



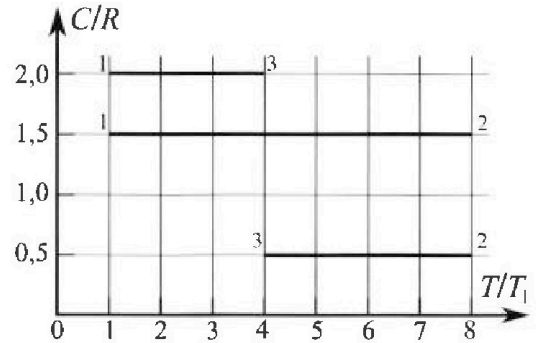
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

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



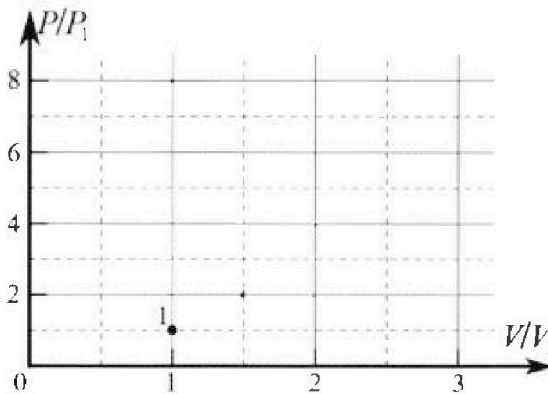
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3,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

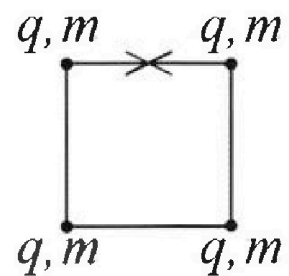
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

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.

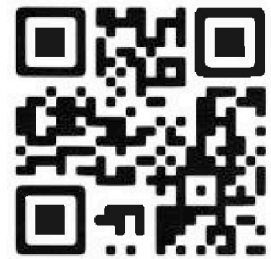




Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

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.

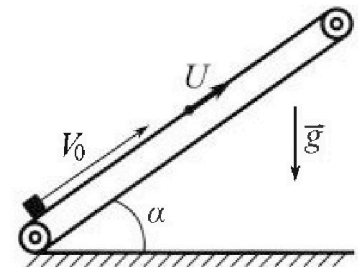
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/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.).

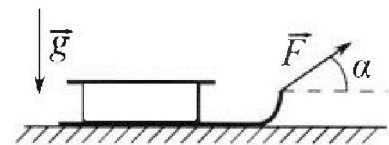
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

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.

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!

№1.

Дано:

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$L = 20 \text{ м};$$

$$H = 3,6 \text{ м};$$

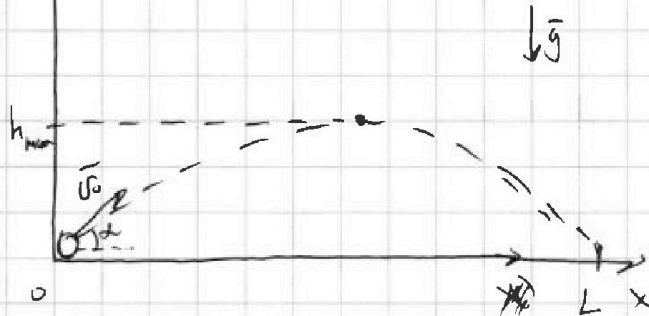
$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

1)  $v_0 = ?$

2)  $S = ?$

Решим:

1)  $y$



Рассмотрим движение шарика по осям  $Ox$  и  $Oy$ :

по оси  $Ox$ :  $L = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$  - уравнение равноускоренного движения.  
 $\perp Ox) \Rightarrow L = v_0 \cos \alpha t$ , где  $t$  - время влета шарика.  
где  $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ ,  $a_x = 0$  (так как  $\vec{g} \perp OX$ )

