



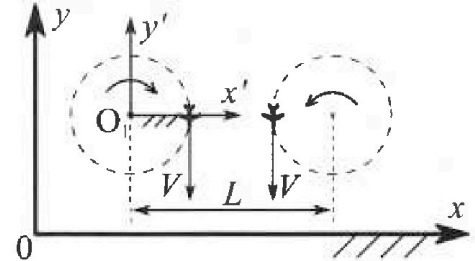
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 10-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Во время выполнения пилотажного упражнения два самолёта летят в горизонтальной плоскости с одинаковыми по модулю скоростями  $V = 60 \text{ м/с}$  (см. рис.) по окружностям одинакового радиуса  $R = 360 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

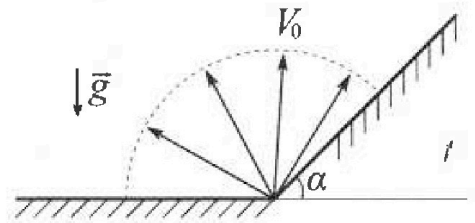


1. На сколько  $\delta$  процентов сила тяжести, действующая на каждого летчика, меньше его веса?

В некоторый момент времени самолёты оказались на прямой, проходящей через центры окружностей, в положении максимального сближения. Расстояние между центрами окружностей  $L = 1,8 \text{ км}$ . Вектор скорости каждого самолёта показан на рисунке.

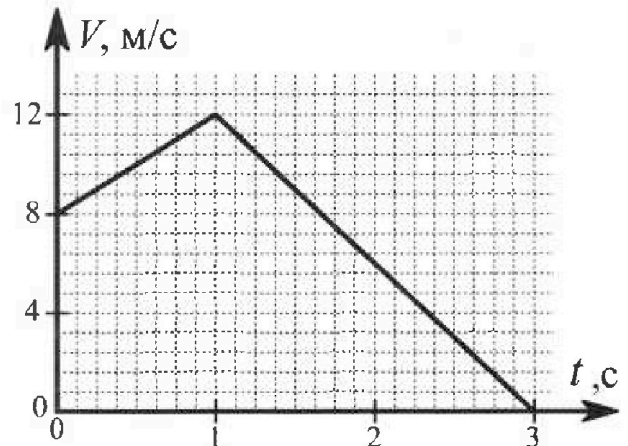
2. Найдите в этот момент скорость  $\vec{U}$  второго (правого на рис.) самолёта во вращающейся системе отсчёта  $x'O_1y'$ , связанной с первым (левым на рис.) самолётом. В ответе укажите модуль и направление вектора  $\vec{U}$ .

2. Плоская поверхность склона образует с горизонтом угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,8$ . У подножья склона разрывается фейерверк. Осколки летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по модулю скоростями. Наибольшая высота полета одного из осколков  $H = 45 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.



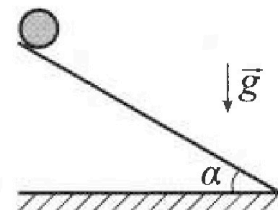
1. Найдите начальную скорость  $V_0$  осколков.  
2. На каком максимальном расстоянии  $S$  от точки старта упадет осколок на склон?

3. В первом опыте на шероховатую наклонную плоскость кладут шайбу и сообщают шайбе начальную скорость. Шайба движется по плоскости, сталкивается с упором, отскакивает от него и продолжает движение по плоскости. Часть зависимости модуля скорости шайбы от времени представлена на графике к задаче. Движение шайбы происходит вдоль одной и той же прямой. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



1. Найдите  $\sin \alpha$ , здесь  $\alpha$  – угол, который наклонная плоскость образует с горизонтом.

Во втором опыте с той же наклонной плоскости скатывается без проскальзывания тонкостенная однородная цилиндрическая бочка, полностью заполненная водой. Начальная скорость нулевая. Масса воды в  $n = 3$  раза больше массы бочки. Упор удален с наклонной плоскости. Воду считайте идеальной жидкостью. Масса торцов бочки пренебрежимо мала.



