



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

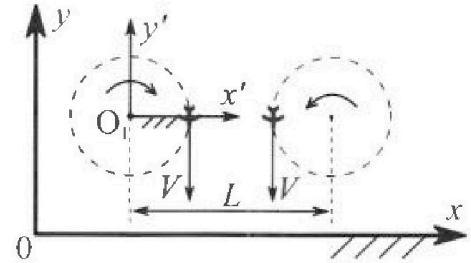
Вариант 10-03

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.

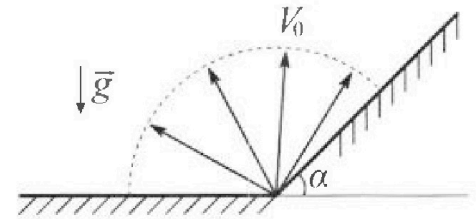
- *1. На сколько δ процентов сила тяжести, действующая на каждого летчика, меньше его веса?



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

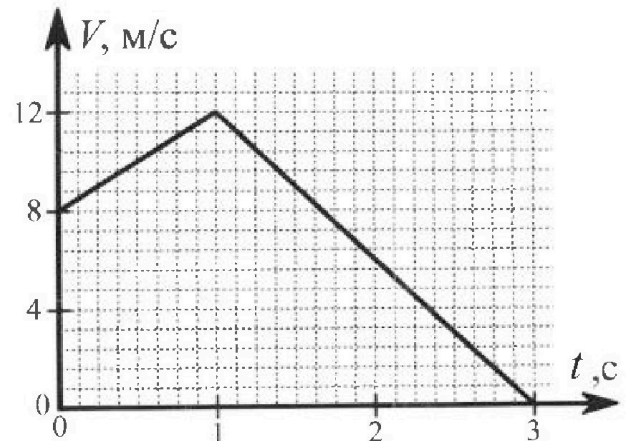
- 2. Найдите в этот момент скорость \vec{U} второго (правого на рис.) самолёта во вращающейся системе отсчёта $x'O_1y'$, связанной с первым (левым на рис.) самолётом. В ответе укажите модуль и направление вектора \vec{U} .

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.



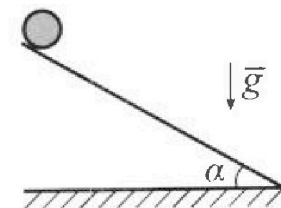
- *1. Найдите начальную скорость V_0 осколков.
*2. На каком максимальном расстоянии S от точки старта упадет осколок на склон?

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 $\frac{N_{He}}{N_{O_2}}$ 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?

$$a = \frac{k\gamma q}{(\frac{1}{8}d)^2} = \frac{k\gamma q^2}{(\frac{1}{8}d)^2}$$

$$F = \frac{kq^2}{r^2}$$

$$a = k\gamma \cdot \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{8} \frac{dq}{d}$$

$$dq = \sigma dx \quad v = \sqrt{\frac{2}{3}d+x}$$

$$d = k\gamma \sigma \int \frac{dx}{\sqrt{\frac{2}{3}d+x}}$$

$$\frac{v_0^2}{R} = \frac{k\gamma}{d^2} \frac{q^2 + 4q\sigma x}{\sigma}$$

$$q\sigma = \frac{v_0^2}{R} \cdot \frac{d^2 \sigma^2}{k\gamma \cdot 1.50}$$

$$U = \frac{32}{125} \frac{v_0^2 d^2}{Rk}$$



1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
1 из 1

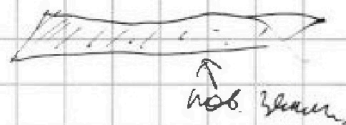
Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Страницы по каждой из задач нумеруются отдельно. Порча QR-кода недопустима!

