



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

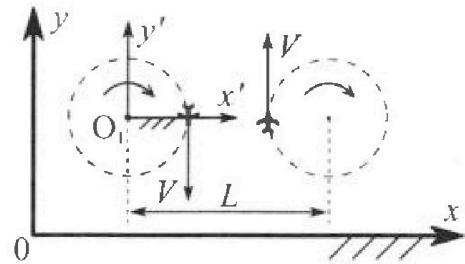
Вариант 10-01

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 $V = 80$ м/с (см. рис.) по окружностям одинакового радиуса $R = 800$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

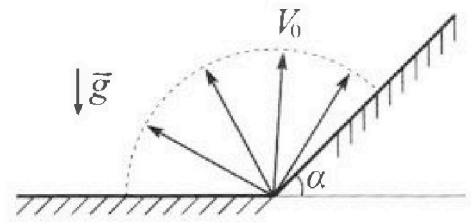
1. На сколько δ процентов вес каждого летчика больше силы тяжести, действующей на летчика?



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

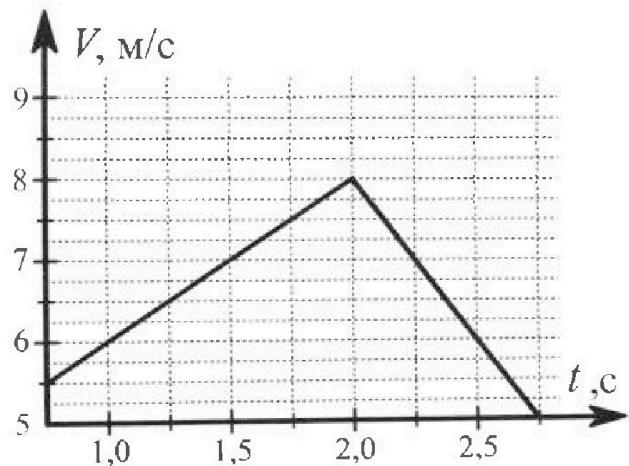
2. Найдите в этот момент скорость \vec{U} второго (правого на рис.) самолёта во вращающейся системе отсчёта $x'O_1y'$, связанной с первым (левым на рис.) самолётом. В ответе укажите модуль и направление вектора \vec{U} .

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 $T = 9$ с. 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?

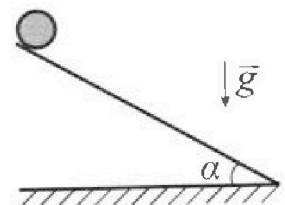
3. В первом опыте на шероховатую наклонную плоскость кладут шайбу и сообщают шайбе начальную скорость. Шайба движется по плоскости, сталкивается с упором, отскакивает от него и продолжает движение по плоскости. Часть зависимости модуля скорости шайбы от времени представлена на графике к задаче. Движение 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 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 $h = 0,3$ 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 10-01

*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 $\frac{N_{\text{Г}}}{N_{\text{К}}}$ 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?



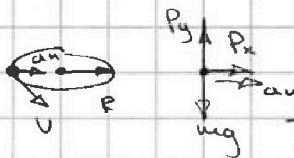
На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
5 ИЗ 6

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.



m - масса планеты

$$\Pi_z H: x: P_x = a_n \cdot m = \frac{v^2}{R} \cdot m$$

$$\Pi_z H: y: P_y - mg = 0$$

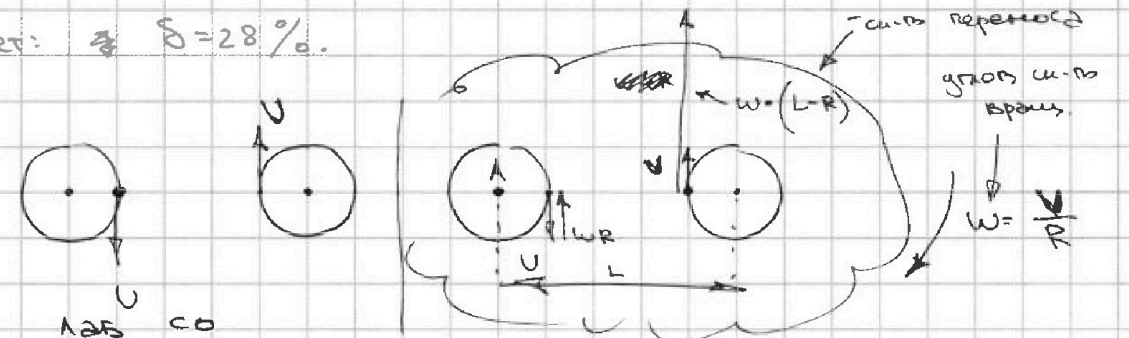
и по формуле:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \sqrt{\frac{mv^4}{R^2} + g^2}$$