2. С какой по величине скоростью  $V$  движется бочка в тот момент, когда горизонтальное перемещение бочки равно  $S = 1 \text{ м}$ ?  
3. Найдите ускорение  $a$ , с которым движется бочка.  
4. При каких величинах коэффициента  $\mu$  трения скольжения бочка катится без проскальзывания?

Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2024

Вариант 10-03

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



4. В изохорическом процессе к смеси идеальных газов гелия и кислорода подводят  $Q = 960$  Дж теплоты. Температура смеси увеличивается на  $\Delta T_1 = 48$  К. Если к той же смеси подвести то же самое количество теплоты в изобарическом процессе, то температура смеси повысится на  $\Delta T_2 = 30$  К.

1. Найдите работу  $A$  смеси газов в изобарическом процессе.
2. Найдите теплоемкость  $C_V$  смеси в изохорическом процессе.
3. Найдите отношение  $\frac{N_{Г}}{N_{К}}$  числа атомов гелия к числу молекул кислорода в смеси.

Указание: внутренняя энергия двухатомного газа кислорода  $U = \frac{5}{2}PV$ .

5. Частица с удельным зарядом  $\gamma = \frac{q}{m} > 0$  движется между обкладками плоского конденсатора. Конденсатор заряжен, расстояние между обкладками  $d$ . В некоторый момент частица движется со скоростью  $V_0$  параллельно обкладкам на расстоянии  $d/8$  от положительно заряженной обкладки. Радиус кривизны траектории в этот момент времени равен  $R$ .

1. Найдите напряжение  $U$  на конденсаторе.

Через некоторое время после вылета из конденсатора частица пересекает серединную плоскость конденсатора (плоскость, равноудаленную от обкладок).

2. С какой по величине скоростью  $V$  движется в этот момент частица?

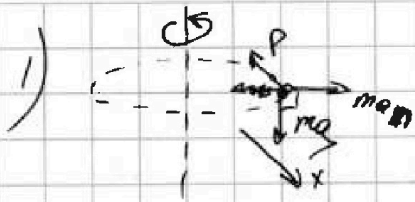
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 из 1

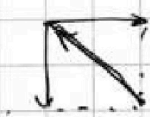
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Переходим в вращающуюся систему отсчета самолета:

23-н Н для НУСО ~~по оси x~~:  $P = m\vec{a} + m\vec{a}_n$

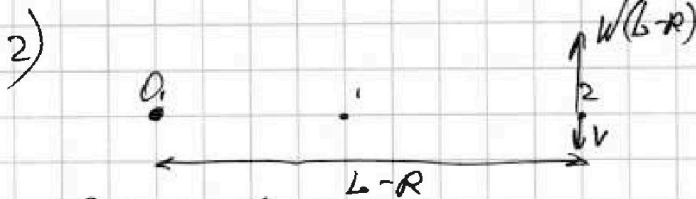
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{3600}{360} = 10 \text{ м/с}^2 \quad (-x)$$



$$\text{УП: } P = \sqrt{(ma)^2 + (ma_n)^2} = \sqrt{2} \cdot ma$$

$$P = \sqrt{2} ma = \frac{100 + b}{100} ma \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b = 100 \cdot \frac{(\sqrt{2}-1)}{1.875}$$



В ~~в~~ вращ. системе отсчета то, по собственной системе отсчета

$$0 \Rightarrow WR - v = 0 \Rightarrow W = \frac{v}{R}$$

$$\text{Ср. сб } 25^\circ; u_{\text{ср}} = W(L-R) - v = v \frac{L}{R} - 2v = 60(5-2) = 180 \text{ м/с}$$

Ответ:  $b = 100(\sqrt{2}-1)\%$ ;  $u = 180 \text{ м/с}$  вверх (согласованно с  $\vec{Oy}$ )



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

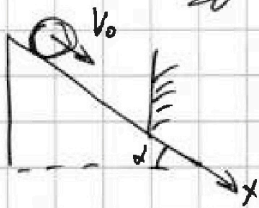
1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

