



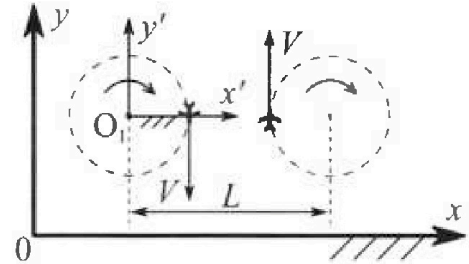
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

## Вариант 10-01

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  $V = 80 \text{ м/с}$  (см. рис.) по окружностям одинакового радиуса  $R = 800 \text{ м}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

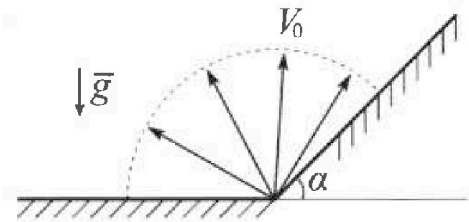


1. На сколько  $\delta$  процентов вес каждого летчика больше силы тяжести, действующей на летчика?

В некоторый момент времени самолёты оказались на прямой, проходящей через центры окружностей, в положении максимального сближения. Расстояние между центрами окружностей  $L = 2 \text{ км}$ . Вектор скорости каждого самолёта показан на рисунке.

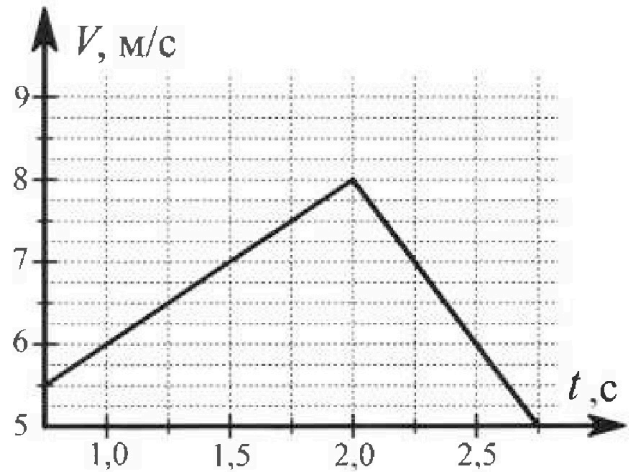
2. Найдите в этот момент скорость  $\vec{U}$  второго (правого на рис.) самолёта во вращающейся системе отсчёта  $x'O_1y'$ , связанной с первым (левым на рис.) самолётом. В ответе укажите модуль и направление вектора  $\vec{U}$ .

2. Плоская поверхность склона образует с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . У подножья склона разрывается фейерверк. Осколки летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по модулю скоростями. Наибольшая продолжительность полета одного из осколков  $T = 9 \text{ с}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.



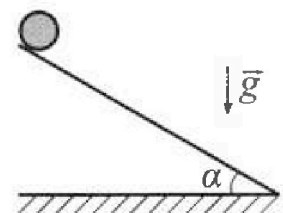
1. Найдите начальную скорость  $V_0$  осколков.
2. На каком максимальном расстоянии  $S$  от точки старта упадет осколок на склон?

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 равна массе бочки. Упор удален с наклонной плоскости. Воду считайте идеальной жидкостью. Масса торцов бочки пренебрежимо мала.



2. С какой по величине скоростью  $V$  движется бочка после перемещения по вертикали на  $h = 0,3 \text{ м}$ ?
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 10-01

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби  
и радикалы.



4. В изохорическом процессе к смеси идеальных газов гелия и кислорода подводят  $Q = 600$  Дж теплоты. Температура смеси увеличивается на  $\Delta T_1 = 15$  К. Если к той же смеси подвести то же самое количество теплоты в изобарическом процессе, то температура смеси повысится на  $\Delta T_2 = 10$  К.

1. Найдите работу  $A$  смеси газов в изобарическом процессе.
2. Найдите теплоемкость  $C_V$  смеси в изохорическом процессе.
3. Найдите отношение  $\frac{N_{\Gamma}}{N_{\text{к}}}$  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. Заряды обкладок конденсатора  $Q > 0$  и  $-Q$ , ёмкость конденсатора  $C$ , расстояние между обкладками  $d$ . В некоторый момент частица движется параллельно обкладкам со скоростью  $V_0$  на расстоянии  $d/4$  от положительно заряженной обкладки.

1. Найдите радиус  $R$  кривизны траектории в этот момент времени.

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!

