

Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2024

Вариант 10-04

В ответах всех задач допустимы обыкновенные дроби
и радикалы.



4. В изохорическом процессе от смеси идеальных газов гелия и азота отводят $Q = 2320$ Дж теплоты. Температура смеси уменьшается на $|\Delta T_1| = 58$ К. Если в изобарическом процессе от той же смеси отвести то же самое количество теплоты, то температура смеси уменьшится на $|\Delta T_2| = 40$ К.

1. Найдите работу A внешних сил в изобарическом процессе.
2. Найдите теплоемкость C_p смеси в изобарическом процессе.
3. Найдите отношение $\frac{N_1}{N_2}$ числа атомов гелия к числу молекул азота в смеси.

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

5. Отрицательно заряженная частица движется между обкладками плоского конденсатора. Конденсатор заряжен до напряжения U , расстояние между обкладками d . В некоторый момент частица движется скоростью V_0 параллельно обкладкам на расстоянии $\frac{3}{8}d$ от отрицательно заряженной обкладки. Радиус кривизны траектории в малой окрестности рассматриваемой точки равен R .

1. Найдите удельный заряд $\gamma = \frac{q}{m}$ частицы, здесь q —заряд частицы, m — масса частицы.

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?



Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2024

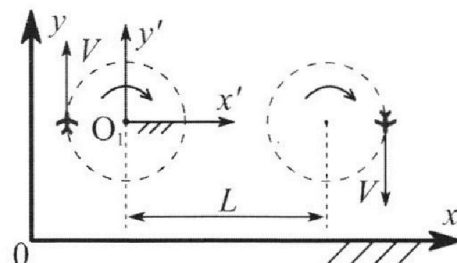
Вариант 10-04

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 $V = 100$ м/с (см. рис.) по окружностям одинакового радиуса. Радиус окружности, по которой движется каждый самолет, $R = 500$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

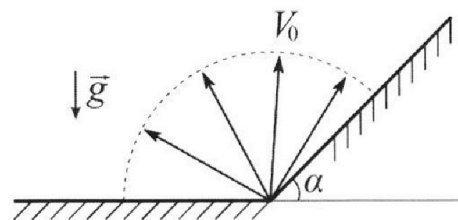
1. Определите отношение $\frac{N}{mg}$, здесь N – сила, с которой летчик действует на пилотское кресло, mg – сила тяжести летчика.



В некоторый момент времени самолеты оказались на прямой, проходящей через центры окружностей, в положении максимального удаления. Расстояние между центрами окружностей $L = 1,25$ км. Вектор скорости каждого самолета показан на рис.

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. У подножья склона разрывается фейерверк. Осколки летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по модулю скоростями. Продолжительность полета осколка, упавшего на горизонтальную поверхность на максимальном расстоянии от точки разрыва, равна $T = 5$ с, максимальное перемещение за время полета осколка, упавшего на склон, равно $S = 100$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

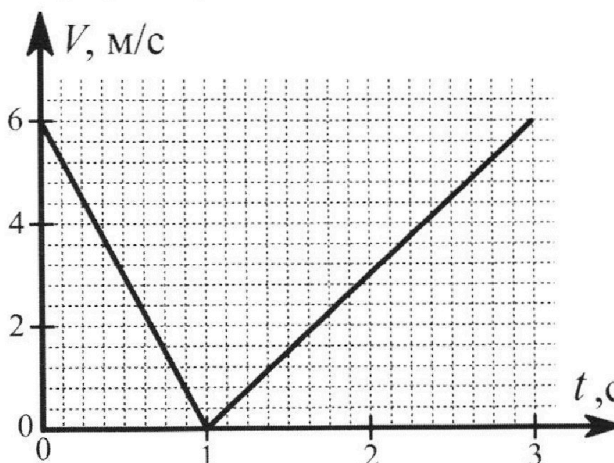


1. Найдите начальную скорость V_0 осколков.
2. Найдите угол α , который плоская поверхность склона образует с горизонтом.