3. 1) Точка, как выводится шайба:

Ось  $x$  параллельна в момент времени  $t=1$  с (т.к. много больше, чем можно вызвать перемену угла в градусе ( $\alpha=5$  град)) следовательно шайба движется вниз в промежутке времени от  $0$  до  $1$  с с  $\frac{1}{2}$  касательной скоростью  $V_0$  вниз параллельной (т.к.  $V(t)$  возрастает)

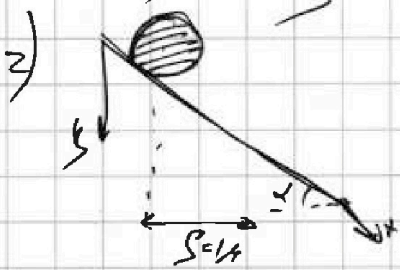


скорость  $V_0$  - нач. ск-сть ( $8$  м/с)

$V_1$  - ск-сть в  $1$  с ( $=12$  м/с)

$t$  - время ( $=1$  с)

$$V_x(t) = V_0 + at \cdot \sin \alpha = V_1 \Rightarrow \sin \alpha = \frac{V_1 - V_0}{at} = \frac{2}{5} \Rightarrow$$



$h$  - высота, на которую поднялась шайба, когда прошла  $S=1$  м

тогда  $h = t a \cdot S$

Закон сохранения энергии ( $A_{тр} = 0$  и  $A_{внешних сил} = 0$ ):

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g \cdot t a \cdot S}$$

3) Шайба движется вдоль касат. кр-ты по действующей силе тяжести  $\Rightarrow a = g \sin \alpha$

(т.к. обр-т у.н. говорит, что  $ma_{у.н} = \sum F_i = mg \sin \alpha$ )



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

4) Перейдем в ~~не~~ ~~инерциальную~~ инерциальную систему отсчета, связанную с центром (осью) бочки

23-н  $N$  в центре.  $O$  — ось бочки

ос.  $N$  по оси  $x$   $mg \cos \alpha - N = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$

ос.  $mg \sin \alpha + F_{тр} - N = 0$

условие отсутствия проскальзывания:  $F_{тр} > \mu N$

~~$mg \sin \alpha > \mu mg \cos \alpha$~~

4) Перейдем в неинерциальную систему отсчета, связанную с центром бочки (ускорение  $a$ )

условие отсутствия проскальзывания:  $F_{тр} > \mu N > F_{тр}$

$\mu \cdot mg \cos \alpha > mg \sin \alpha$

$$\mu > \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

$$\mu > \tan \alpha$$

Отв.  $\alpha = \arctan\left(\frac{2}{5}\right)$ ;  $V = \sqrt{2gS \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2}{5}}$  ;

$$a = \frac{2g}{5}; \mu > \sqrt{\frac{2}{21}}$$



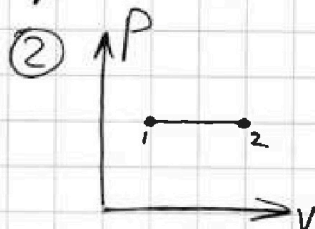
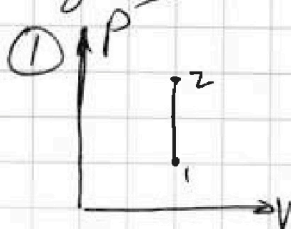
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

Напишите на графике  $P(V)$  2 этих процесса:



Запишите для обоих случаев 1е начало термодинамики

$$\textcircled{1}: Q = \Delta U + A = (A_{\text{под граф}} - A_{\text{над граф}} = 0) = \Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = \left(\frac{5}{2}V_1 + \frac{3}{2}V_2\right) R \Delta T_1$$