а) а.с. напр. к центру вращ., \Rightarrow

сам движется в горизонт. напр.,



то а.с. горизонтальна $\Rightarrow \perp g$



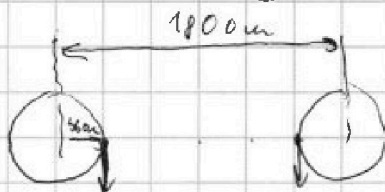
$$a_2 = \sqrt{a_{ц.с.}^2 + g^2} (= \vec{a}_{ц.с.} + \vec{g})$$

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_2 = \sqrt{\frac{v^4}{R^2} + g^2} = \sqrt{\frac{604}{560^2} + 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}^2$$

$$P = \text{вес} = m a_2 \quad F_{\text{тр}} = mg \Rightarrow \delta = \frac{P - F_{\text{тр}}}{P} = \frac{a_2 + g}{a_2} = \frac{\sqrt{2} - 1}{\sqrt{2}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,3 = 30\%$$

а) СО 1 самолета вращается

$$\text{ошн. } O_1 \text{ с } \omega = \frac{v}{R}$$



Тогда неподвижная точка в этой СО

~~находится~~ в точке 2 самолета

движется с $v_0 = \omega \cdot x$, x — расстояние от O_1 до

2 самолета $= \frac{v}{R} \cdot (h - R) = 4v$, эта скорость

направлена в $-y'$, т.к. v напр. туда же.

тогда в этой СО скорость 2 $= v_2 = 4v - v_2$

$= 3v$, направлена по $+y'$

Ответы: $\delta \approx 30\%$, $v_2 = 180 \text{ м/с}$, в напр. $+y'$



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) Заменить на колесо F_{TP} условием

момент сил $\Rightarrow m a = F_{TP} = 4 m g \mu \cos \alpha$

$$\mu = \frac{a}{4 g \cos \alpha} = \frac{4 g \sin \alpha}{5 g \cos \alpha} = \frac{4 g \alpha}{5}$$

Это критический случай ($F_{TP} = M \mu$) \Rightarrow

при $\mu \geq \frac{4 g \alpha}{5}$ колеса будут вращаться и катиться.

Ответы: 1) $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ 2) $v = \frac{4}{\sqrt{3}} \sqrt{2 m c}$

3) $a = \frac{4}{5} g \sin \alpha$ 4) $\mu \geq \frac{4 g \alpha}{5}$

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

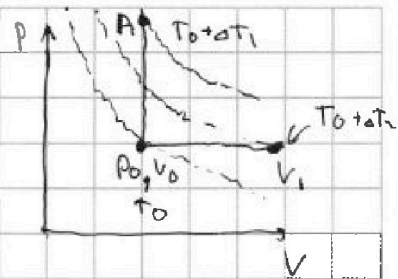
СТРАНИЦА
1 ИЗ 1

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!

$$1) Q = A + \Delta U \quad U = \frac{1}{\gamma} \int p dV, \quad A = \int p dV$$

В изохорном процессе $dV = 0 \Rightarrow A = 0$

$$Q = \Delta U = \frac{1}{\gamma} \int p dV$$



$$pV = \int p dV \Rightarrow \begin{cases} p_0 V_0 = \int p dV \\ p_0 V_1 = \int p dV \end{cases} \quad p_0(V_1 - V_0) = \int p dV = Q = \Delta U$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{1}{\gamma} \int p dV + \int p dV$$

Пусть ν_r - число ν_k - число степеней свободы $i_r = 3$ $i_k = 5$

$$Q = (\nu_r \cdot \frac{3}{2} + \nu_k \cdot \frac{5}{2}) R \Delta T_1 \quad (\nu_r \cdot \frac{3}{2} + \nu_k \cdot \frac{5}{2}) = \frac{Q}{R \Delta T_1}$$

$$Q = (\nu_r \cdot \frac{3}{2} + \nu_k \cdot \frac{5}{2}) R \Delta T_2 + \int p dV$$

$$Q = Q \cdot \frac{R \Delta T_2}{R \Delta T_1} + \int p dV \Rightarrow \int p dV = Q \left(1 - \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)$$

