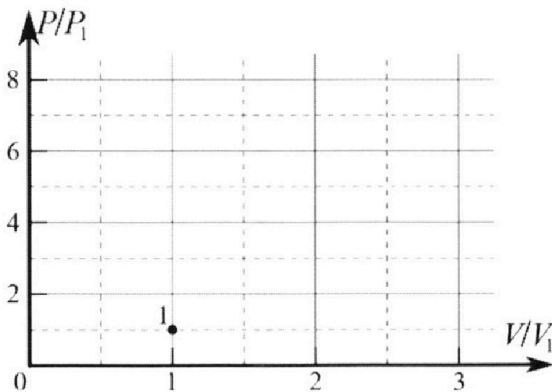
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

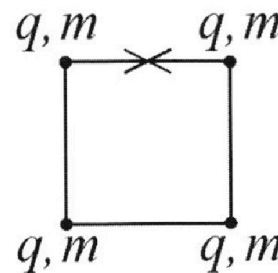
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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!

Задача 1.

1)

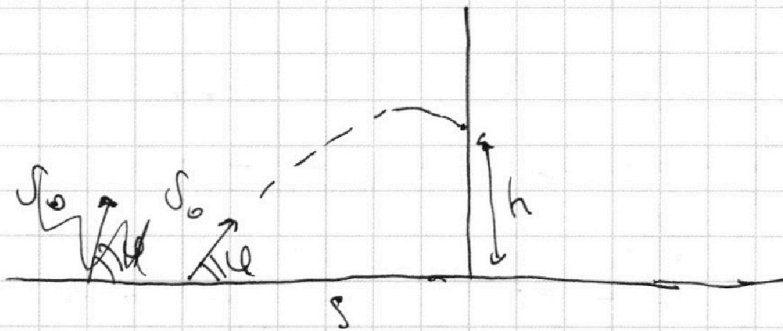


$$\begin{cases} L = v_0 t_1 \cos \alpha, & t_1 - \text{время полёта мяча в первом эксперименте.} \\ -v_0 \sin \alpha t = v_0 \sin \alpha t - g t, \end{cases}$$

$$t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}} = \sqrt{10 \cdot 20} = 5\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 14,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)



$$h = v_0 t_2 \sin \varphi - \frac{g t_2^2}{2}, \quad t_2 - \text{время} \dots \text{во 2-ом эксперименте}$$

$$s = v_0 t_2 \cos \varphi \Rightarrow t_2 = \frac{s}{v_0 \cos \varphi}$$

$$h(\varphi) = s \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} - \frac{g s^2}{2 v_0^2 \cos^2 \varphi}$$

стр. 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!

$$h'(\varphi) = S \frac{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} - \frac{gS^2}{2V_0^2} \frac{0 - 2\cos \varphi \cdot (-\sin \varphi)}{\cos^4 \varphi} =$$

$$= S \frac{1}{\cos^2 \varphi} - \frac{gS^2}{2V_0^2} \frac{2\sin \varphi \cos \varphi}{\cos^4 \varphi}$$

$$h = H \Rightarrow h'(\varphi) = 0$$

$$\frac{S}{\cos^2 \varphi^x} - \frac{gS^2}{2V_0^2} \frac{2\sin \varphi^x \cos \varphi^x}{\cos^4 \varphi^x} = 0 \quad | : \frac{S}{\cos^2 \varphi^x}$$

$$1 - \frac{gS}{2V_0^2} \frac{2\sin \varphi^x \cos \varphi^x}{\cos^2 \varphi^x} = 0$$

$$2V_0^2 \cos^2 \varphi^x = 2gS \sin \varphi^x \cos \varphi^x \quad | : 2\cos \varphi^x$$

$$V_0^2 \cos \varphi^x = gS \sin \varphi^x$$

$$V_0^2 \sqrt{1 - \sin^2 \varphi^x} = gS \sin \varphi^x$$

$$V_0^4 (1 - \sin^2 \varphi^x) = g^2 S^2 \sin^2 \varphi^x$$

$$V_0^4 = (g^2 S^2 + V_0^4) \sin^2 \varphi^x$$

$$\sin \varphi^x = \frac{V_0^2}{\sqrt{g^2 S^2 + V_0^4}} \Rightarrow \cos \varphi = \sqrt{1 - \frac{V_0^4}{g^2 S^2 + V_0^4}} = \frac{gS}{\sqrt{g^2 S^2 + V_0^4}}$$