За это время  $t$  шарик успеет подняться на высоту  $h_{max}$  и спуститься с нее. Время подъема и спуска одинаково в силу симметрии траектории (веревочки)

$\Rightarrow t = 2t_{подъема}$ , где  $t_{подъема}$  - время подъема;

из уравнения движения в направлении  $Oy$ :  $y_0$

$$y_y = v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}, \text{ где } v_{0y} \text{ - начальная проекция скорости}$$

на  $Oy$  в конечный момент времени равно нулю,  $v_y = 0$ ;  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$ ;

$$a_y = -g \Rightarrow 0 = v_{0y} - g t_{подъема}; = v_0 \sin \alpha - g t_{подъема}$$

$$\Rightarrow \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = t_{подъема} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

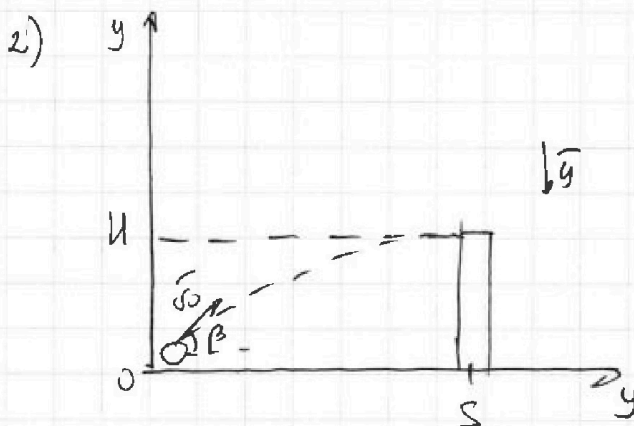
МФТИ

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



$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{Lg}{\sin 2\alpha}}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{22m \cdot 10^3 \cdot 9.8}{\sin(2 \cdot 45^\circ)}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^3}{1}} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$



Рассмотрим движение, где высота будет равна  $H$  и координата  $x$ .

Поэтому в данном случае:

$S = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_2$ , где  $t_2$  - время полета до земли;

по Oy:  $H = v_0 \sin \alpha \cdot t_2 - \frac{g t_2^2}{2}$ ;

где  $t_2 = \frac{S}{v_0 \cos \alpha} \Rightarrow H = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{S}{v_0 \cos \alpha} - \frac{g S^2}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha}$ ;

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

$H$  макс  $\rightarrow$   $\alpha$  наибольший угол  $\rightarrow$  по Oy:  $H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{\frac{2gH}{v_0^2}} \text{ и } t_{\text{полета}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = t_1$$

$$\Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{2gH}{v_0^2}} = \frac{\sqrt{v_0^2 - 2gH}}{v_0}$$

$$\Rightarrow S = \frac{v_0 \cdot \sqrt{2gH}}{g \cos \alpha} \cdot \sqrt{1 - \frac{2gH}{v_0^2}} = \frac{\sqrt{2gH(v_0^2 - 2gH)}}{g \cos \alpha}$$

Подставим значения скорости

$$S = \frac{32 \cdot 3}{10 \cdot \sqrt{2}} \text{ м}$$

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.

Дано:

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

$$v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\mu = 0,5;$$

$$T = 1 \text{ с};$$

$$U = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

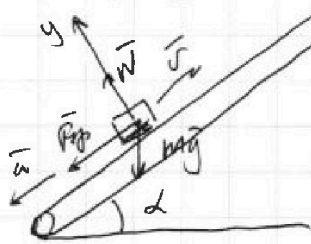
1)  $S = ?$

2)  $T_1 = ?$

3)  $L = ?$

Решение:

1) Вращательный момент:



(по  $T = 1 \text{ с}$ ), где  $\vec{v}$  — скорость центра масс;  $\vec{\omega}$  — угловая скорость вращения

или равен  $m\vec{g}$ , или нормаль-

ной реакции опоры  $\vec{N}$  и или

трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$  (ок оси

гравитации ускорения)

по II закону Ньютона:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}, \text{ т.к. } m\vec{g}, \vec{N} \text{ и } \vec{F}_{\text{тр}} \text{ в гравитационной плоскости, } \vec{a} - \text{полное ускорение}$$