Задача 1

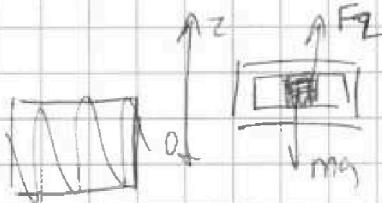


$$Ox: F_x = ma$$

$$a = \frac{v^2}{R}$$

$m$  - масса летчика

$F_x$  - сила, действующая со стороны самолета на летчика по оси  $x$



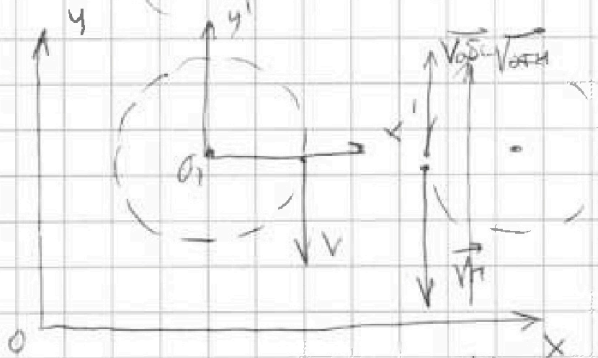
$$Oz: mg = F_z$$

$F_z$  - сила, действующая на летчика по оси  $z$  со стороны самолета

$$F_{обш} = \sqrt{F_z^2 + F_x^2}$$

$$\delta = \left( \frac{F_{обш}}{mg} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \frac{m \sqrt{g^2 + \left( \frac{80}{800} \right)^2}}{mg} - 1 \right) \cdot 100\%$$

$$= \left( \frac{\sqrt{100 + 8}}{10} - 1 \right) 100\% = \left( \frac{\sqrt{108}}{10} - 1 \right) 100\%$$



3. сложение скоростей: относительная скорость вращающегося самолета

$$\vec{v}_{abs} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_n$$

абсолютная скорость вращающегося самолета  $v_{abs} = v$  скорость  $y'O_1x'$  в точке вращающегося самолета

$$v_n = \frac{v}{R} \cdot (L-R)$$

$\frac{v}{R} = \omega$  - скорость вращения системы  $y'O_1x'$

$$v_{отн} = v_n + v_{abs} = v \left( 1 + \frac{L-R}{R} \right) = \frac{vL}{R}$$

$$= \frac{80 \cdot 2000}{800} = 200 \text{ м/с}$$

Ответ:  $\left( \frac{\sqrt{108}}{10} - 1 \right) 100\%$ ; 200 м/с





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  
3 из 3

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!

$$\begin{aligned} S &= \frac{(8\sqrt{3}-14) \cdot 2V_0^2}{(8-4\sqrt{3})(-g) \frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2 \cdot 2V_0^2 (4\sqrt{3}-7)}{g \sqrt{3} (4\sqrt{3}-8)} \\ &= \frac{8V_0^2 (7-4\sqrt{3})}{+g \cancel{(8-4\sqrt{3})} \cancel{(8\sqrt{3}-12)}} \\ &= \frac{8V_0^2 (2-\sqrt{3})^2}{g \cancel{4} (2\sqrt{3}-3)} = \frac{2V_0^2 (2-\sqrt{3})}{g \sqrt{3}} = \frac{2V_0^2}{g} \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \\ &= \frac{45 \cdot 45}{g} \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) = 405 \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \end{aligned}$$

Ответ:  $V_0 = 45 \text{ м/с}$

$$S = 405 \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \text{ м}$$





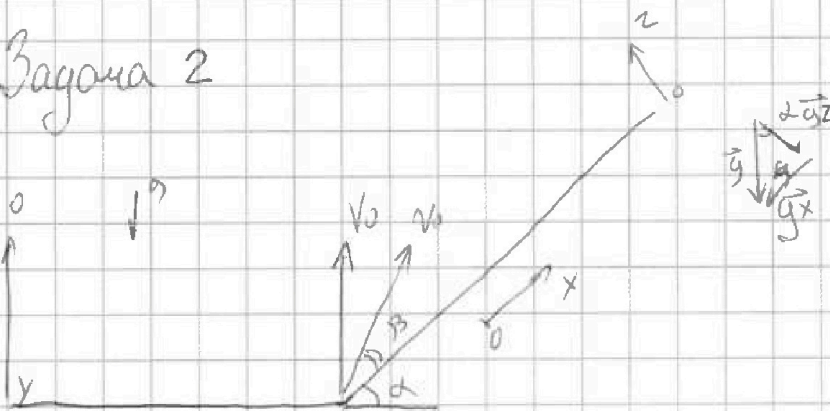
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
1 ИЗ 3

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!