$$H = S \frac{\sin \varphi^x}{\cos \varphi^x} - \frac{gS^2}{2V_0^2 \cos^2 \varphi^x} = S \frac{V_0^2}{gS} - \frac{gS^2 (g^2 S^2 + V_0^4)}{2V_0^2 g^2 S^2}$$

$$H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{g^2 S^2 + V_0^4}{2V_0^2 g} \Rightarrow \frac{g^2 S^2 + V_0^4}{2V_0^2 g} = \frac{V_0^2}{g} - H \Rightarrow g^2 S^2 + V_0^4 = 2V_0^2 - 2V_0^2 gH$$

$$g^2 S^2 = V_0^4 - 2V_0^2 gH \Rightarrow S = \frac{\sqrt{V_0^4 - 2V_0^2 gH}}{g} = \frac{V_0^2 \sqrt{V_0^2 - 2gH}}{g} = \frac{10\sqrt{2} \cdot \sqrt{200 - 22}}{10}$$

$$= \sqrt{256} = 16 \text{ м}$$

ОТВЕТ: 1)  $V_0 = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ; 2)  $S = 16 \text{ м}$

1 стр. 2

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

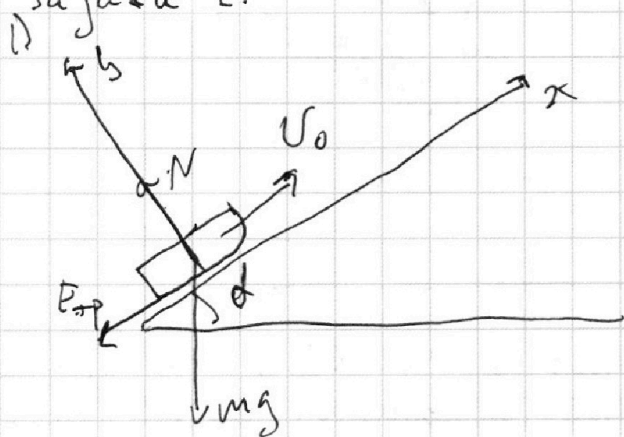
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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!

Задача 2.



$$\text{IIЗК (ось } y): 0 = N - mg \cos \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$\text{IIЗК (ось } x): \text{max} = -F_{\text{fr}} - mg \sin \alpha$$

$$\text{max} = -( \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha )$$

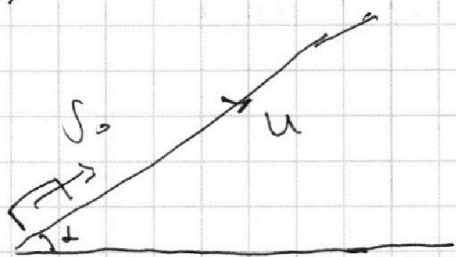
$$a_{\text{ax}} = -g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

$$S = v_0 T + \frac{a_{\text{ax}} T^2}{2}$$

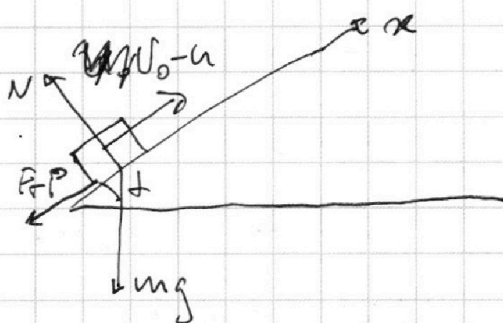
$$S = v_0 T - \frac{g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) T^2}{2} \Rightarrow 1 = 6T - \frac{10 \cdot (0,4 + 0,6) T^2}{2}$$

$$\Rightarrow 6 - 5 = 1 \text{ м}$$

2)



В С.О. ленты:



$$a_x = -g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$$

Когда коробка остановится в С.О. ленты это будет означать что в лаб. С.О. у коробки скорость  $u$ .