или  $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}$ , т.к.  $m\vec{g}, \vec{N}$  и  $\vec{F}_{\text{тр}}$  в гравитационной плоскости,  $\vec{a}$  — полное ускорение

Реш.; запишем II закон Ньютона в проекциях на  $Ox$  и  $Oy$ :

на  $Oy$ :  $N + mgy + F_{\text{тр}y} = may$

$$N - mgy \cos \alpha = 0$$

$$\Rightarrow N = mgy \cos \alpha$$

на  $Ox$ :  $Nx + mgx + F_{\text{тр}x} = max$

$$-mgs \sin \alpha - F_{\text{тр}} = -ma \quad | \cdot (-1)$$

по закону Ампера - Кулона:  $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mgy \cos \alpha$

$$\Rightarrow mgs \sin \alpha - \mu mgy \cos \alpha = ma; \quad | : m$$

$$g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = a;$$

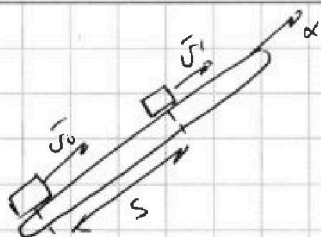
$\Rightarrow$  Запишем уравнение кинематического уравнения движения

гравитации на  $Ox$ :  $S_x = v_{0x}T + \frac{axT^2}{2}$  (за время  $T$ ), где



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!



$$S_x = S, \quad v_{0x} = v_0, \quad a_x = -a = -g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$$

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

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

$$\begin{aligned} \cos\alpha &= \sqrt{1 - \sin^2\alpha} \text{ (по известным значениям косинуса)} \\ &= \sqrt{1 - 0,36} = \sqrt{0,64} = 0,8 \end{aligned}$$

2) Рассмотрим второй опыт в СО земли, тогда

$v_{0\text{зем}} = v_0 - u$ , где  $v_{0\text{зем}}$  — скорость коробки относительно земли;

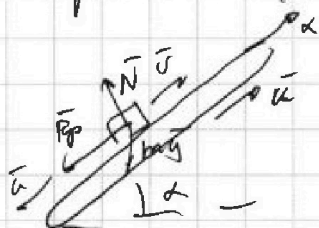
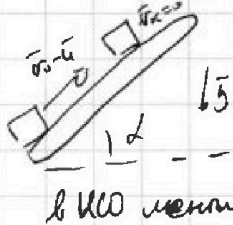
т.к. лента движется равномерно, система отсчета ленты инерциальна;

тогда если в лабораторной системе отсчета через время  $T_1$  скорость коробки достигнет  $v_{0\text{л}}$ , то относ. земле

$v_{0\text{к}} = u - u = 0$ , где  $v_{0\text{к}}$  — скорость коробки относ.

ленте через  $T_1$ , т.е. коробка достигнет относ. ленте

в СО земли. Рассмотрим силу, действующую на коробку в первом опыте. (в инерциальной системе).



т.к. лента движется равномерно, и нет ускорения,

$\Rightarrow a = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$  — акселерация (мгновенная);

тогда в инерциальной системе отсчета в СО лабораторной СО на оси  $x$ : (где коробка)

$$v_x = v_{0x} + a_x T_1 \text{ (обязательно при } t = T_1), \text{ где}$$

$$v_x = u; \quad v_{0x} = v_0; \quad a_x = -g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$$

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!