(число 1 - нач. во время расширения; 0, 2 - число)

$$\textcircled{2} Q = \Delta U + A = \Delta U_1 + \Delta U_2 + A_1 + A_2 = \left(\frac{5}{2}V_1 + \frac{3}{2}V_2\right) R \Delta T + (V_1 - V_2) R \Delta T = \left(\frac{4}{2}V_1 + \frac{5}{2}V_2\right) R \Delta T_2$$

$$\textcircled{1} \textcircled{2}: \left(\frac{5}{2}V_1 + \frac{3}{2}V_2\right) R \Delta T_1 = \left(\frac{4}{2}V_1 + \frac{5}{2}V_2\right) R \Delta T_2$$

$$5V_1 \Delta T_1 + 3V_2 \Delta T_1 = 4V_1 \Delta T_2 + 5V_2 \Delta T_2$$

$$V_1 (4\Delta T_2 - 5\Delta T_1) = V_2 (3\Delta T_1 - 5\Delta T_2)$$

$$A_1 = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) = (V_1 + V_2) R \Delta T$$

$$Q_1 = V_1 = V_2 \cdot \frac{3\Delta T_1 - 5\Delta T_2}{4\Delta T_2 - 5\Delta T_1} = V_2 \cdot \frac{6}{30} = \frac{1}{5} V_2$$

~~$$2) Q = \left(\frac{5}{2}V_2 + \frac{4}{2}V_1\right) R \Delta T_2 = \frac{35+5}{2} V_2 R \Delta T_2 = 20 V_2 R \Delta T_2 \Rightarrow$$~~

~~$$\Rightarrow Q = C_{\text{пл}} \Delta T (V_1 + V_2) = 6 C_{\text{пл}} \Delta T V_1 \Rightarrow C_{\text{пл}} = \frac{20}{6} R$$~~

~~$$1) Q = \left(\frac{3}{2}V_2 + \frac{5}{2}V_1\right) R \Delta T_1 = \frac{3+25}{2} V_1 R \Delta T_1 = 14 V_1 R \Delta T_1$$~~

~~$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) = (V_1 + V_2) R \Delta T_2 = 6 V_1 R \Delta T_1$$~~

$$\Rightarrow A = Q \frac{3}{7}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
2 ИЗ 2

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$$3) \frac{N_T}{N_K} = \frac{V_2}{V_1} = 5$$

~~$$Q_{\text{обс}} = A = Q \cdot \frac{3}{5} =$$~~

$$1) Q = \left( \frac{5}{2} V_2 + \frac{3}{2} V_1 \right) R_{\Delta T_1} = \frac{5+15}{2} R_{\Delta T_1} \cdot V_1 = 10 R V_1 \Delta T$$

$$A = \frac{1}{2} S_{\text{поверх}} = P(K - V_1) \frac{1}{4} (V_2 + V_1) R_{\Delta T_1} = 6 V_1 R_{\Delta T}$$

$PV = 1KT$

$$A = \frac{3}{5} Q$$

$$2) Q = \left( \frac{5}{2} V_2 + \frac{3}{2} V_1 \right) R_{\Delta T_2} = C_{\text{ст}} \Delta T_2 \cdot (V_1 - V_2) = 6 V_1 C_{\text{ст}} \Delta T$$
~~$$\frac{5}{2} V_2 + \frac{3}{2} V_1$$~~

$$\left( \frac{5 \cdot 5}{2} V_1 + \frac{3}{2} V_1 \right) R_{\Delta T_2} = 16 R_{\Delta T_2}$$

$$C_{\text{ст}} = \frac{8}{3} R$$

$$3) \frac{N_T}{N_K} = \frac{V_2}{V_1} = 5$$

$$Q_{\text{обс}}: A = \frac{3}{5} Q = 576 \text{ Дж}; C_{\text{ст}} = \frac{8}{3} R; \frac{N_T}{N_K} = 5$$

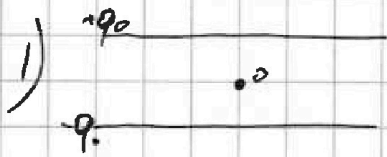
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Поэтому поле равно нулю:  
 $k \cdot \sigma \cdot R = E$

$$|E_q| = |E_{\sigma}| = 2\pi \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0}{S} = \frac{q_0}{2\epsilon_0 S} \Rightarrow E = \frac{q_0}{\epsilon_0 S}$$