$$0 = v_0 + a_x T, \text{ т.е. } T_1 = -\frac{v_0 - u}{a_x} = \frac{v_0 - u}{g (\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}$$

$$= \frac{6 - 5}{10 \cdot 1} = 0,1 \text{ с}$$

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

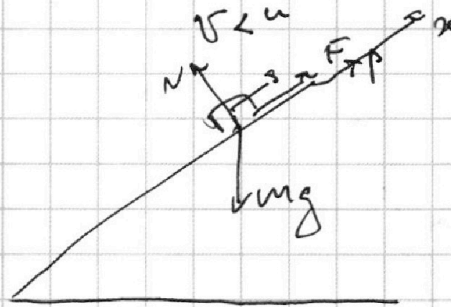
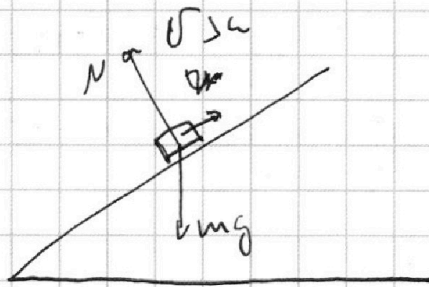
Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

3)



Когда скорость коробки станет меньше скорости ленты, лента начнет "помогать" коробке двигаться Вверх, т.е. сила трения будет направлена с осью  $x$ . Таким образом, можно разбить движение коробки на два участка: 1)  $v > u$ ; 2)  $v < u$ ,  $v$  - скорость коробки.

1)  $a_{1x} = -g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)$ ,  $a_{1x}$  - ускорение коробки на 1-ом участке

2)  $ma_{2x} = F_{тр} - mg \sin \alpha$

$ma_{2x} = \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha$

$a_{2x} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ ,  $a_{2x}$  - ... на 2-ом участке.

$L_1 = v_0 T_1 + \frac{a_{1x} T_1^2}{2} = T_1 \left( v_0 - \frac{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{2} T_1 \right)$

$L_1 = 0,5(6 - 5 \cdot 0,5) = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75 \text{ м}$

$L_2 = u T_2 + \frac{a_{2x} T_2^2}{2} = u T_2 \left( u - \frac{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{2} T_2 \right)$

$T_2 = \frac{u}{a_{2x}} = \frac{1}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \frac{1}{10(0,6 - 0,5)} = \frac{1}{2} \text{ с}$

$L_2 = T_2 \left( u - \frac{u}{2} \right) = \frac{1}{2} u T_2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = 0,25 \text{ м}$

$L = L_1 + L_2 = 2 \text{ м}$

Ответ: 1)  $S = 1 \text{ м}$ ; 2)  $T_1 = 0,5 \text{ с}$ ; 3)  $L = 2 \text{ м}$

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!

Задача 3.  
1)

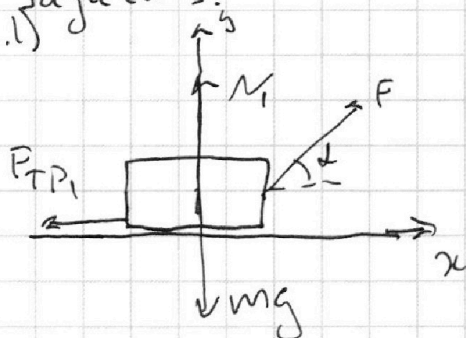


Рис. 1

$$\text{IIЗН (ось } y): 0 = N_1 + F \sin \alpha - mg \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$$

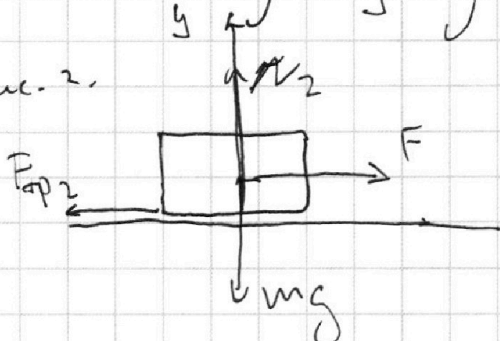
$$F_{\text{тр}1} = \mu N = \mu (mg - F \sin \alpha)$$

$$\text{ЗСЭ: } 0 \cdot E_1 + A_{\text{тр}1} \cdot L = E_2$$

$$0 + F L \cos \alpha - F_{\text{тр}1} L = k$$

$$F L \cos \alpha - \mu m g L + \mu F L \sin \alpha = k \quad (1)$$

Рис. 2.