$$A = Q \left(1 - \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right) = 960 \cdot \left(1 - \frac{30}{48}\right) = \frac{960 \cdot 18}{48} = 360 \text{ Дж}$$

$$A = (\nu_r + \nu_k) R \Delta T_2 \quad \nu_r + \nu_k = \frac{A}{\Delta T_2 \cdot R}$$

$$Q = (\nu_r \cdot \frac{3}{2} + \nu_k \cdot \frac{5}{2}) R \Delta T_1 \quad 3(\nu_r + \nu_k) + 2\nu_k = \frac{2Q}{R \Delta T_1}$$

$$\Delta T_2 \cdot \nu_k \cdot C_V = Q \Rightarrow \frac{A}{\Delta T_2 \cdot R} \cdot \Delta T_2 \cdot C_V = Q \quad C_V = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \cdot R \cdot \frac{Q}{A}$$

$$C_V = R \cdot \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \cdot \frac{Q}{A} = R \cdot \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1 - \Delta T_2} = \frac{5}{3} R$$

$$\frac{3A}{\Delta T_2 \cdot R} + 2\nu_k = \frac{2Q}{R \Delta T_1} \quad \nu_k = \frac{1}{R} \left(\frac{Q}{\Delta T_1} - \frac{3A}{2 \Delta T_2} \right) = \frac{1}{R} \cdot (20 - 18) = \frac{2}{R}$$

$$\nu_r + \nu_k = \frac{360}{30 \cdot R} = \frac{12}{R} \quad \nu_r = \frac{12}{R} - \frac{2}{R} = \frac{10}{R} \quad \frac{\nu_r}{\nu_k} = \frac{10}{2} = 5$$

Ответы: 1) $A = 360 \text{ Дж}$ 2) $C_V = \frac{5}{3} R$ 3) $\frac{\nu_r}{\nu_k} = 5$



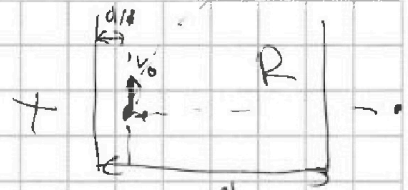
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!

$$\frac{v^L}{R} = a \cdot b \cdot c \Rightarrow F = \frac{k q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow a = \frac{k \delta q}{v^L}$$



$$a_{\Sigma} = k \delta \cdot \int \frac{dq}{r^2} \quad dq = \sigma dx, \text{ где } \sigma - \text{плотность заряда}$$

$$a_{\Sigma} = k \delta \cdot \int \frac{dq}{r^2} \quad a_{\Sigma} \text{ суммарная}$$

$$= k \delta \cdot \frac{1}{\delta} \int \frac{dx}{(x^2 + (\frac{1}{\delta} d)^2)^{3/2}} \quad t = (x^2 + (\frac{1}{\delta} d)^2)^{1/2} \quad dt = dx$$

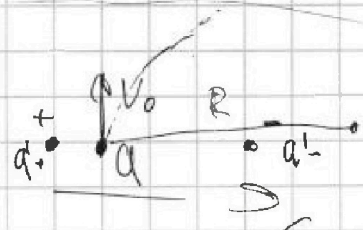
$$S = \int_{-L}^{+L} \frac{1}{t^3} dt = -\frac{t^{-2}}{2} \Big|_{-L}^{+L} = -\frac{2}{\sqrt{x^2 + (\frac{1}{\delta} d)^2}} \Big|_{-L}^{+L} \Rightarrow$$

⇒ а создаваемое \ominus направлено вправо к центру стержня

$$= k \delta \cdot \frac{1}{\delta} d \cdot 4\delta$$

$$\text{Аналогично } a_{\Sigma} = \frac{k \delta \cdot \frac{1}{\delta} d \cdot 4\delta}{\sqrt{L^2 + (\frac{1}{\delta} d)^2}}$$