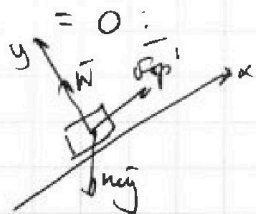


резу  $u = v_0 - g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{v_0 - u}{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}$

$T_1 = \frac{6 \frac{m}{s} - 1 \frac{m}{s}}{6 \frac{m}{s^2} (0,6 + 0,5 \cdot 0,8)} = 0,5 c$

3) Рассмотрим увеличение скорости во втором опыте:

из пункта 2 знаем, что до момента  $T_1$  коробка движется относительно ленты, в  $T_1$  останавливается относительно нее. Чтобы движение "закрепить" на ленте, ее нужно ускорить и сделать равномерным, ускорив всю ленту, действующую на коробку, ускорив



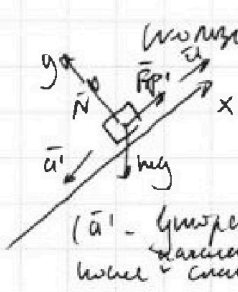
резу  $F_{тр}'$  - или трение покоя, ускорив ускорением  $a$  относительно  $Ox$ ; заметим, что  $F_{тр}' \leq \mu N \Rightarrow \mu g \cos \alpha = 0,5 mg \cdot 0,8 =$

$= 0,4 mg$

$\Rightarrow F_{тр}' \leq 0,4 mg$ ; во время нам  $mg \sin \alpha = mg \cdot 0,6 =$

$= 0,6 mg \Rightarrow F' - mg \sin \alpha = 0,4 mg - 0,6 mg \neq 0$  (Поэтому

Нельзя в процессе на  $Ox$ ) : реза коробка имеет ускорение вниз, а  $F_{тр}' = \mu N = 0,4 mg$  или сила трения



( $a'$  - ускорение ленте - равноленте)

По  $Oy$  закону Ньютона:

на  $Oy$ :  $N - mg \cos \alpha = 0$

$N = mg \cos \alpha \Rightarrow$  По закону действия-реакции

на  $Ox$ :  $-mg \sin \alpha + F_{тр}' = -ma'$

$\Rightarrow ma' = 0,6 mg - 0,4 mg = 0,2 mg$

$\Rightarrow a' = 0,2 g$

резу мы видим что ускорение увеличивается скорость на  $Ox$ :



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"/>

**МФТИ**

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

$$L_x = \frac{v_{x1}^2 - v_{x2}^2}{2a_x}, \text{ где } L_x = L; v_{x1} = u; v_{x2} = 0; a_x = -0,2g$$

$$\Rightarrow L_1 = \frac{0 - u^2}{-2 \cdot 0,2g} = \frac{u^2}{0,4g}$$

$L_1$  - расстояние которое она пройдет ускорением

$$L_2 = \frac{\left(\frac{1 \text{ м}}{2}\right)^2}{0,4 \cdot 10 \frac{\text{ м}}{\text{ с}^2}} = 0,125 \text{ м}$$

$$\Rightarrow L = L_1 + \frac{v_{x1}^2 + v_{x2}^2}{2} \cdot T_1$$

Ответ:  $S = 1 \text{ м}; T_1 = 0,5 \text{ с}; \sqrt{v_{x1}^2 + v_{x2}^2} = 1 \text{ м/с}; L = 2 \text{ м}$ ;  $1^{\text{го}}$  ускорением  $0,2g$  движение

$$\frac{u + v_0}{2} T_1 = \frac{1 \frac{\text{ м}}{\text{ с}} + 0 \frac{\text{ м}}{\text{ с}}}{2} \cdot 0,5 \text{ с} = 0,125 \text{ м}$$

$$\Rightarrow L = 0,125 \text{ м} + 1,875 \text{ м} = 2 \text{ м}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

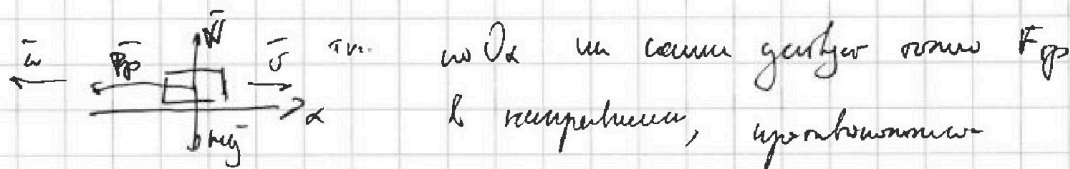
решение которой представлено на странице:

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!