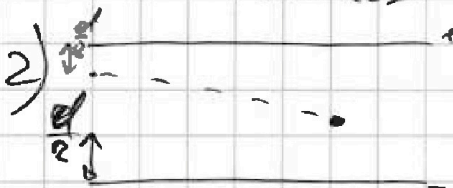


ЗЗ-НН:  $m \cdot a_n = E \cdot q$ ,  $a_n = \frac{v_0^2}{R}$

$$q = X \cdot m \Rightarrow m \cdot \frac{v_0^2}{R} = E \cdot X - m$$

$$E = \frac{v_0^2}{R \cdot X}$$

$$U = \int_{x_1}^{x_2} E \cdot dx = \int_{R-X}^R \frac{d q_0}{\epsilon_0 S} = d \cdot E = \frac{d v_0^2}{R \cdot X}$$



ЗСЗ:  $W_1 + E_{k1} = W_2 + E_{k2} \Rightarrow$

$$E_{k2} = W_1 - W_2 + E_{k1}$$

$$\frac{m v_2^2}{2} = \left(\frac{q}{8} - \frac{1}{2}\right) \frac{d q_0}{\epsilon_0 S} + \frac{m v_0^2}{2} = \frac{3}{8} \frac{d v_0^2}{R \cdot X} + \frac{m v_0^2}{2}$$

$$v_2^2 \cdot m = \frac{3}{8} \frac{d v_0^2}{R \cdot X} + m v_0^2 \Rightarrow v_2 = v_0 \sqrt{\frac{3}{4} \frac{d}{R \cdot q} + 1}$$

Ответ:  $U = \frac{d v_0^2}{R \cdot X}$ ;  $v_2 = v_0 \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \frac{d}{R \cdot q} + 1}$ .



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



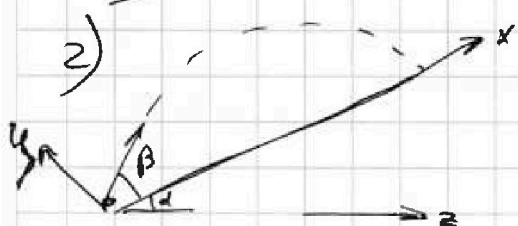
1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 1

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

1) Закон сохранения энергии ( $\Delta E_{кин}$  и  $\Delta E_{пот}$  н.к.е.):

$$mgh = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{2g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gh}$$



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

$$y(t) = 0 = v_0 \sin \alpha t - \frac{g}{2} t^2 \cos \alpha / 2$$

$$t (v_0 \sin \alpha - \frac{g}{2} t \cos \alpha) = 0$$

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

$$x(t) = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g \cos \alpha} - \frac{g \sin \alpha}{2} \cdot \frac{4v_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2 \cos^2 \alpha} =$$

$$= \frac{2v_0^2}{g \cos \alpha} (\sin \alpha \cos \alpha - \sin^2 \alpha \sin \alpha) = \frac{2v_0^2}{g \cos \alpha} \sin \alpha \cdot \cos(2-\alpha)$$

$$S = \frac{v_0^2}{g \cos^2 \alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \cos(2-\alpha) \leftarrow \text{max при } \alpha = 45 - \frac{1}{2}$$

$$S = \dots$$

Ответ:  $v_0 = \sqrt{2gh} = 30 \text{ м/с}; S = \dots$

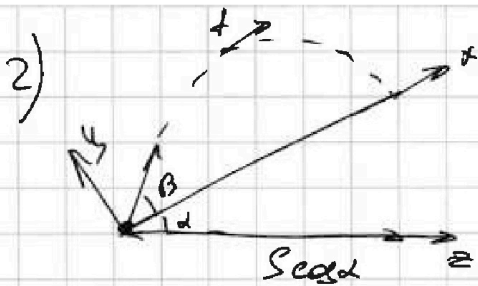
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.