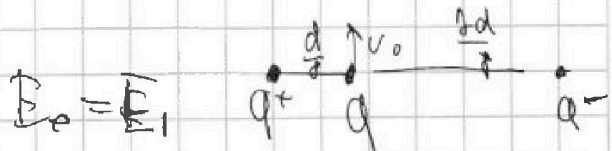
$$F_x = \frac{k q q'}{(\frac{1}{\delta} d)^2} \quad F_{+x} = \frac{k q q'}{(\frac{1}{\delta} d)^2}$$



$$\frac{v^L}{R} = \frac{k \delta}{d^2} \cdot \frac{q^L + 4q d}{4^L / \delta^2} \Rightarrow U = \frac{v_0^2 \cdot d^2 \cdot \delta^2}{R \cdot R \cdot 4^L \cdot \delta^2} \geq \frac{3L}{1005} \cdot \frac{v_0^2 d L}{R k}$$

$$E_0 = \frac{q a^+ k}{\delta} + \frac{q a^- k}{\delta} + \frac{m v_0^L}{L}$$

$$E^1 = \frac{q a^+ k}{L} + \frac{q a^- k}{d} + \frac{m v^L}{L}$$



$$E_0 = E_1 \quad \frac{\delta a k}{d} (a^+ + a^-) + \frac{a}{2\delta} v_0^L = \frac{2a k}{d} (a^+ + a^-) + \frac{m v_0^L}{L}$$

$$\frac{2a k}{d} (a^+ + a^-) + \frac{m v_0^L}{L} = \frac{2a k}{d} (a^+ + a^-) + \frac{m v_0^L}{L}$$