На шпильке, к которой сила  $F$  направлена горизонтально и сверху, она находится горизонтально:



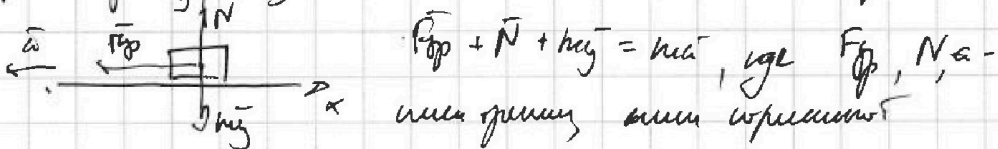
и не имеет горизонтальной составляющей, следовательно,  $F_{tr} = F \cos \alpha$  и  $F_{tr} = \mu N$ , где  $\mu$  - коэффициент трения,  $N$  - сила реакции опоры;

и можно найти горизонтальную составляющую

приведенной кинетической энергии  $K = \frac{mv^2}{2}$ , где  $v$  - скорость

тела на пути торможения  $\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}}$

Рассмотрим  $y$  и  $x$  законы Ньютона после начала торможения:



$F_{tr} + N + mg = ma$ , где  $F_{tr}$ ,  $N$  - силы реакции опоры,  $a$  - ускорение

решим систему и ускорение после начала торможения:

$$\text{По } y: N - mg = 0 \Rightarrow N = mg;$$

$$\text{По } x: -F_{tr} = -ma, \text{ по закону Ньютона - Кулона}$$

$$F_{tr} = \mu N = \mu mg = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} mg$$

$$\Rightarrow \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \mu mg = ma \Rightarrow a = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} g$$

из кинематических уравнений движения (равноускоренное движение) найдем  $S$ :

$$\text{по } x: S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}, \text{ где } S_x = S; v_{0x} = 0 \text{ (исходно)}$$

$$v_{0x} = 0; a_x = -\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} g$$

$$\Rightarrow S = \frac{-v^2}{2 \cdot \left(-\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}\right) g} = \frac{K}{(1 - \cos \alpha) \mu g}$$

$$\text{Ответ: } 1) \mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}; 2) S = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) \mu g}$$

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. Печата QR-кода недопустима!



№3.

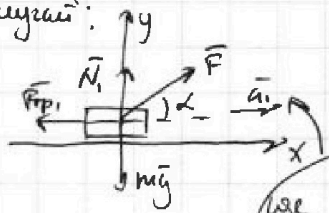
Дано:  
 $g; K; L; \alpha$  - углы  
 $F_1 = F_2 = AF$

- 1)  $\mu = ?$   
 2)  $S = ?$

Решение:

1) для удобства обозначим кинематическое состояние  $F$   
 в обоих случаях (т.е. сам элемент не смещается)

1 случай:



По закону сохранения кинетической энергии

$$\Delta E_k = \sum A_{F_{\text{внешн}}}$$

$\alpha$  - угол между силой  $F$  и направлением движения  
 $F_{fr}$  - сила трения в том направлении  
 $N_1$  - сила реакции опоры в том направлении  
 $mg$  - сила тяжести

т.е. вычислим кинетическую энергию работ всех сил; т.к.  $N_1$  и  $mg$   $\perp$  направлению движения, их работа = 0,  $\Rightarrow \Delta E_k = AF + AF_{fr}$

$$\Delta E_k = E_{k \text{ конечн}} - E_{k \text{ началн}}, \text{ в начале } E_{k \text{ началн}} = 0$$

$$\Rightarrow \text{т.к. } E_{k \text{ конечн}} = K$$

$$\Delta E_k = K - 0 = K$$

$$\Rightarrow K = AF + AF_{fr}$$

$AF = F \cdot L \cdot \cos \alpha$  (т.к.  $F$  - постоянна), где  $L$  - путь, пройденный при действии силы  $F$  на элемент;

$$AF_{fr} = F_{fr} \cdot L \cdot \cos 180^\circ = -F_{fr} L, \text{ где } F_{fr} \text{ - постоянна, т.к. } F_{fr} \text{ - постоянна.}$$