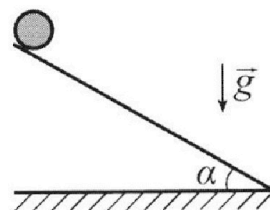
3. В первом опыте на шероховатую наклонную плоскость кладут шайбу и сообщают шайбе начальную скорость. Часть зависимости модуля скорости шайбы от времени представлена на графике к задаче. Движение шайбы до и после остановки происходит вдоль одной и той же прямой. Ускорение свободного падения $g = 10$ 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 $n = 4$ раза больше массы бочки. Воду считайте идеальной жидкостью. Масса торцов бочки пренебрежимо мала.



2. С какой по величине скоростью V движется бочка после перемещения по вертикали на $h = 1,5$ м?
3. Найдите ускорение a , с которым движется бочка.
4. При каких величинах коэффициента μ трения скольжения бочка катится без проскальзывания?





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.

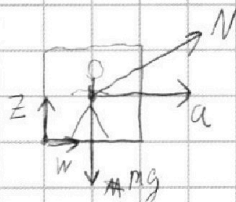
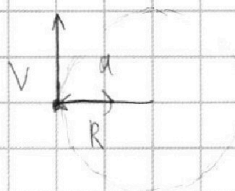


СТРАНИЦА

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 1



т.к. самолёт движется по окружности радиуса R в горизонтальной плоскости

его ускорение $a = \frac{v^2}{R}$ и направлено в гор. пл-ти

к центру окр-ти по которой он движется, по II

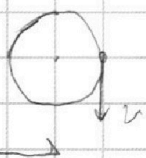
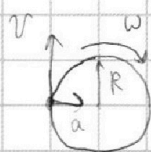
закону Ньютона для нити в проекции на верт. ось z

и гор. ось w , направленной с з проекцией N в гор. ось

$$N_w = ma \quad N_z - mg = 0 \quad \text{т.к. } z \perp w \quad N^2 = N_w^2 + N_z^2 = m^2(g^2 + a^2)$$

$$\frac{N}{mg} = \frac{\sqrt{m^2(g^2 + a^2)}}{mg} = \frac{\sqrt{g^2 + \frac{v^4}{R^2}}}{g} = \frac{\sqrt{5^2 R^2 + v^4}}{g^2 R^2} = \frac{\sqrt{100 + 25}}{100} = \frac{\sqrt{125}}{100}$$

$$= \frac{5\sqrt{5}}{100} = \frac{\sqrt{5}}{20} \sqrt{5}$$



т.к. первый самолёт

движется по окр-ти радиуса

R со скоростью v то он ускоре-

нием a он подвращается вокруг

своей оси с угловой скоростью $\omega = \frac{a}{v} = \frac{v^2}{vR} = \frac{v}{R}$ (т.к. $\vec{a} \perp \vec{v}$)

перейдем в его систему отсчёта движущуюся

Ответ: $\frac{N}{mg} = \frac{\sqrt{5}}{2}$, $u = 250 \text{ м/с}$, направлена по оси y'

3-я вершина δ -ка если 2 ост. и угол фиксированы



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!

по сути длина ^{отрезка} между 2-мя вертикальными шпалами.

с точностью до перемещения это экр. тв $S \rightarrow$ тв или $h \rightarrow$ тв,

то же происходит в середине дуги экр. тв $\Rightarrow$ ^{диск} экр. тв, тогда

$$\frac{S}{t} = \frac{gt}{2} \quad t = \sqrt{\frac{2S}{g}} = \sqrt{20} = 2\sqrt{5} \text{ с} \quad \text{по теореме косинусов}$$

длина s -ка ^{векторы} $\vec{v}_0, \vec{v}, \vec{g}$ $v_0^2 = \left(\frac{S}{t}\right)^2 + \left(\frac{gt}{2}\right)^2 - 2 \frac{Sg}{2} \cos(90^\circ + \alpha) =$

$$= 2 \frac{Sg}{2} - Sg \cos(90^\circ + \alpha) = Sg(1 - \cos(90^\circ + \alpha)) = Sg(1 + \sin \alpha)$$

$$v_0^2 = \frac{\sqrt{2} T^2}{2} = Sg - \frac{T^2 g^2}{2} = Sg(1 + \sin \alpha) \quad \sin \alpha = \frac{T^2 g}{2S} - 1 =$$

$$= \frac{250}{200} - 1 = \frac{1}{4} \quad \alpha = \arcsin\left(\frac{1}{4}\right)$$

Ответ: $v_0 = 25\sqrt{2} \text{ м/с}; \alpha = \arcsin\left(\frac{1}{4}\right)$



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.