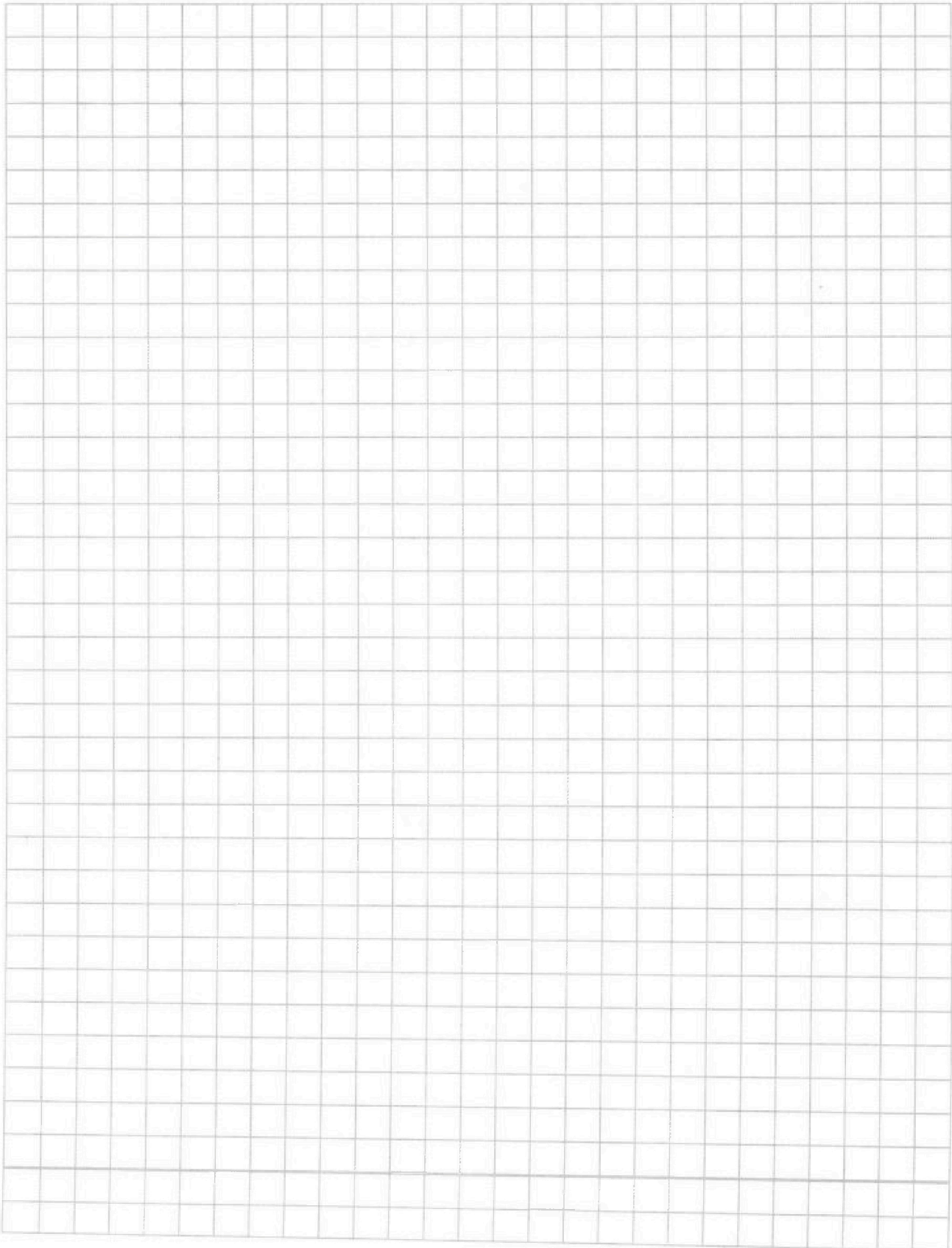


На одной странице можно оформлять **только одну задачу**. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