$$\delta = \left(\frac{P}{mg} - 1 \right) \cdot 100\% = \left(\frac{\sqrt{\frac{v^4}{R^2} + g^2}}{g} - 1 \right) \cdot 100\% = 28\%$$

Ответ: $\delta = 28\%$.

2.



$$U = v_{ц.м.} - v_{переноса} = U - (-)\omega(L-R)$$

$$= U + \omega(L-R) = \frac{vR}{R} + \frac{vL}{R} = \frac{vR}{R}$$

$$= \frac{vL}{R} = 200 \text{ м/с}$$

Ответ: $U = 200 \text{ м/с}$, U направлена вверх.



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 6

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!

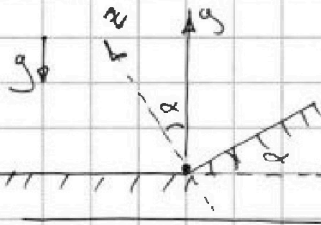
Задача 2.

$$\alpha = 30^\circ$$

$$T = 9c$$

$$g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$V_0 = ?$$



① Для начала определим, под каким углом должна лететь ракета, чтобы у нее была наиб. продолжит. полета.

1) Первый случай если проекция нач. скор-ти $V_{0x} \leq 0$.

$$y: V_{0y} - g \cdot \left(\frac{T}{2}\right) = 0 \quad (\text{в верхней точке скорость } 0)$$

т.к. выше лететь столько же.

$$T = \frac{2V_{0y}}{g} \rightarrow T = \text{max при } V_{0y} \text{ максимальной } (=V_0) \rightarrow T = \frac{2V_0}{g}$$

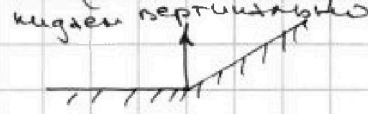
2) Второй случай: $V_{0x} > 0$. ось z \perp склону

$$z: V_{0z} - g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{T}{2} = 0$$

$$T = \frac{2V_{0z}}{g \cdot \cos \alpha} \rightarrow T = \text{max при } V_{0z} \text{ макс. но } V_{0z} = V_0 \cdot \cos \alpha$$

Максимальное T тогда (т.к. $V_{0x} > 0$)

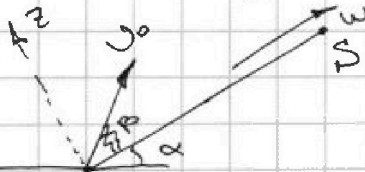
$$T = \frac{2V_0}{g} \rightarrow U_0 = \frac{Tg}{2} = 45 \text{ м/с}$$



Ответ 1: $V_0 = \frac{Tg}{2} = 45 \text{ м/с}$.

t - время полета

②



Ось w направл. вдоль склона
beta - угол, под котор. летит снаряд

$$z: V_0 \cdot \sin \beta - g \cdot \cos \alpha \cdot \frac{t}{2} = 0$$

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

$$w: S = V_0 \cdot \cos \beta \cdot t - \frac{g \cdot \sin \alpha \cdot t^2}{2}$$

$$= \frac{2V_0 \sin \beta \cdot \cos \beta}{g \cdot \cos \alpha} - \frac{g \cdot \sin \alpha}{2} \cdot \frac{4V_0^2 \sin^2 \beta}{g^2 \cos^2 \alpha} =$$

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

чтобы S = max, возьмем производную

$$\cos^2 \beta \cdot \cos \alpha + \sin \beta \cdot (-\sin \beta) \cos \alpha - \sin \alpha \cdot 2 \cdot \sin \beta \cdot (\cos \beta) = 0$$

$$\frac{1}{\tan \beta} \cos \alpha - \tan \beta \cos \alpha - 2 \sin \alpha = 0 \quad /: \cos \alpha$$

$$\frac{1}{\tan \beta} - \tan \beta - 2 \tan \alpha = 0 \quad /: \tan \beta \rightarrow \frac{1}{\tan^2 \beta} + 2 \tan \alpha \cdot \tan \beta - 1 = 0$$



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 6

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!