то будем вычислять:

т.к.  $F$  кинематическое состояние тела изменилось,

у него будет ускорение при действии  $F$ :

По II закону Ньютона  $\sum F_x = ma$ ; т.е.  $Oy$ :

$$N_1 - mg + F \cdot \sin \alpha = 0 \Rightarrow N_1 = mg - F \sin \alpha$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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



по Ох:  $F \cos \alpha - F_{sp1} = ma_1$

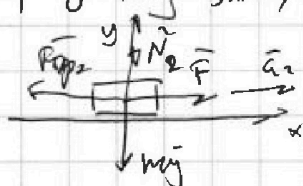
По закону Ампера - Вульвица  $F_{sp1} = \mu N_1 = \mu (mg - F \sin \alpha)$

$\Rightarrow F_{sp1}$  - неизвестно

$\Rightarrow A_{sp1} = -\mu (mg - F \sin \alpha) L_1$

$\Rightarrow K = F \cos \alpha L_1 - \mu (mg - F \sin \alpha) L_1 = L_1 (F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha)$

по 2-му закону:



где  $F_{sp2}$  - сила трения в 2-ом узле;  
 $N_2$  - сила реакции опоры в 2-ом узле;  
 $a_2$  - ускорение в 2-ом узле;

По II закону Ньютона:

$\vec{F}_{sp2} + \vec{N}_2 + \vec{F} + m\vec{g} = m\vec{a}_2$

На Oy:  $N_2 - mg = 0$

$\Rightarrow N_2 = mg$

На Ox:  $F - F_{sp2} = ma_2$ ; по закону Ампера - Вульвица  $F_{sp2} = \mu N_2 =$

$= \mu mg$  - известная величина

$\Rightarrow$  известна 1-ый узел  $K = A_1 + A_{sp2}$

$A_1 F = F \cdot L_2 \cdot \cos \alpha$ , где  $L_2$  - высота призмы или  $L_2$  - высота узла;  
 $= F \cdot L_2$

$A_{sp2} = F_{sp2} \cdot L_2 \cdot \cos \alpha = -\mu mg L_2$

$\Rightarrow K = F L_2 - \mu mg L_2$ , где высота узла обозначена,  $L_1 = L_2$

$K = L_1 (F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha) = L_2 (F - \mu mg)$

$F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = F - \mu mg$

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

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!

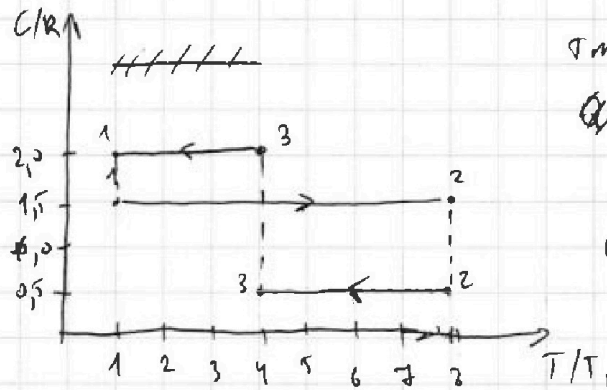


№4.

Дано:  $v = 1 \text{ мкс}$   
 $i = 3$   
 $T_1 = 200 \text{ К}$   
 $R = 3,31 \frac{\text{Дж}}{\text{мм} \cdot \text{К}}$

- 1)  $A_{31} - ?$
- 2)  $\eta = ?$
- 3)  $P/P_1 (V/V_1)$

Решение:



Тк. в процессе

1, 2, 2, 3, 3, 1

C - постоянная,

изменяется Q и W

изменяется излучением:

$$Q_{12} = \nu C_{12} (T_2 - T_1), \text{ где } C_{12} = 1,5R \text{ (из процесса)}, T_2 = 8T_1$$

$$\Rightarrow Q_{12} = \nu \cdot 1,5R \cdot (8T_1 - T_1) = 10,5 \nu R T_1, \text{ - тепло излучения}$$

$$Q_{23} = \nu C_{23} (T_3 - T_2), \text{ где } C_{23} = 0,5R, T_3 = 4T_1 \text{ (из процесса)}$$

$$\Rightarrow Q_{23} = \nu \cdot 0,5R (4T_1 - 8T_1) = -2 \nu R T_1, \text{ - тепло}$$

облучения;

$$Q_{31} = \nu C_{31} (T_1 - T_3), \text{ где } C_{31} = 2R, T_3 = 4T_1 \text{ (из процесса)}$$

$$Q_{31} = \nu \cdot 2R (T_1 - 4T_1) = -6 \nu R T_1, \text{ - тепло}$$

теплота;

Рассмотрим  $\Delta U$  газа излучением излучения:

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R \cdot 7T_1 = 10,5 \nu R T_1$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} \nu R (4T_1 - 8T_1) = \frac{3}{2} \nu R \cdot (-4T_1) =$$

$$= -6 \nu R T_1$$

$$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - 4T_1) = -4,5 \nu R T_1$$

$$= -4,5 \nu R T_1$$

Пока по первой формуле определим работу

$$\text{процесса } 3-1: Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} \Rightarrow A_{31} = Q_{31} - \Delta U_{31} = -6 \nu R T_1 + 4,5 \nu R T_1 = -1,5 \nu R T_1$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи.

решение которой представлено на странице:



1	2	3	4	5	6	7
<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!

$$\Rightarrow A_{31, \text{расч}} = -A_{31} = 1,5 \sqrt{RT_1}$$

$$A) A_{31, \text{расч}} = 1,5 \cdot 1 \text{ мм} \cdot 3,31 \frac{\text{Па}}{\text{км}} \cdot 200 \text{ К} = 2493 \text{ Па}$$

$$\eta_{\text{группы}} = \frac{\Sigma A}{Q_n} = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$$

$$-Q_x = Q_{23} + A_{31} \quad (\text{уже считали отбрасывали})$$

$$Q_n = Q_{12}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{группы}} = \eta = 1 - \frac{-(Q_{23} + A_{31})}{Q_{12}} = 1 + \frac{Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} = 1 + \frac{(-2\sqrt{RT_1} - 6\sqrt{RT_1})}{10,5\sqrt{RT_1}}$$

$$= 1 - \frac{8\sqrt{RT_1}}{10,5\sqrt{RT_1}} = \frac{10,5 - 8}{10,5} = \frac{2,5}{10,5} = \frac{5}{21}$$

Найдем работу  $A_{12}$ ,  $A_{23}$  из первого нашего термодинамического уравнения:

уравн 1-2:  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$   
 $10,5\sqrt{RT_1} = 19,5\sqrt{RT_1} + A_{12} \Rightarrow A_{12} = 0$

$\Rightarrow$  процесс изохорный / изобарный / адиабатный  
по закону Менделеева - Клапейрона газ при 1-2

$$P_2 V_2 = \nu R T_2 = 8\sqrt{RT_1}, \text{ вместе со уравн } T_1$$

$$P_1 V_1 = \nu R T_1 \Rightarrow P_2 V_2 = 8 P_1 V_1; \text{ так } V_1 - \text{const газ}$$

процесс 1-2  $\Rightarrow P_2 = 8 P_1$  (так  $V_2 = V_1$ )

уравн 2-3:  $Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23}$

$$\Rightarrow -2\sqrt{RT_1} = -6\sqrt{RT_1} + A_{23}$$

$$\Rightarrow A_{23} = 4\sqrt{RT_1} - \text{процесс изотермический,}$$

$$\text{так } A_{23} > 0;$$

по закону Менделеева - Клапейрона газ при 1-3:

$$P_3 V_3 = \nu R T_3 = 4\sqrt{RT_1} = 4 P_1 V_1$$

Все изотермические взаимодействия группы газов для газа

$$A_{123} = A_{12} + A_{23} + A_{31} = 0 + 4\sqrt{RT_1} + 1,5\sqrt{RT_1} = 5,5\sqrt{RT_1} = 2,5 P_1 V_1$$