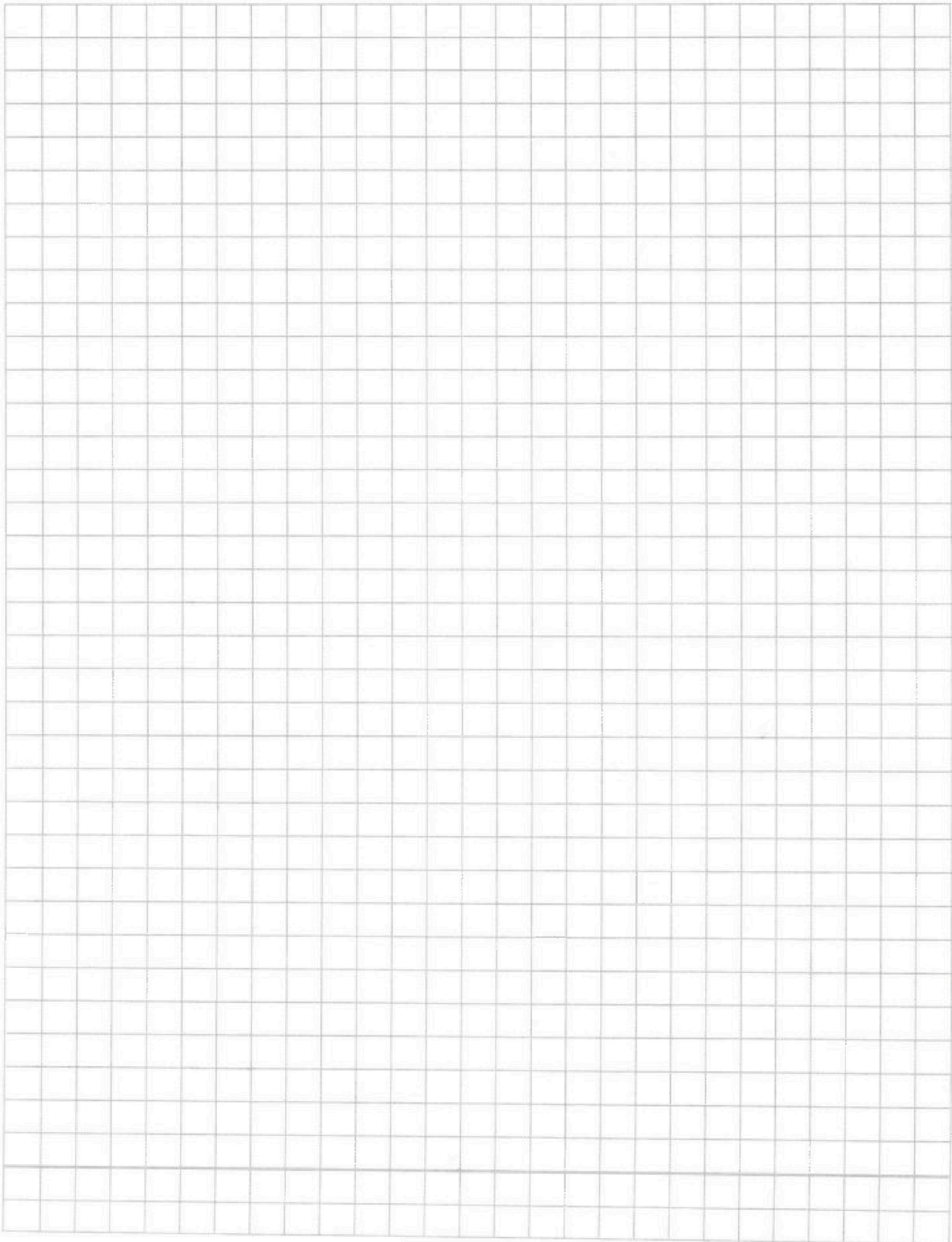


На одной странице можно оформлять **только одну** задачу. Отметьте **крестиком** номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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

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!





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
0 ИЗ 0

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!

Зачи: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv_1^2}{2}$ $m = 0.5 \text{ kg}$ $v_1 \geq 0$

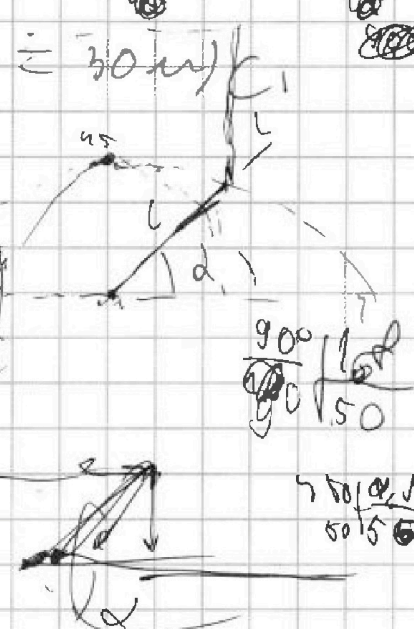
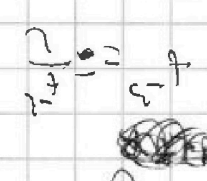
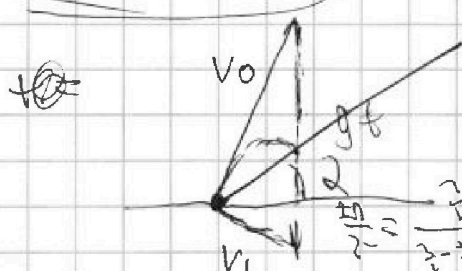
e) $h = \frac{v_0^2}{2g}$

$v_0 = \sqrt{2gH_{\text{max}}} = 30 \text{ m/s}$

$l = 2H - l \sin \alpha$

$l = \frac{2h}{1 + \sin \alpha}$

$l = 5 \text{ m}$



$v_1 = v_0 \cos \alpha$

$g l \sin \alpha = v_0^2 = v_1^2$

$v_0^2 - g l \cos \alpha = v_1^2$

$\frac{g t^2}{2} = \frac{h}{\sin \alpha}$

$h = \frac{g t^2}{2} \sin \alpha$

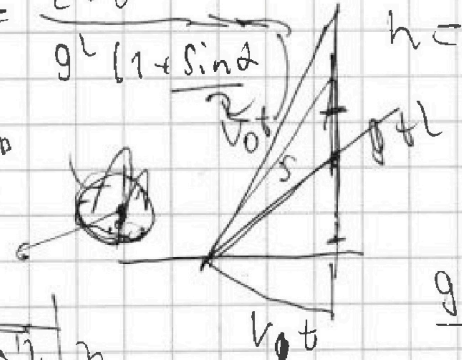
$g l \sin \alpha = v_0^2 = v_1^2$

$g l (1 + \sin \alpha) = 2 v_0^2$

$t^2 = \frac{2 v_0^2}{g (1 + \sin \alpha)}$

$h = \frac{v_0^2 \sin \alpha}{g (1 + \sin \alpha)} = \frac{45^2 \cdot 0.8}{10 \cdot 1.8} = 112.5 \text{ m}$

