



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

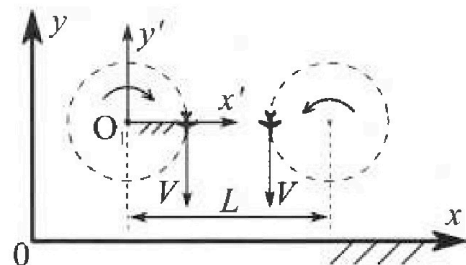
Вариант 10-03

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 $V = 60$ м/с (см. рис.) по окружностям одинакового радиуса $R = 360$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

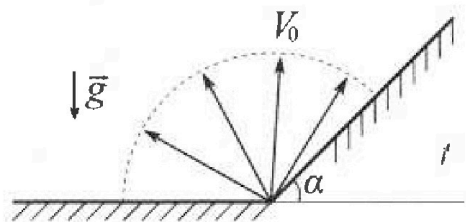
1. На сколько δ процентов сила тяжести, действующая на каждого летчика, меньше его веса?



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

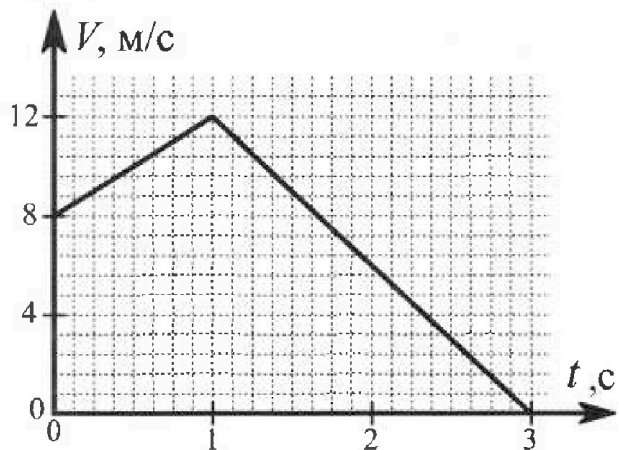
2. Найдите в этот момент скорость $\vec{U}$ второго (правого на рис.) самолёта во вращающейся системе отсчёта $x'O_1y'$, связанной с первым (левым на рис.) самолётом. В ответе укажите модуль и направление вектора $\vec{U}$.

2. Плоская поверхность склона образует с горизонтом угол α 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 $H = 45$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². 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?

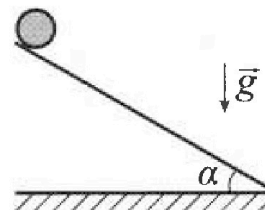
3. В первом опыте на шероховатую наклонную плоскость кладут шайбу и сообщают шайбе начальную скорость. Шайба движется по плоскости, сталкивается с упором, отскакивает от него и продолжает движение по плоскости. Часть зависимости модуля скорости шайбы от времени представлена на графике к задаче. Движение шайбы происходит вдоль одной и той же прямой. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



1. Найдите $\sin \alpha$, здесь α – 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 $S = 1$ м?
3. Найдите ускорение a , с которым движется бочка.
4. При каких величинах коэффициента μ 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 $\frac{N_{He}}{N_K}$ 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?

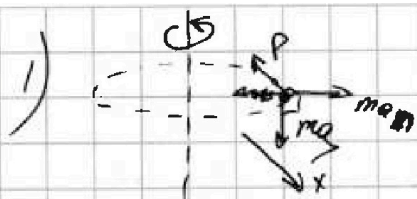


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 из 1

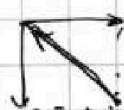
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!



Переходим в вращающуюся систему отсчета Φ самолета:

23-й Н для НИСО ~~по условию~~: $\vec{P} = m\vec{a} + m\vec{a}_n$

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

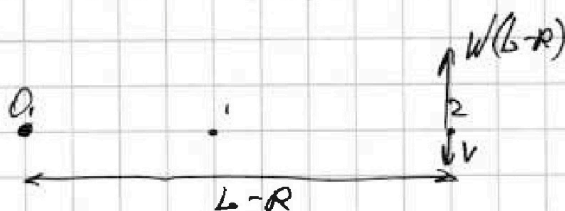


$$\text{ТТТ: } P = \sqrt{(mg)^2 + (ma_n)^2} = \sqrt{2} \cdot mg$$

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

$$\Rightarrow b = 100 \cdot \frac{(\sqrt{2} - 1)}{1.88}$$

2)