Задача 2



Наибольшая продолжительность полёта  
осколка летящего вертикально вверх

$$T = \frac{2V_0}{g}$$

$$V_0 = \frac{Tg}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ м/с}$$

$$g_x = -g \cdot \sin \alpha$$

$$g_z = -g \cos \alpha$$

$$O_z: 0 = V_0 \sin \beta \cdot t_n + \frac{g_z \cdot t_n^2}{2}$$

$$O_x: S = V_0 \cos \beta \cdot t_n + \frac{g_x \cdot t_n^2}{2}$$

$$t_n = \frac{2V_0 \sin \beta}{(-g_z)}$$

$$S = \frac{2V_0^2 \sin \beta \cos \beta}{(-g_z)} + \frac{2g_x \cdot t_n V_0 \sin^2 \beta}{(-g_z)^2}$$

$$= \frac{2V_0^2}{(g_z)} \left( -\sin \beta \cos \beta + \frac{g_x}{g_z} \sin^2 \beta \right)$$

$\swarrow \text{ctg } \alpha$



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 3

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!

$$S_{\max} \rightarrow (-\sin \beta \cdot \cos \beta + \operatorname{ctg} \alpha \sin^2 \beta) \rightarrow \max$$

$$(-\sin \beta \cdot \cos \beta + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin^2 \beta)' = (-\sin \beta \cos \beta +$$

$$+ \operatorname{ctg} \alpha \cdot 2 \sin \beta \cos \beta) = 0$$

$$(\operatorname{ctg} \alpha - 2 \sin \beta \cdot \cos \beta + (-\sin \beta) \cdot (-\sin \beta) + (-\cos \beta) \cos \beta)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \cdot 2 + \operatorname{tg} \beta - \operatorname{ctg} \beta = 0 \quad | \cdot \operatorname{tg} \beta = 0$$

$$2 \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg}^2 \beta - 1 = 0$$

$$D = (2 \operatorname{ctg} \alpha)^2 + 4 = (2\sqrt{3})^2 + 4 = 16 = 4^2$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{-2 \operatorname{ctg} \alpha \pm 4}{2} \rightarrow \text{пог. и ог. м.и.о.с.}$$

$$\operatorname{tg} \beta = 2 - \sqrt{3}$$

$$\sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1$$

$$\operatorname{tg}^2 \beta + 1 = \frac{1}{\cos^2 \beta} \quad 4 - 4\sqrt{3} + 3 + 1 = \frac{1}{\cos^2 \beta}$$

$$1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \beta} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \quad 1 + \frac{1}{4 - 4\sqrt{3} + 3} = \frac{1}{\sin^2 \beta}$$

$$\cos^2 \beta = \frac{1}{8 - 4\sqrt{3}}$$

$$\sin^2 \beta = \frac{7 - 4\sqrt{3}}{8 - 4\sqrt{3}}$$

$$(-\sin \beta \cos \beta + \operatorname{ctg} \alpha \sin^2 \beta) = -\frac{(2 - \sqrt{3})}{8 - 4\sqrt{3}} + \frac{\sqrt{3} \cdot (7 - 4\sqrt{3})}{8 - 4\sqrt{3}}$$

$$= -\frac{1}{2} + \frac{7\sqrt{3} - 12}{8 - 4\sqrt{3}} = \frac{8\sqrt{3} - 16}{8 - 4\sqrt{3}}$$

$$S_{\max} = \frac{8\sqrt{3} - 16}{8 - 4\sqrt{3}}$$



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.

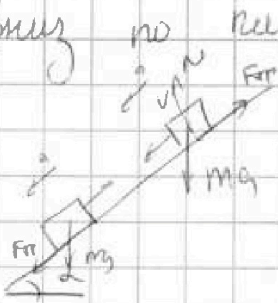
1  2  3  4  5  6  7

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!