$v_1 = v_0 \cos \alpha$



$\frac{g t^2}{2} = s$

$g^2 t^2 = v_0^2 + v_1^2$

$g l (1 + \sin \alpha) = v_0^2$

$\frac{g t^2}{2} = s$ $g s = \frac{v_0^2}{1 + \sin \alpha}$

$\frac{g}{2} t^2 = s$ 5 m/s

$s = \frac{2gh}{1 + \sin \alpha}$

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
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!

$$a_1 = g \sin \alpha = \frac{F_{ip}}{m}$$

$$10 \times 10 = 9d + 15$$

$$x = 5$$



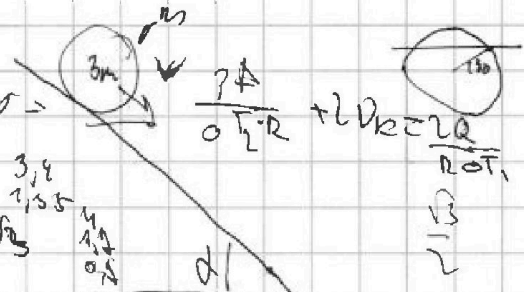
$$\frac{5}{3} = \frac{3}{2}d + \frac{5}{2} \cdot 1.6 = g \sin \alpha + \frac{F_{ip}}{m}$$

$$a_1 = 4 \text{ m/s}^2 \quad a_2 = 6 \text{ m/s}^2$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \text{tg } \alpha \text{ } \text{ос. к правому}$$

$$(a_1 + a_2) = 2g \sin \alpha \quad 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ m/s}^2 \cdot \sin \alpha \quad \sin \alpha = \frac{1}{2}$$

$$3m v dv + m r d\omega + m r^2 d\omega = \text{tg } \alpha \cdot m g \sin \alpha dt$$



$$5 \text{ m/s}^2 = g \sin \alpha$$

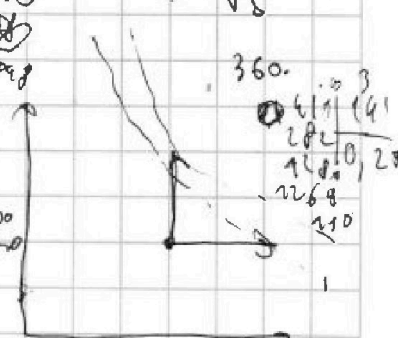
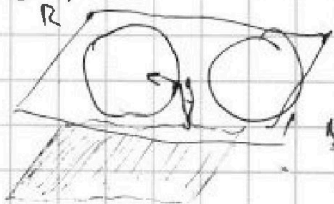
$$a = \frac{486 \sin \alpha}{5}$$

$$\frac{v^2}{2} \cdot \cos \alpha = S$$

$$v = 1.8 \text{ m/s}$$

$$\frac{v^2}{2a} \cos \alpha = S$$

$$v = \sqrt{\frac{2aS}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8g \sin \alpha \cdot S}{5 \cos \alpha}} = \sqrt{\frac{8gS}{5 \sqrt{3}}} = \sqrt{\frac{16}{\sqrt{3}}}$$



$$\frac{mv^2}{2} + \frac{m\omega^2 r^2}{2} = 2mgs$$

$$v\omega = \frac{1}{R} \cdot \frac{360}{48} = \frac{360}{192}$$

$$v^2 = \frac{8gS}{5\sqrt{3}}$$

$$a = \frac{360}{30} = 12$$