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{-\operatorname{tg} \alpha \pm \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1}}{1}$$

$\operatorname{tg} \beta > 0$ (т.к. должен полететь на склон)

$$\rightarrow \operatorname{tg} \beta = -\operatorname{tg} \alpha + \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1}$$

* при max

$$S' = \cos \beta \cdot \cos(\beta + \alpha) - \sin \beta \cdot \sin(\beta + \alpha) = \cos(2\beta + \alpha) = 0$$

$$2\beta + \alpha = 90^\circ$$

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

$$S = \frac{2U_0^2}{g \cos^2 \alpha} \cdot \sin \beta \cdot \cos(\beta + \alpha) = \frac{U_0^2}{g \cos^2 \alpha} \cdot (1 - \sin \alpha)$$

$$= \underline{135 \text{ м}}$$

Ответ: $\underline{S = 135 \text{ м.}}$

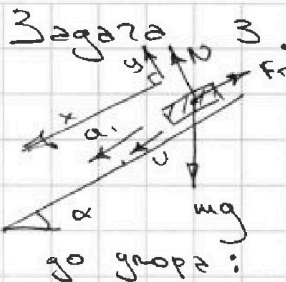


На одной странице можно оформлять только одну задачу. Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице. Также укажите номер страницы и суммарное количество страниц в решении каждой задачи отдельно.

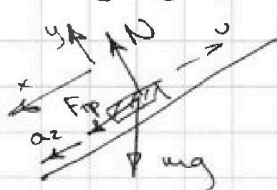
1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
4 ИЗ 6

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!



ИЗН: y: $N = mg \cos \alpha$
x: $a_1 m = mg \sin \alpha - \mu N$
 $= mg (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$



ИЗН: y: $N = mg \cos \alpha$
x: $a_2 m = mg \sin \alpha + \mu N$
 $(a_1 + a_2) m = 2mg \sin \alpha$
 $\sin \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2g} = \frac{3}{10} = 0,3$

Находим из графика:

$a_1 = 2 \text{ м/с}^2$

$a_2 = \frac{(8-5) \text{ м/с}}{0,75 \text{ с}} = 4 \text{ м/с}^2$

можем найти значение графика (первой прямой):

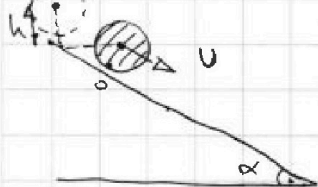
Ответ: $\sin \alpha = 0,3$.

a_1 - ускорение шайбы по столбов. с углом

a_2 - - " - после - "

m - масса шайбы

Опыт № 2.



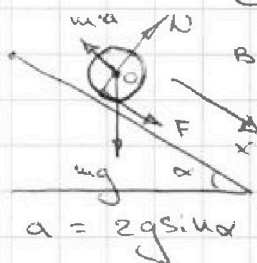
по те. Кеннига:
ЗСЭ: $mgh = E_{кин} = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}$
 $= \frac{2}{2} \frac{mV^2}{2} + \frac{mR^2}{2} \cdot \frac{V^2}{R^2} = \frac{5}{4} mV^2$

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

$mgh = \frac{5}{4} mV^2 \rightarrow V = \sqrt{\frac{4}{5} gh} = 2 \text{ м/с}$

$\omega = \frac{V}{R}$

Ответ: $V = 2 \text{ м/с}$.



в нисо центра O.

правило моментов: $0 = F \cdot r = \left(\frac{mV^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{a}{r}\right)$

ИЗН: x: $F + mg \sin \alpha = ma = \frac{ma}{2} + mg \sin \alpha$

$a = 2g \sin \alpha = 6 \text{ м/с}^2$

r - угл. ускор
" тк кинетия
показ показана

Ответ: $a = 6 \text{ м/с}^2$, $\mu > \frac{a}{g \cos \alpha} \approx 0,63$

$F < \mu N = \mu mg \cos \alpha$ (см выше) $\rightarrow \mu > \frac{a}{g \cos \alpha}$

т.к. F - трение покоя. Будет скользить при $F_{тр} \approx \mu N$



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 6

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.