В вращ. системе отсчета, по собственной системе отсчета

$$0 \Rightarrow W(R) - V = 0 \Rightarrow W = \frac{V}{R}$$

$$\text{Ср. тб } 250; \quad u_{\text{тб}} = W(L-R) - V = V \frac{L}{R} - 2V = 60(5-2) = 180 \text{ м/с}$$

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



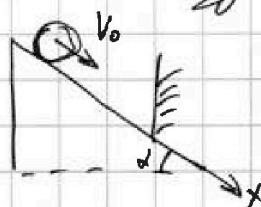
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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) По какому закону движется шайба:

Ось x направлена вправо. В момент времени $t=1$ с (т.к. много балов не могу выдать, поэтому в условии $g=10$ м/с²) следовательно шайба движется вниз в положительном направлении от 0 с 1 с с $\frac{1}{2}g$ касательной скоростью V_0 вниз (т.к. $V(t)$ возрастает)

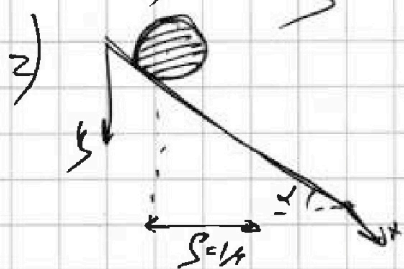


нач. V_0 - кас. ск-сть (8 м/с)

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

t - время ($=1$ с)

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



h - высота, на которую спускается бочка, когда пройдено $S=1$ м

$$\text{тогда } h = t g \alpha \cdot S$$

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

$$m g h = \frac{m V^2}{2} \Rightarrow V = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 g S t g \alpha}$$

3) бочка движется вдоль касательной по действующей силе тяжести $\Rightarrow a = g \sin \alpha$

$$(\text{по второму закону Ньютона, что } m a_{\text{кас}} = \sum F_{\text{кас}} = m g \sin \alpha)$$



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 инерциальную систему отсчета, связанную с центром (осью) бочки~~

~~Запишем 23-й и 4-й законы Ньютона для бочки на склоне.~~

~~Ось: $N - mg \cos \alpha - F_{тр} = 0 \Rightarrow N = mg \cos \alpha$~~

~~Ось: $mg \sin \alpha - F_{тр} = 0$~~

~~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: $F_{тр} > \mu N > F_{тр}$

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

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

$$\mu > \tan \alpha$$

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

$$Q = \frac{2g}{5}; \mu > \sqrt{\frac{2}{5}}.$$



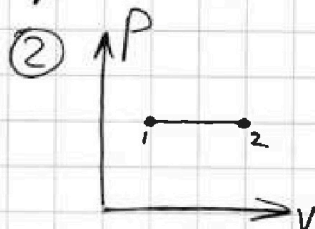
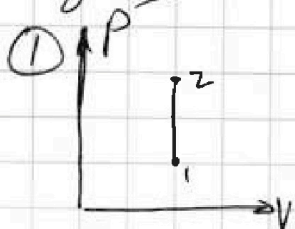
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

СТРАНИЦА
1 ИЗ 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!

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



Запишите для обоих случаев 1-е начало термодинамики

①: $Q = \Delta U + A = (A_{\text{под графиком}} - A_{\text{над графиком}} = 0) = \Delta U =$
 $= \Delta U_1 + \Delta U_2 = \left(\frac{5}{2} V_1 + \frac{3}{2} V_2\right) R \Delta T_1$ (число 1 - к-во степеней свободы; 0, 1, 2 - число)

② $Q = \Delta U + A = \Delta U_1 + \Delta U_2 + A_1 + A_2 =$
 $= \left(\frac{5}{2} V_1 + \frac{3}{2} V_2\right) R \Delta T_1 + (V_1 - V_2) R \Delta T_2 =$
 $= \left(\frac{4}{2} V_1 + \frac{5}{2} V_2\right) R \Delta T_2$

①②: $\left(\frac{5}{2} V_1 + \frac{3}{2} V_2\right) R \Delta T_1 = \left(\frac{4}{2} V_1 + \frac{5}{2} V_2\right) R \Delta T_2$

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

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

~~$A_1 = \text{под графиком} = P(V_2 - V_1) = (V_1 + V_2) R \Delta T$~~

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

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

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

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

~~$A = \text{под графиком} = P(V_2 - V_1) = (V_1 + V_2) R \Delta T_2 = 6 V_1 R \Delta T_1$~~

$\Rightarrow A = Q^{\frac{3}{4}}$



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) $\frac{N_r}{N_k} = \frac{V_2}{V_1} = 5$~~