### Задача 3

т.к. скорость растет шайбу толкнули  
вниз по плоскости



$$\vec{m}\vec{a} = \vec{m}\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}$$

$$N = m g \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N \cos \alpha$$

$$a_1 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha$$

$$a_2 = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha$$

$$a_1 + a_2 = 2g \sin \alpha$$

$a_1$  из графика:

$$a_1 = \frac{8-6}{1} = 2 \text{ м/с}^2$$

$$a_2 = \frac{8-6}{0,5} = 4 \text{ м/с}^2$$

$$\sin \alpha = \frac{2+4}{2 \cdot 10} = 0,3$$

2. т.к. бочка катится без проскальзывания

~~рабочая часть трения~~ ~~рабочая часть трения~~ ~~рабочая часть трения~~

~~энергия~~  
~~энергия~~

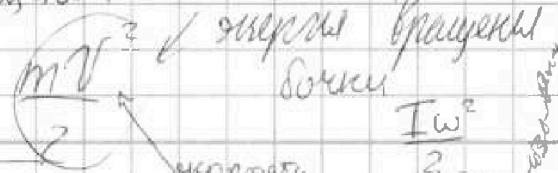


энергия так же частично переходит в энергию вращения бочки

$$2mgh = 2mv^2$$

$$2gh = \frac{3}{2}v^2$$

$$v = \sqrt{4gh/3} = 2 \text{ м/с}$$



энергия вращения бочки  $\frac{I\omega^2}{2}$   
короче там же, как при



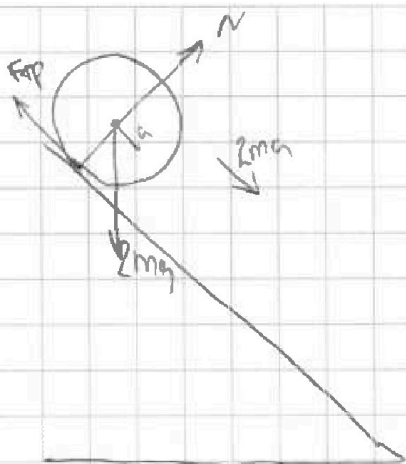


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



$$I\varepsilon = M$$

$$M = F_{\text{тр}} \cdot R$$

$$I = mR^2 + \cancel{mR^2} = \cancel{mR^2}$$

↑  
сочисл

~~$$N = 2mg \cos \alpha$$~~

~~$$mR^2 \cdot \frac{a}{R} = 2mg \cos \alpha \cdot R$$~~

~~$$a = 2M/c^2$$~~

$$3) \quad S = \frac{v^2}{2a}$$

$$S = \frac{h}{\sin \alpha} = 1$$

$$a = \frac{v^2}{2S} = \frac{4}{2} = 2 \text{ м/с}^2$$

Ответ: 0,3; 2 м/с; 2 м/с<sup>2</sup>

$$2mgh > \frac{3m v^2}{2}$$

$$h = \frac{S}{\sin \alpha}$$

$$2g \frac{v^2}{2a \sin \alpha} > \frac{3}{2} v^2$$

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$a \sin \alpha < g \frac{2}{3}$$

$$\sin^2 \alpha - \mu \cos \alpha \cdot \sin \alpha < \frac{2}{3} \mu \sin \alpha$$

$$\mu > \frac{\sin^2 \alpha - \frac{2}{3}}{\cos \alpha \cdot \sin \alpha}$$



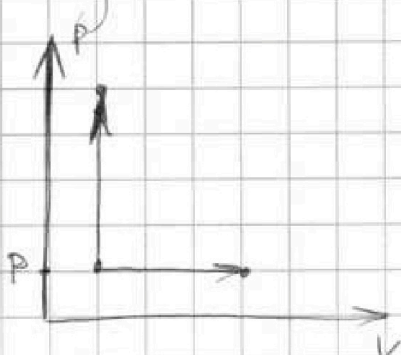
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
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!

Задача 4



как в изохорном процессе  $Q_{изох} = 0$

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

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

$$Q = \frac{R}{2} \Delta T_2 (3\nu_r + 5\nu_k) + A$$

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

$$Q = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} Q + A$$

$$A = Q \left(1 - \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right) = \left(1 - \frac{10}{15}\right) Q = 200 \text{ Дж}$$

$$C_V = \frac{Q}{\Delta T_1} = \frac{R}{2} (3\nu_r + 5\nu_k) = \frac{Q - A}{\Delta T_2} \text{ ①}$$

$$\text{①} \quad \frac{400}{10} = 40 \frac{\text{Дж}}{\text{°C}} \quad = 40$$

$$N_r = \nu_r \cdot N_A$$

$$N_k = \nu_k \cdot N_A$$

$$C_P = \frac{Q}{\Delta T_2} = C_V + \frac{A}{\Delta T_2} = 40 + \frac{200}{10} = 60$$