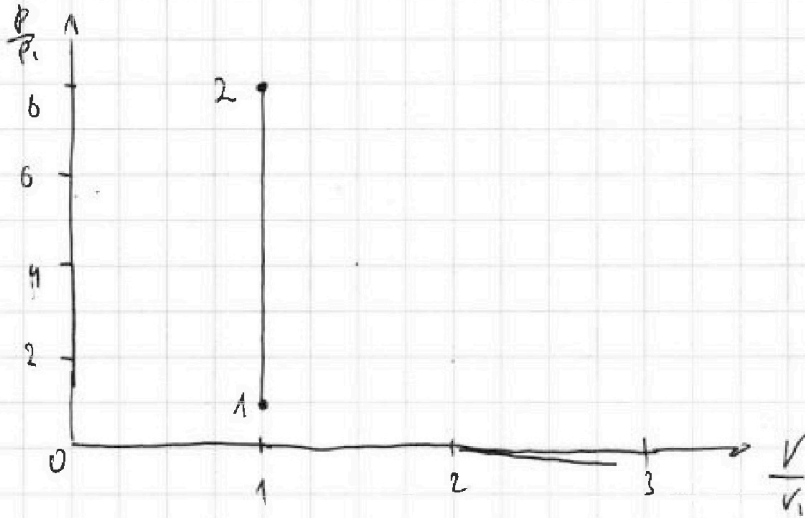
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!



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 checked="" 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!



№5.

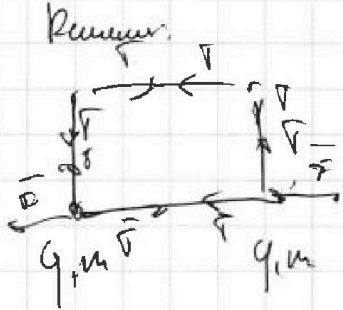
Дано:

$$\Gamma, \mu, \epsilon_0$$

$$|q| = ?$$

$$k = ?$$

$$d = ?$$



$$F = \Gamma$$
$$F = \frac{k|q|^2}{\epsilon_0 d^2} = \Gamma$$
$$\Rightarrow |q| = \sqrt{\frac{\epsilon_0 d^2 \Gamma}{k}}$$

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!

Handwritten solution on grid paper for a physics problem involving a block on an inclined plane and a spring.

**Diagram:** A block of mass  $m$  is on an inclined plane at an angle  $\alpha$ . A spring with stiffness  $k$  is attached to the block and the incline. The block is at a distance  $L$  from the spring's rest position. The spring is compressed by  $x$ . The block's velocity is  $v$ .

**Equations and Calculations:**

- Force balance along the incline:  $F_{\text{spring}} - mg \sin \alpha = ma$
- Energy conservation:  $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 - mgL \sin \alpha = 0$
- Condition for maximum velocity:  $\frac{d}{dx} \left( \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 - mgL \sin \alpha \right) = 0$
- Result:  $x = \frac{mg \sin \alpha}{k}$
- Final velocity:  $v = \sqrt{2gL \sin \alpha \left( 1 - \frac{mg \sin \alpha}{kL} \right)}$

**Additional notes:**

- Force vector diagram showing  $\vec{v}$ ,  $\vec{F}_V = \frac{1}{2}R$ ,  $\frac{C_0}{C} = \omega$ ,  $\frac{331}{2493} + \frac{3}{2493}$
- Power calculations:  $P_1 = 60 \text{ W}$ ,  $P_2 = 30 \text{ W}$ ,  $P_3 = 30 \text{ W}$
- Spring constant:  $k = 9 \text{ N/m}$
- Work done by spring:  $A_{\text{spring}} = -\frac{1}{2}kx^2$
- Work done by gravity:  $A_{\text{gravity}} = mgL \sin \alpha$
- Final velocity:  $v = \sqrt{2gL \sin \alpha}$