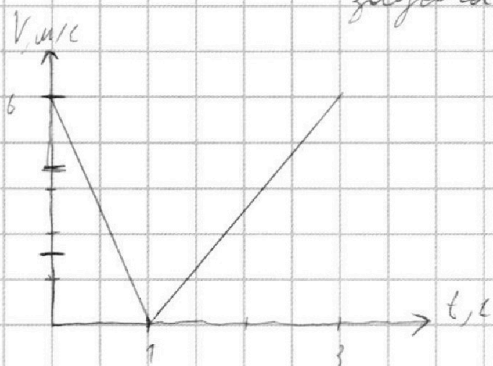
1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐

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



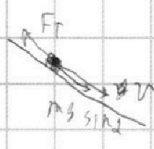
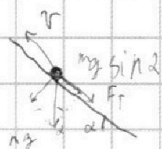
ускорение найдено по

сменой направления +

$$|a_1| = \left| \frac{v_1 - v_0}{t_1 - t_0} \right| = \left| \frac{-6}{1-0} \right| = 6 \text{ м/с}^2$$

$$\text{после } |a_2| = \left| \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \right| = \left| \frac{6-0}{3-1} \right| = 3 \text{ м/с}^2$$

т.к. машина сменяла направление в начале она двигалась вверх, в конце вниз в первом случае по 3-й зак. Ньютона



$$ma_1 = -F_T + mg \sin \alpha$$

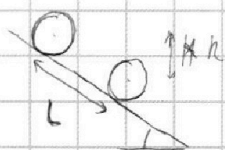
$$ma_2 = mg \sin \alpha - F_T$$

$$m(a_1 + a_2) = 2mg \sin \alpha \quad \text{если } a_1 \text{ и } a_2 \text{ сонаправлены}$$

иначе движение невозможно т.к. $a_2 \neq 0$ $a_1 + a_2 = |2g \sin \alpha|$

$$\sin \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2g} = \frac{9}{20}$$

по закону сохранения энергии



во 2-ой стадии экстр. точки

$$\frac{5Mv_0^2}{2} + \frac{I\omega_0^2}{2} + mgh = \frac{5Mv_1^2}{2} + \frac{I\omega_1^2}{2} \quad (\text{считаем } h=4)$$

т.к. бочка движется без проск. $\omega = \frac{v}{R}$, где v - ск. бочки

в данный момент времени R её радиус! можно доказать

переходя к с.о. нижней точки, относительно которой в данный

момент времени вращается бочка, тогда $v = \omega R$ (скорость центра)



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

Дано:

$$|\Delta T_1| = 58 \text{ K}$$

Найти:

в изохорном процессе

$$|\Delta T_2| = 40 \text{ K}$$

$A, C_p, \frac{\mu_1}{\mu_2}$

у 1-атомного газа молярная теплоемкость

$$Q_1 = 2320 \text{ Дж}$$

$$C_v^1 = \frac{3}{2} R; \text{ у двухатомного } C_v^2 = \frac{5}{2} R;$$

$$\text{в изохорном } C_p^1 = C_v^1 + R = \frac{5}{2} R; \quad C_p^2 = C_v^2 + R = \frac{7}{2} R$$

т.к. теплоемкости в обоих случаях тепло передается

в обоих случаях $\Delta T_1 = -|\Delta T_1|, \Delta T_2 = -|\Delta T_2|$ пусть масса ν_1 или,

аэма ν_2 или, тогда $|Q| = |\Delta T_1| C_v = |\Delta T_1| (\nu_1 C_v^1 + \nu_2 C_v^2);$

$$|Q| = |\Delta T_2| C_p = |\Delta T_2| (\nu_1 C_p^1 + \nu_2 C_p^2), \text{ т.к. при изобарном процессе}$$

работы не сод $\Delta U = |Q|$ $Q = \frac{\Delta U}{1-A} = \frac{Q}{1-A} \Rightarrow Q = |\Delta T_1| C_v$ т.к. во втором