J_r - ток в резисторе

J_0 - ток в индуктивности

$$Q = 600 \text{ А}\cdot\text{м}$$

$U = \text{const}$: (разность потенциалов)

~~первое уравнение~~ $Q = \frac{3}{2} J_r R \Delta T_1 + \frac{5}{2} J_0 R \Delta T_1$ (1)

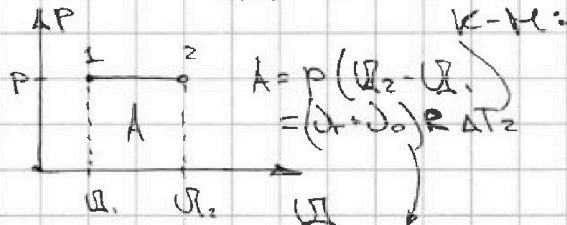
$P = \text{const}$:

$$P \Delta T: Q = \frac{3}{2} J_r R \Delta T_2 + \frac{5}{2} J_0 R \Delta T_2 + A$$

$$A = \left(\frac{3}{2} J_r R + \frac{5}{2} J_0 R \right) (\Delta T_1 - \Delta T_2) = \frac{Q}{\Delta T_1} (\Delta T_1 - \Delta T_2) =$$

$$= Q - Q \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = 200 \text{ А}\cdot\text{м}$$

Ответ: $A = 200 \text{ А}\cdot\text{м}$.



(1) $Q = C_U \Delta T_1 = \left(\frac{3}{2} J_r + \frac{5}{2} J_0 \right) R \Delta T_1 = C_U \cdot \frac{A}{R \Delta T_2} \cdot \Delta T_1$

$$C_U = \frac{Q}{\Delta T_1} = \frac{600 \text{ А}\cdot\text{м}}{15 \text{ К}} = 40 \frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{К}}$$

Ответ: $C_U = 40 \frac{\text{А}\cdot\text{м}}{\text{К}}$.

$$J_r + J_0 = \frac{Q}{R} \left(\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\Delta T_1 \cdot \Delta T_2} \right)$$

$$(3J_r + 5J_0) = \frac{2Q}{R \Delta T_1} \quad \cdot B$$

$$J_r + J_0 = B \cdot \frac{3}{5} J_r + \frac{5 \cdot B \cdot J_0}{5} \rightarrow J_0 = \frac{1 - 3B}{5B - 1} J_r$$

$$\frac{N_r}{N_u} = \frac{J_r}{J_0} = \frac{5B - 1}{1 - 3B} = 1$$

Ответ: $\frac{N_r}{N_u} = 1$.

$B = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{2 \cdot \Delta T_2} = \frac{1}{4}$

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.

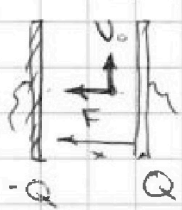


1 2 3 4 5 6 7

СТРАНИЦА
6 из 6

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.



ИЗМ x:

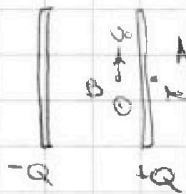
$$F = ma = \frac{Q}{\epsilon d} q \rightarrow a = \gamma \cdot \frac{Q}{\epsilon d} = \frac{U_0^2}{\epsilon d}$$

$$F = \frac{Q}{\epsilon d} \cdot q$$

$$R = \frac{U_0^2}{a} = \frac{U_0^2 \cdot \epsilon d}{\gamma Q}$$

Ответ: $R = \frac{U_0^2 \epsilon d}{\gamma Q}$

$$\text{ЗСЭ: } -q \frac{Q}{\epsilon} + \frac{mU_0^2}{2} = 0 + \frac{mU^2}{2} \quad | : \frac{m}{2}$$



$\varphi_C = 0$ (т.к. связано от конг. $\rightarrow -\varphi_C = \varphi_A \rightarrow$ уравновеш.)

$$\varphi_B = 0 \rightarrow \varphi_B = \varphi_A - \frac{Qd}{4\epsilon} = -\frac{Q}{4\epsilon}$$

$$-\frac{2\gamma Q}{4\epsilon} + U_0^2 = U^2 \rightarrow U = \sqrt{U_0^2 - \frac{\gamma Q}{2\epsilon}}$$