$$\text{IIЗН (ось } y): N_2 = mg$$

$$F_{\text{тр}2} = \mu N_2 = \mu m g$$

$$\text{ЗСЭ: } F L - F_{\text{тр}2} L = k$$

$$F L - \mu m g L = k \quad (2)$$

$$(2) - (1): F L - \mu m g L - F L \cos \alpha + \mu m g L - \mu F L \sin \alpha = 0$$

$$F - F \cos \alpha - \mu F \sin \alpha = 0$$

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

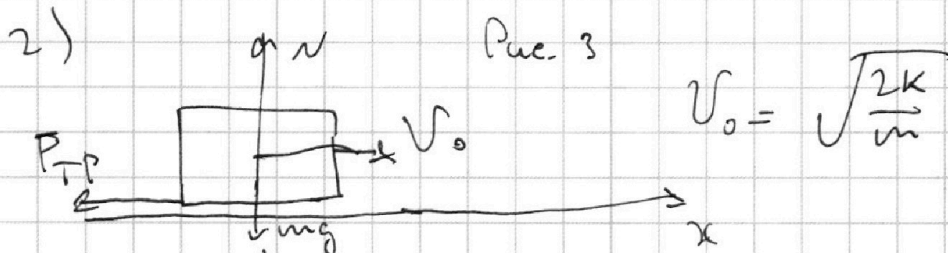
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$\text{3 ЦЗ: } k + A_{\text{ст.л.}} = 0$$

$$k - F_{\text{тр}} S = 0 \quad (3)$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg \quad (4)$$

$$\text{I ЦЗН (ось } x) \text{ (Рис. 1): } ma_{1x} = F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha)$$

$$\text{II ЦЗН (ось } x) \text{ (Рис. 2): } ma_{2x} = F - \mu mg$$

$$\text{III ЦЗН (ось } x) \text{ (Рис. 3): } ma_{3x} = -\mu mg \Rightarrow a_{3x} = -\mu g$$

$$S = v_0 t_3 + \frac{a_{3x} t_3^2}{2} = v_0 t_3 - \frac{\mu g t_3^2}{2}$$

$$t_3 = -\frac{v_0}{a_{3x}} = \frac{v_0}{\mu g}$$

$$S = \frac{v_0^2}{\mu g} - \frac{\mu g}{2} \frac{v_0^2}{(\mu g)^2} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

$$L = \frac{v_0^2}{2a_{1x}}$$

$$S = \frac{k}{\mu mg} = \frac{k \sin \alpha}{mg(1 - \cos \alpha)}$$

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

ср. 6



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!

Задача 4.

$C_{1,2} = \frac{3}{2} R$  — теплоёмкость изохорного процесса.  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  1-2 — изохорный процесс

$$P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad T_2 = 8T_1 \text{ (из графика)}$$

$$P_2 = 8P_1$$

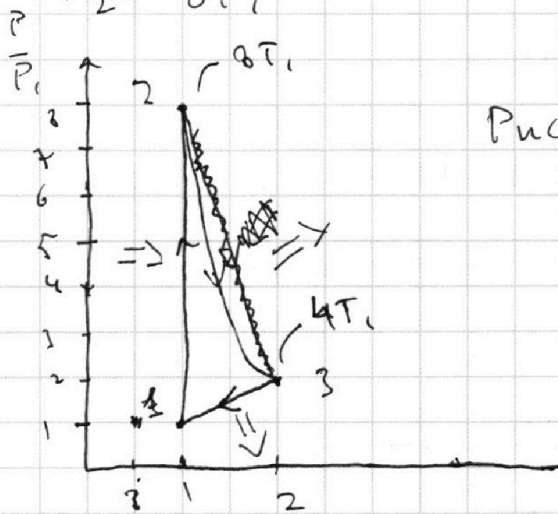


Рис. 4.

$C_{3,1} = 2R$  — теплоёмкость процесса  $P = kV$  (для одноатомного газа)

$$\begin{cases} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu R T_2, \quad T_2 = 4T_1 \text{ (из графика)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} k V_1^2 = \nu R T_1 \\ k V_2^2 = 4 \nu R T_1 \end{cases}$$

$$V_2^2 = 4 V_1^2 \Rightarrow V_2 = 2 V_1; \quad P_2 = 2 P_1$$

$$A_{31} - \text{работа газа в процессе 3-1.}$$

$$A_{31} = - \frac{P_1 + P_3}{2} (V_1 - V_3) = - \frac{3P_1}{2} V_1 = - \frac{3}{2} P_1 V_1 = - \frac{3}{2} \nu R T_1$$

$$A_{31} = - \frac{P_1 + P_3}{2} (V_1 - V_3) = - \frac{3P_1}{2} V_1 = - \frac{3}{2} \nu R T_1$$

площадь трапеции

стр. 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
<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!