~~$$C_{V, газ} = \frac{3}{2} \nu R$$~~

~~$$C_{V, газ} = \frac{5}{2} \nu R$$~~

~~$$C_V = \frac{R}{2} (3\nu_r + 5\nu_k)$$~~

~~$$C_P = \frac{R}{2} (3\nu_r + 5\nu_k) + \frac{A}{\Delta T_2}$$~~

$$C_V = R \left( \frac{3}{2} \frac{N_r}{N_k} \nu_k + \frac{5}{2} \nu_k \right)$$

$$C_P = R \left( \frac{5}{2} \frac{N_r}{N_k} \nu_k + \frac{7}{2} \nu_k \right)$$

$$\frac{C_V}{C_P} = \frac{3 \frac{N_r}{N_k} + 5}{5 \frac{N_r}{N_k} + 7}$$

$$\frac{C_V}{C_P} = \frac{3 \frac{N_r}{N_k} + 5}{5 \frac{N_r}{N_k} + 7}$$



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. Поря QR-кода недопустима!

$$\frac{x}{3} = \frac{3 \frac{N_{\Gamma}}{N_{\kappa}} + 5}{5 \frac{N_{\Gamma}}{N_{\kappa}} + 7}$$

$$10 \frac{N_{\Gamma}}{N_{\kappa}} + 14 = 9 \frac{N_{\Gamma}}{N_{\kappa}} + 15$$

$$\frac{N_{\Gamma}}{N_{\kappa}} = 1$$

Ответ: 200 Дж;  $10 \frac{\text{Дж}}{\text{°C}}$  ; 1





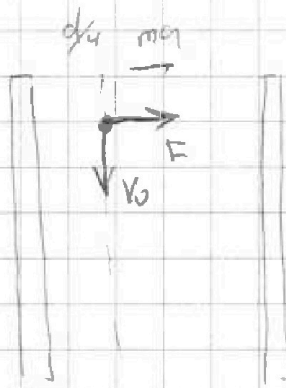
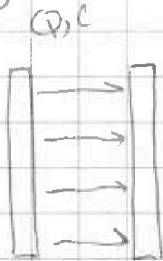
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
( 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!