Ответ: $U = \sqrt{U_0^2 - \frac{\gamma Q}{2\epsilon}}$

m - масса частицы

q - заряд частицы

φ_i - потенциал в точке i



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

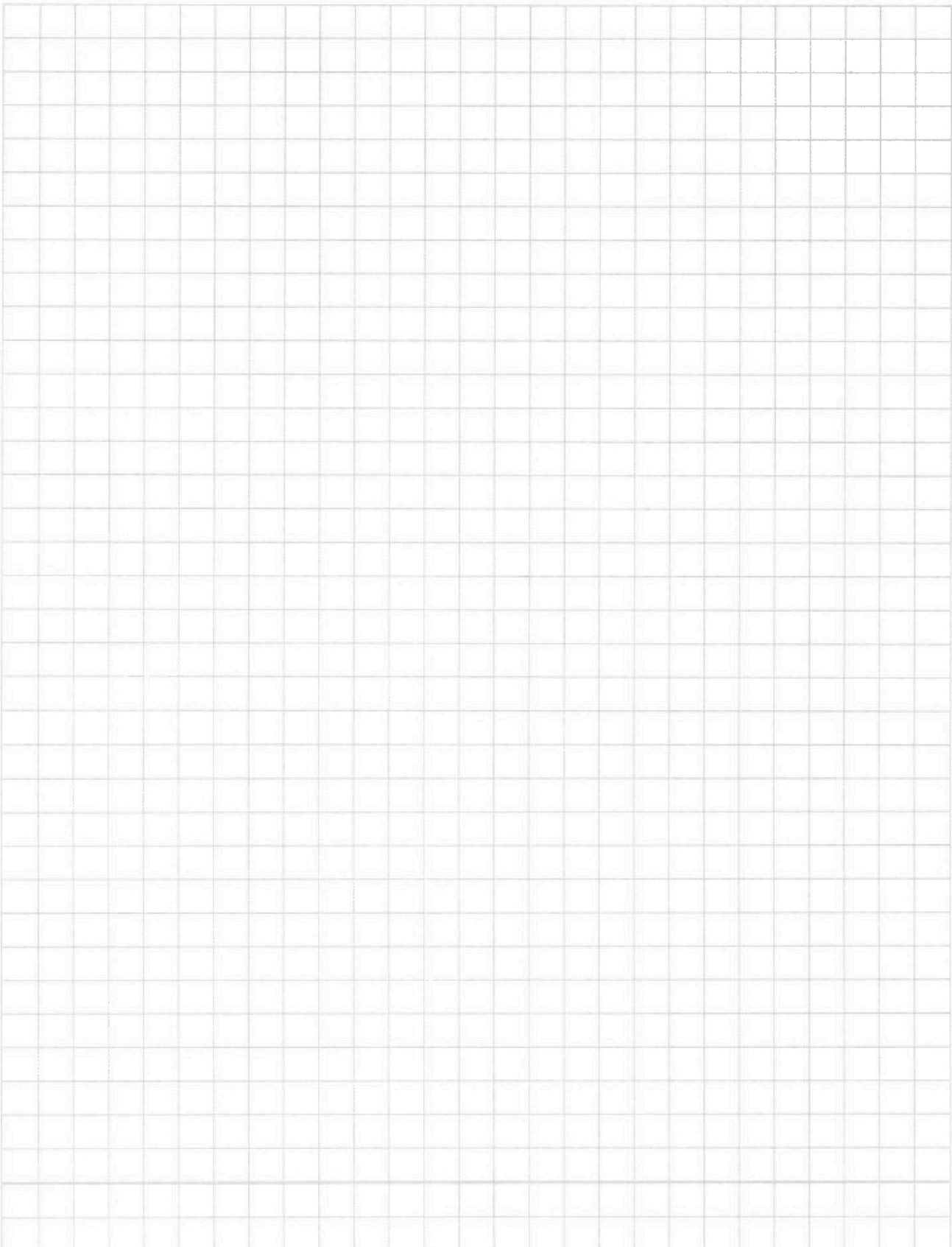
5

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

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 2.