$$1) A_{31} = -A'_{31} = \frac{3}{2} \sqrt{2} R T_1 = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 200 = 3 \cdot 831 = 2493 \text{ Дж}$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \sqrt{2} R (4T_1 - 8T_1) + A_{23} = -6 \sqrt{2} R T_1 + A_{23}$$

$$C_{23} \sqrt{2} (4T_1 - 8T_1) = -6 \sqrt{2} R T_1 + A_{23}$$

$$A_{23} = 4 \sqrt{2} R T_1$$

$$A_{23 \text{ макс.}} = \frac{P_2 + P_3}{2} (V_3 - V_2) = \frac{10 P_1}{2} V_1 = 5 P_1 V_1 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$  процесс 2-3 — нелинейный  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  процесс 2-3 — политропический процесс

$$P V^n = \text{const}$$

$$A_{\Gamma} = A_{23} + A'_{31} + A_{12} = 4 \sqrt{2} R T_1 - \frac{3}{2} \sqrt{2} R T_1 = \frac{5}{2} \sqrt{2} R T_1$$

$$Q_{\text{н}} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \sqrt{2} R \cdot 7 T_1 + 2 \sqrt{2} R \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2} R = \frac{3}{2} \sqrt{2} R (8T_1 - T_1) = \frac{21}{2} \sqrt{2} R T_1$$

$$2) \eta = \frac{\frac{5}{2} \sqrt{2} R T_1}{\frac{21}{2} \sqrt{2} R T_1} = \frac{5}{21} = \frac{500}{21} \%$$

Ответ: 1)  $A_{31} = 2493 \text{ Дж}$ ; 2)  $\eta = \frac{5}{21}$ ; 3) Рис. 4.

дополнение к процессу 2-3:

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v} = \frac{\frac{1}{2} R - \frac{5}{2} R}{\frac{1}{2} R - \frac{3}{2} R} = \frac{-4R}{-2R} = 2 \Rightarrow P V^2 = \text{const}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

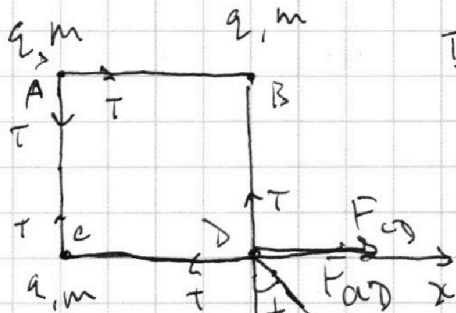
- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Задача 5.

1)



ИЗН (на D; ось x):

$$0 = F_{CD} + F_{AD} \sin \alpha - T$$

$$T = k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2} \sin \alpha,$$

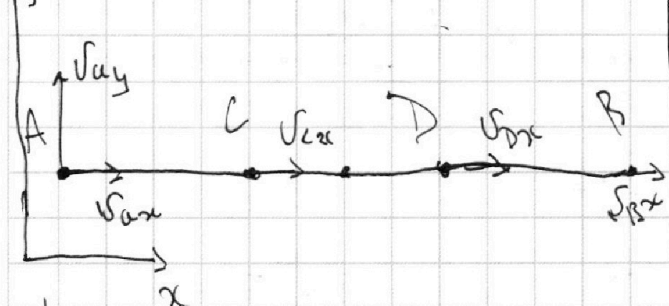
$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

$$k \frac{q^2}{a^2} \left( 1 + \frac{\sin \alpha}{2} \right) = T$$

$$q^2 = \frac{2a^2 T}{k(2 + \sin \alpha)}$$

$$q = a \sqrt{\frac{2T}{k(2 + \frac{\sqrt{2}}{2})}} = 2a \sqrt{\frac{T}{k(4 + \sqrt{2})}} = 2a \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 T}{4 + \sqrt{2}}}$$

2)

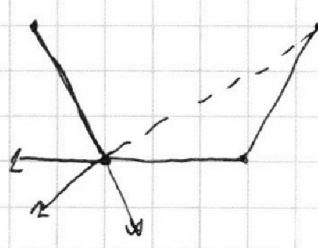


Кратчайшим путем:

$$v_{Ax} = v_{Cx} = v_{Dx} = v_{Bx} = v_x$$

$$\text{ЗУ: } \alpha: 4v_x \omega = 4v_x \rightarrow$$

$$\Rightarrow v_x \equiv 0$$



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!