~~Реш: $A = Q \cdot \frac{3}{5} =$~~

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

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

$PV = 1KT$

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

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

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

$$C_{\text{пл}} = \frac{8}{3} R$$

$$3) \frac{N_r}{N_k} = \frac{V_2}{V_1} = 5$$

$$\text{Реш: } A = \frac{3}{5} Q = 576 \text{ Дж}; C_{\text{пл}} = \frac{8}{3} R; \frac{N_r}{N_k} = 5$$

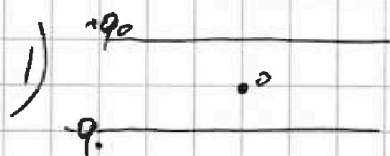


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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:
 $k \cdot q_0 \cdot l = E$

$$|E_q| = |E_k| = 2\pi \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0}{l} = \frac{q_0}{\epsilon_0 l} \Rightarrow E = \frac{q_0}{\epsilon_0 l}$$

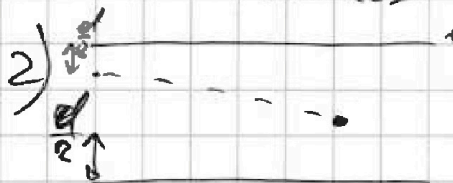


ЗЗ-Н: $m \cdot a_n = E \cdot q$, $a_n = \frac{v_0^2}{R}$

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

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

$$U = \int \frac{dq_0}{\epsilon_0 l} = d \cdot E = \frac{d v_0^2}{R \cdot \lambda}$$



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

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

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

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



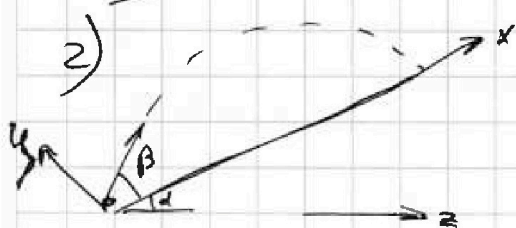
1	2	3	4	5	6	7
☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐

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.):

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



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

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

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

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

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

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

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

$$S = \dots$$

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



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!

2)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

max при $\beta = 45 - \frac{1}{2} \Rightarrow S$

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

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

$$S_{\text{max}} = V_0 \sin \beta - \frac{g T^2}{2}$$

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!

$V_x(t) = V_0 + g \cos \alpha \cdot t = V_1$
 $\cos \alpha = \frac{V_1 - V_0}{g t} = \frac{4}{10} = \frac{2}{5}$

$V(t) = \int \frac{g \cos \alpha}{2} dt \Rightarrow t = \frac{2 V \cos \alpha}{g \sin \alpha}$
 $\sqrt{2} = 1 + \frac{100}{100} \Rightarrow \sqrt{2} - 1$

$V_x(t) = \frac{g \sin \alpha}{2} t^2$
 $V_0 = \sqrt{2 h g}$

$F_{\text{сп}} \geq \sum F_{\text{боло}} = m g (1 + \sin \alpha)$
 $Q = \left(\frac{4}{2} V_1 + \frac{5}{2} V_2 \right) R \Delta T_1 = \left(\frac{5}{2} + \frac{3}{2} \right) R \Delta T_2$

$A = p(V_2 - V_1) = (p_1 - p_2)(V_2 - V_1)$
 $A = p_1(V_2 - V_1) + p_2(V_1 - V_2)$
 $V_1 R(T - \Delta T) - V_1 R T + V_2 R(T - \Delta T) - V_2 R T =$
 $= (V_1 - V_2) R \Delta T$

$1 \text{ МТ: } Q = \Delta U + A = \frac{5}{2} V_1 R \Delta T + \frac{3}{2} V_2 R \Delta T + (V_1 - V_2) R \Delta T$
 $\left(\frac{4}{2} V_1 + \frac{5}{2} V_2 \right) R \Delta T_2 = Q$
 $Q = C_p R \Delta T = \left(\frac{5}{2} V_1 + \frac{3}{2} V_2 \right) R \Delta T$

$Q_k = \frac{q + \frac{V^2}{2}}{R}$
 $E = q/d$

$\frac{V_1 V_2}{2} = \frac{2 S \cos \alpha \cdot g}{2}$

$150 - 144 = 6$
 $\begin{array}{r} 132 \\ \times 3 \\ \hline 396 \end{array}$

$\frac{RT}{5}$

$\frac{V_0}{V_k}$