Задача 5



$$F = ma$$

$$F = Eq$$

$$a = \frac{v_0^2}{R}$$

$$\frac{F}{m} = a$$

$$\frac{F}{m} = \frac{v_0^2}{R}$$

$$R = \frac{m v_0^2}{Eq} = \frac{v_0^2}{Eq}$$

$$c = \frac{Q}{v} \quad v = \frac{Q}{c}$$

$$E = \frac{Qd}{c} \quad v d = \frac{Qd}{c}$$

$$R = \frac{v_0^2 \cdot c}{Qd \gamma}$$

$$\text{Ответ: } \frac{v_0^2 c}{Qd \gamma}$$

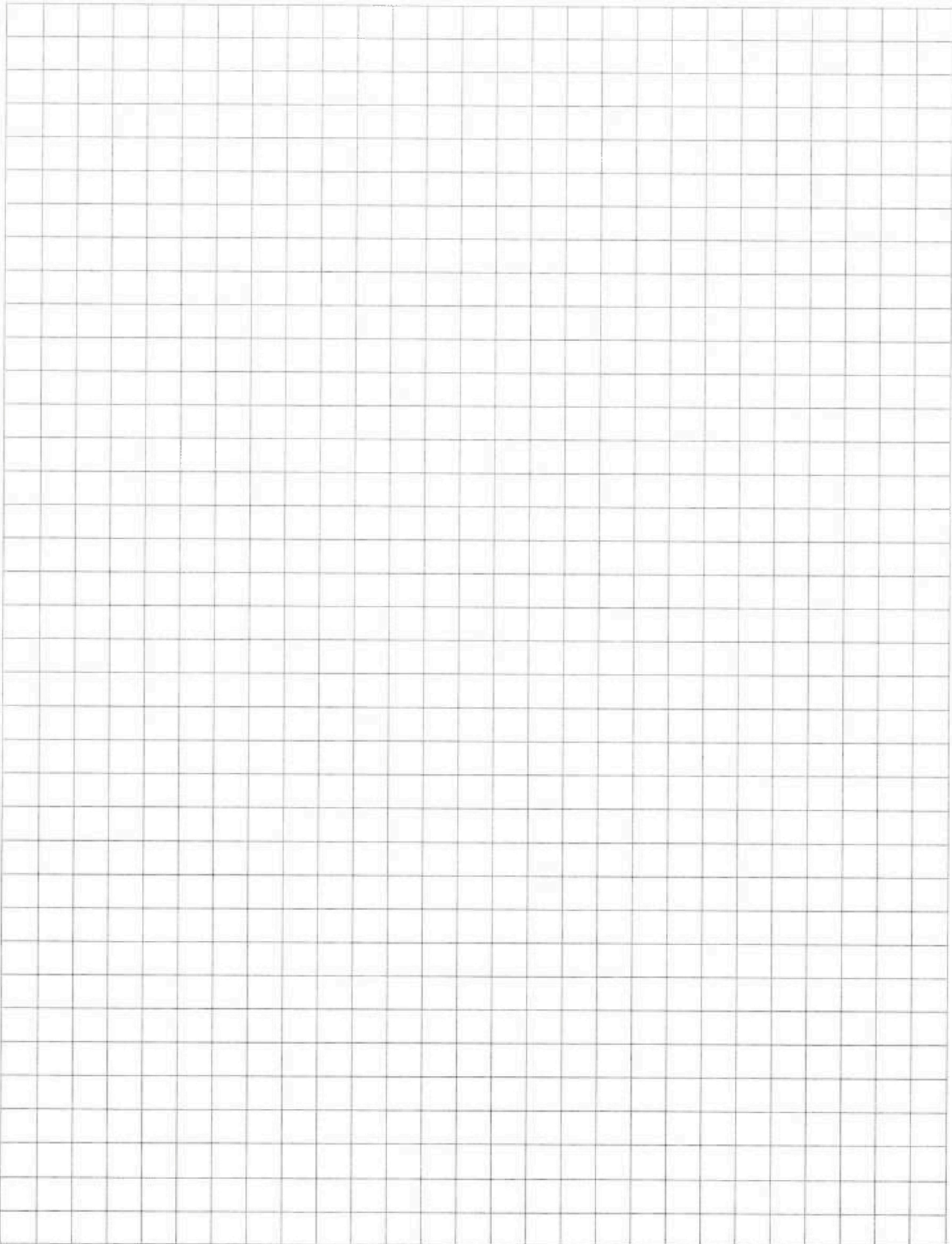


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

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!



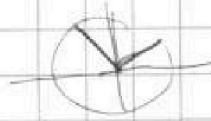
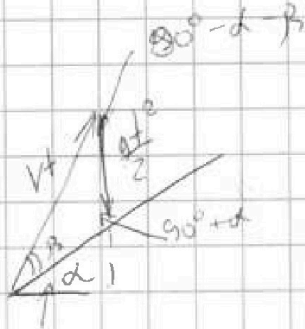


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1  2  3  4  5  6  7

СТРАНИЦА  
\_ 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!



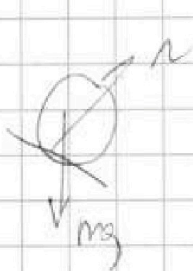
$$\frac{\sin \beta}{\frac{st}{2}} = \frac{\cos \alpha}{Vt} = \frac{\cos(\alpha + \beta)}{s}$$

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

$$t = \frac{V \cos \alpha}{g \sin \beta}$$

$$s = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \alpha \cdot g}{V \cos(\alpha + \beta) \cdot 2 \sin \beta}$$

$$s = \frac{2V^2 \cos(\alpha + \beta) \sin \beta}{g \cos^2 \alpha}$$



$$N = mg \cos \alpha$$

$$\mu N = mg \cos \alpha \cdot \mu$$

$$IE = M$$



$$s = \frac{v^2}{2a}$$

$$l = \frac{2g \cdot 0,3^3}{2a}$$

$$I = mR^2$$

$$\frac{mR^2}{2}$$

$$2ma = (mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha)$$

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - 0,3^2}$$

100003

0,09 2091







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!

$$C = \frac{q}{V}$$

$$\sqrt{4.27} = 2.3 \sqrt{3}$$

$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{k \cdot k_n^2}{m^2}$$

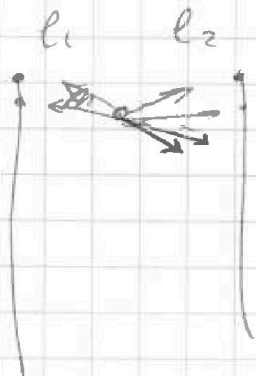
$$E = d$$

$$\varphi_1 = \frac{kq}{d} = B \cdot M$$

$$E = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$E = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{d}{k}$$



$$E = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$$

$$E = kq$$

$$\frac{CV^2}{2}$$

$$E = k$$