$$y: \quad \cancel{V_{ay}} + \cancel{V_{cy}} + \cancel{V_{dy}} + V_{by} = 0$$

$V_{ay} = V_{by}$ , из соображений симметрии

$$V_{cy} = V_{dy}$$

$$2V_{ay} + 2V_{cy} = 0 \Rightarrow V_{ay} = -V_{cy} = V_y$$

здесь:

$$K_{n1} = K_{n2} + K_{обш}$$

$$4k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{a\sqrt{2}} = \frac{13}{3} k \frac{q^2}{a} + K_{обш}$$

$$K_{обш} = k \frac{q^2}{a} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)$$

$$\frac{mv_y^2}{2} + \frac{mv_y^2}{2} + \frac{mv_y^2}{2} + \frac{mv_y^2}{2}$$

Скорости всех зарядов  
равны по модулю  $\Rightarrow$

у всех зарядов равные кинетические энергии.

$$2) K_a = \frac{K_{обш}}{4} = \frac{1}{4} k \frac{q^2}{a} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{4a^2 \cdot 4\pi\epsilon_0 \tau}{16\pi\epsilon_0 a(4+\sqrt{2})} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right) =$$

$$\text{Ответ: } \tau q^2 = \frac{a\tau \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)}{4 + \sqrt{2}}$$

$$\text{Ответ: } 1) q = 2a \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 \tau}{4 + \sqrt{2}}}; \quad 2) K_a = \frac{a\tau \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)}{4 + \sqrt{2}}$$

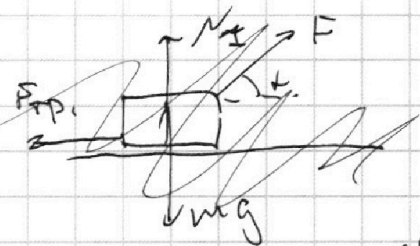
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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!



$$W_A = k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a\sqrt{2}} + k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a\sqrt{2}} + k \frac{q^2}{a} =$$

$$= 4 \frac{kq^2}{a} + 2k \frac{q^2}{a\sqrt{2}} = 2k \frac{q^2}{a} \left( 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) =$$

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

$$W_{B2} = k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{2a} + k \frac{q^2}{3a} + k \frac{q^2}{4a} + k \frac{q^2}{2a} + k \frac{q^2}{a} =$$

$$= 3k \frac{q^2}{a} + 2k \frac{q^2}{2a} + k \frac{q^2}{3a} = 4k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{3a} =$$

$$= k \frac{q^2}{a} \left( 4 + \frac{1}{3} \right) = \frac{13}{3} k \frac{q^2}{a}$$

$$W_{n1} = W_{n2} + k \cos \alpha$$

$$4k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a} \sqrt{2} = 4k \frac{q^2}{3a} + k \frac{q^2}{3a} + k \cos \alpha$$

$$k \cos \alpha = k \frac{q^2}{a} \left( \sqrt{2} - \frac{1}{3} \right)$$

$$1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \quad \frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$$

$$W_{n1} = 2k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a\sqrt{2}}$$

$$W_{n2} = k \frac{q^2}{a} + 4k \frac{q^2}{2a} + k \frac{q^2}{3a}$$

$$W_{n1} = W_{n2} + k_a$$

$$2k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{a\sqrt{2}} = k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{2a} + k \frac{q^2}{3a} + k_a$$

$$k_a = k \frac{q^2}{6a} + k \frac{q^2}{a\sqrt{2}}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

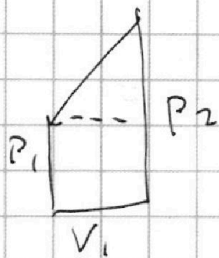
$$W_{2k} = W_{1k} = 2k \frac{q^2}{av^2} + k \frac{q^2}{av^2}$$

$$W_{2k} = 2k \frac{q^2}{a} + k \frac{q^2}{2a}$$

$$U_{ax} = U_{bx} = U_{px} = U_{sx} = U_{rx}$$

$$P_x = 0$$

$$4U_x = 0 \Rightarrow U_x = 0$$



$$\begin{aligned} S &= P_1 V_1 + \frac{(P_2 - P_1) V_1}{2} = \\ &= \frac{1}{2} P_1 V_1 + \frac{1}{2} P_2 V_1 = \frac{P_1 + P_2}{2} V_1 \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\eta = \frac{c - c_p}{c - c_v} = \dots$$