$$z: V_0 \sin p = g \cos \alpha \cdot \frac{t}{2} \rightarrow t = \frac{2 V_0 \sin p}{g \cos \alpha}$$

$$L = V_0 \cdot \cos(p + \alpha) t = \frac{2 V_0^2}{g \cos \alpha} (\cos p \cos \alpha - \sin p \sin \alpha) \sin p$$

$$S \cdot \cos \alpha = L$$

$$L = \cos p \cdot \cos(p + \alpha) - \sin p \cdot \sin(p + \alpha) = 0$$

$$\cos p \cdot \frac{1}{2 \cos p} - \sin p \cdot \frac{1}{2 \cos p} - \frac{1}{2} \sin p \cdot \frac{1}{\cos p} = 0$$

$$1 - 2 \tan p - \tan^2 p = 0$$

$$2p + \alpha = 90^\circ$$



$$\sin(y-x) + \sin(y+x) =$$

$$= 2 \sin y \cos x$$

$$\sin y \cdot \cos x = \frac{\sin(-\alpha) + \sin(2p + \alpha)}{2}$$

$$\cos(2p + \alpha) = 0$$

$$S = \frac{L}{\cos \alpha} = \frac{2 V_0^2}{g \cos^2 \alpha} \sin p (\cos(p + \alpha)) = \frac{2 V_0^2}{g \cos^2 \alpha} \cdot \left(\frac{1 - \sin \alpha}{2} \right)$$

$$\frac{45}{135} \cdot \left(\frac{1}{2} \right)$$

$$\cos 90^\circ = 0$$



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!

$$600 \left(1 - \frac{10^2}{195^2} \right) = \frac{600}{3} = 200$$

$$\Delta T + \Delta_0 = \frac{Q}{R} \left(\frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\Delta T_1 \Delta T_2} \right)$$

$$\Delta T + \Delta_0 = 2 \frac{Q}{R \Delta T}$$

$$\frac{1}{\Delta T} - 1 = \frac{1}{\Delta T} - \frac{1}{\Delta T} = \frac{1 - \Delta T}{\Delta T}$$

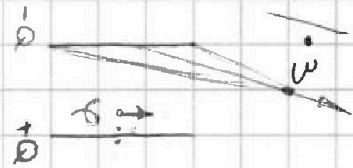
$$\frac{1}{\Delta T}$$

$$\frac{1}{\Delta T} = \frac{1}{1714}$$

$$C = \frac{30}{25}$$

$$E = \frac{Q}{C \cdot \Delta T} = \frac{Q \cdot \Delta T}{C \cdot \Delta T^2}$$

$$F = q \cdot \frac{Q}{C \cdot \Delta T} = q \cdot \frac{Q}{C \cdot \Delta T}$$



$$F = \frac{Q}{\Delta T}$$

1654225
1285
2570
10280
6425
5821
1285
16384
128
256
1024
128
128
256

$$64 + 100 = \sqrt{164}$$

$$\frac{R}{\Delta T^2} = \frac{6400}{800} = 8$$

$$\frac{164}{100} = 1.64$$

$$\sqrt{1.64} = 1.28$$

$$128 - 100 = 28$$

$$28 \cdot 2000 = 56000$$

$$56000 + 6400 = 62400$$

800



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!

Handwritten solution on grid paper for a physics problem involving a cylinder on an inclined plane.

Diagram: A cylinder of mass M and radius R is on an inclined plane at angle α . Forces shown are weight Mg (vertical), normal force N (perpendicular to the plane), and friction force F (up the plane). The center of mass is O . The cylinder is shown in a cross-section and a perspective view.

Equations:

$$\int x \cdot dx = \frac{1}{2} x^2$$

$$\int x^3 dx = \frac{x^4}{4}$$

$$M \cdot F = \frac{MgR}{2} \cdot \frac{1}{R}$$

$$F = \frac{Mg}{2}$$

Work Calculations:

Work done by weight: $A_{Mg} = Mg \cdot h = Mg \cdot R \sin \alpha$

Work done by friction: $A_F = F \cdot s = \frac{Mg}{2} \cdot \frac{R}{\sin \alpha}$

Work done by normal force: $A_N = 0$

Total work: $A_{total} = MgR \sin \alpha - \frac{MgR}{2 \sin \alpha}$

Final Answer: $A_{total} = \frac{MgR}{2} \left(2 \sin^2 \alpha - \frac{1}{\sin \alpha} \right)$

Calculations:

1. $\frac{100000}{5} = 20000$

2. $\frac{3}{10} = 0.3$

3. $\cos \alpha = \sqrt{1 - 0.3^2} = \sqrt{1 - 0.09} = \sqrt{0.91} \approx 0.952$

4. $\frac{100000}{6} \approx 16666.67$

5. $\frac{6}{9.5} \approx 0.6316$

6. $\frac{6095}{510630} \approx 0.0119$