1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
из

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



$$x(t) = V_0 \cos \beta t - \frac{g \sin^2 t}{2} = S$$

$$y(t) = V_0 \sin \beta t - \frac{g t^2 \cos^2}{2} = 0$$

$$2g t \left( -\frac{g t \cos^2}{2} + V_0 \sin \beta \right) = 0$$

$$t = \frac{2V_0 \sin \beta}{g \cos^2}$$

$$x(t) = V_0 \cos \beta \cdot \frac{2V_0 \sin \beta}{g \cos^2} - \frac{g \sin^2}{2} \cdot \frac{4V_0^2 \sin^2 \beta}{g^2 \cos^4} = S$$

$$\frac{2V_0^2 \cos \beta \sin \beta}{g \cos^2} - \frac{2V_0^2 \sin^2 \beta \sin^2}{g \cos^2} = S$$

$$\frac{2V_0^2 \cos \beta \sin \beta}{g \cos^2} - \frac{2V_0^2 \sin^2 \beta \sin^2}{g \cos^2} = \frac{2V_0^2 (\sin \beta \cos \beta \cos^2 - \sin^2 \beta \sin^2)}{g \cos^2}$$

$$= \frac{2V_0^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{g \cos^2} \Rightarrow \frac{2V_0^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{g \cos^2} = S$$

$$\frac{2V_0^2 \cdot \sin \beta \cdot \cos(\alpha + \beta)}{g \cos^2} = S$$

$$\max_{\beta} \sin \beta \cos(\alpha + \beta) = 45 - \frac{1}{2}$$

$$V_{y(t)} = V_0 \sin \beta - g \cos^2 t = 0 \Rightarrow t = V_0 \frac{\sin \beta}{g \cos^2} \quad T = 2t$$

$$\sin \beta = \sin \left( 45 - \frac{1}{2} \right) = \sin 45 \cos \frac{1}{2} - \cos 45 \sin \frac{1}{2}$$

$$S \cos \alpha = V_0 \sin \beta - \frac{g T^2}{2}$$

Ответ:



На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_ ИЗ \_

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

$v_x(t) = v_0 + a_{\text{ср}} t = v_1$   
 $\cos \alpha = \frac{v_1 - v_0}{g t} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$

$v(t) = \int a_{\text{ср}} dt = \frac{g \sin \alpha}{2} t^2 \Rightarrow t = \frac{2 v \cos \alpha}{g \sin \alpha}$   
 $\sqrt{2} = 1 + \frac{100}{\sqrt{2} - 1}$

$v_x(t) = g \sin \alpha$   
 $4 m a h = \frac{4 m v_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 h g}$

$F_{\text{сп}} \geq \sum F_{\text{об}} = m g (1 + \sin \alpha)$   
 $Q = \left(\frac{4}{2} v_1 + \frac{5}{2} v_2\right) R \Delta T_1 = \left(\frac{5}{2} + \frac{3}{2}\right) R \Delta T_2$

$A = p(v_2 - v_1) = (p_1 + p_2)(v_2 - v_1)$   
 $\cancel{v p_1} = \cancel{v p_2} \quad A = p_1 v_1 + p_2 v_2 = p_1(v_2 - v_1) + p_2(v_2 - v_1)$   
 $\sqrt{R(T - \Delta T)} - v_1 R T + v_2 R(T - \Delta T) - v_2 R T =$   
 $= (v_1 + v_2) R \Delta T$

ИМ:  $Q = \Delta U + A = \frac{5}{2} v_1 R \Delta T + \frac{3}{2} v_2 R \Delta T + (v_1 - v_2) R \Delta T$   
 $\left(\frac{4}{2} v_1 + \frac{5}{2} v_2\right) R \Delta T_2 = Q$

$Q = C_p R \Delta T = \left(\frac{5}{2} v_1 + \frac{3}{2} v_2\right) R \Delta T$

$Q_4 = \frac{q t}{R}$   
 $E = U/d =$

$\frac{v_1 v_2}{2} = \frac{2 S \cos \alpha \cdot g}{2}$

150 - 144  
 $\begin{array}{r} 132 \\ \times 3 \\ \hline 546 \end{array}$

5.