случае внешние силы совершили работу $A \quad \Delta U + |1-A| = |Q|$

т.к. работа внешних сил равна - работе внутренних Q - в изохорном

$$\text{процессе } A = Q + \Delta U = \Delta T_1 C_1 Q + \Delta T_2 C_v = Q - |\Delta T_2| C_v = Q - Q \frac{|\Delta T_2|}{|\Delta T_1|} =$$

$$= Q \left(1 - \frac{|\Delta T_2|}{|\Delta T_1|} \right) = 2320 \cdot \frac{40}{58} = 2320 \cdot \frac{9}{29} =$$

$$\begin{array}{r} 2320 \quad | \quad 29 \\ 2320 \quad | \quad 80 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2320 \quad | \quad 29 \\ 2320 \quad | \quad 80 \\ \hline 13880 \end{array}$$

$$= 80.9 = 720 \text{ Дж}$$

$$Q = |\Delta T_1|$$

$$\text{по определению теплоемкости } C_p = \frac{-Q}{\Delta T_2} = \frac{Q}{|\Delta T_2|} = \frac{80.9}{40} = 58 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$



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!

$$u_1(1) \text{ и } (2) \quad Q = |dT_1| (D_1 C_1^2 + D_2 C_1^2) = |dT_1| (D_1 C_1^2 + D_2 C_1^2)$$

$$|dT_1| D_1 C_1^2 + |dT_1| D_2 C_1^2 = |dT_2| D_1 C_1^2 + |dT_2| D_2 C_1^2$$

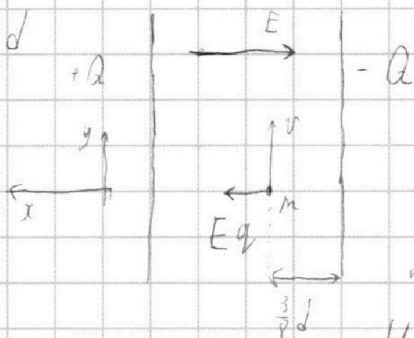
$$D_1 (|dT_1| C_1^2 - |dT_2| C_1^2) = D_2 (|dT_2| C_1^2 - |dT_1| C_1^2) + |dT_1| D_2 C_1^2 - |dT_2| D_2 C_1^2$$

$$D_1 (|dT_1| C_1^2 - |dT_2| C_1^2) = D_2 (|dT_2| C_1^2 - |dT_1| C_1^2)$$

Задача 5

Дано: U ; d ; V_0 ; $\frac{3}{8}d$

Найти: $\frac{q}{m} = ?$; $V = ?$



м.к. направление

на конденсаторе

U , расстояние между пл. d

$$U = E d, \text{ где } E - \text{поле}$$

внутри конденсатора по закону Кулона на ось

$x \parallel \vec{E}$ и $\perp$ поверхности конденсатора $E \cdot q = m a$ м.к.

$\vec{v} \perp \vec{E}$ $\vec{v} \perp \vec{a}$ радиус кривизны траектории R $\frac{v_0^2}{R} = a$

$$E \cdot q = m \frac{v_0^2}{R} \text{ м.к. } \vec{E} \text{ от } + \text{ к } - \text{ и } \text{напр. } d \text{ от ст. пл.}$$

$$E_x = -E = -\frac{U}{d} \quad -\frac{qU}{d} = m \frac{v_0^2}{R} \quad \frac{q}{m} = \frac{v_0^2 d}{UR}$$

по закону сохранения энергии для момента, когда

частица пересекает середину м.к. конденсатора

и начального момента



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!

$$\frac{mv^2}{2} + (-E) \frac{3d}{8} q = \frac{mv^2}{2} + (-E) \frac{d}{2} q \quad / \quad \frac{m(v^2 - v_0^2)}{2} = \frac{E q d}{8}$$

$$v^2 - v_0^2 = \frac{E q d}{4m}$$

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{3E q d}{8} = \frac{mv^2}{2} + \frac{E q d}{2}$$

$$v^2 - v_0^2 = -\frac{E q d}{4m} = +\frac{E v_0^2 d^2}{4UR}$$

$$= +\frac{v_0^2 d}{4R}$$

$$v^2 = v_0^2 + \frac{v_0^2 d}{4R}$$

$$v = v_0 \sqrt{\frac{4R + d}{4R}}$$

$$\text{Ответ: } \frac{q}{m} = -\frac{v_0^2 d}{4UR}, \quad v = v_0 \sqrt{\frac{4R + d}{4R}}$$