КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

11 класс

Задача 11.1

Возможное решение

(В работах учащихся могут быть предложены и другие правильные способы решения)

Силы, действующие на систему обруч — шайба, — это сила тяжести и сила нормальной реакции со стороны плоскости. Обе эти силы направлены вдоль вертикали. Следовательно, центр масс системы в горизонтальном направлении не перемещается. Поскольку трение между обручем и плоскостью отсутствует, обруч движется поступательно. Согласно закону сохранения импульса, в любой момент времени

$$Mu_x + m\upsilon_x = 0\,, \qquad (1)$$

где и u_x и υ_x — горизонтальные проекции скоростей центра обруча и шайбы. Так как υ_x периодически меняет знак, то и u_x также «синхронно» меняет знак. Общий характер движения обруча таков: шайба на участках *BC* и *BE* — центр обруча движется вправо; шайба на участках *CD* и *DE* — центр обруча движется влево (Рис.1).

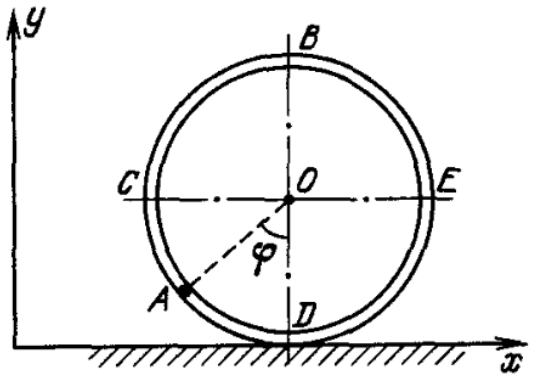

Рис.1

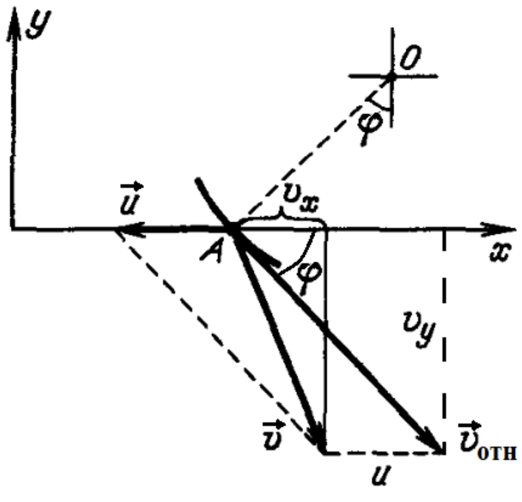

Рис.2

Скорости шайбы u и обруча υ связаны законом сохранения энергии:

$$Mgr + mg\cdot 2r = Mgr + mgr(1-\cos\varphi) + \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}\,,$$

который приводится к следующему виду: $mgr(1-\cos\varphi) = \dfrac{m\upsilon^2}{2} + \dfrac{Mu^2}{2}$ (2)

Движение шайбы относительно неподвижного наблюдателя можно представить в любой момент времени как суперпозицию двух движений: движения относительно центра обруча со скоростью $\vec{\upsilon}_{отн}$, направленной по касательной к обручу, и движения вместе с обручем со скоростью $\vec{u}$, направленной горизонтально. Таким образом, в соответствие с законом сложения скоростей, скорость шайбы $\vec{\upsilon} = \vec{u} + \vec{\upsilon}_{отн}$ (рис. 2). Как видно из этого рисунка, $tg\varphi = \dfrac{\upsilon_y}{\upsilon_x + u}$ (3)

С учетом того, что в (2) $\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2$, (4)

решая совместно уравнения (1) – (4), после достаточно громоздких преобразований, найдем скорость центра обруча в тот момент, когда радиус-вектор точки, в которой находится шайба, составляет угол φ с вертикалью:

$$u = m\cos\varphi\sqrt{\frac{2gr(1+\cos\varphi)}{(M+m)(M+m\sin\varphi)}} \qquad (5)$$

Примерные критерии оценивания	Баллы
Записан закон сохранения импульса (1)	3
Записан закон сохранения энергии (2)	1
Получено выражение для $tg\varphi$ (3)	2
Получено выражение для скорости шайбы u (5)	4

Задача 11.2

Возможное решение

(В работах учащихся могут быть предложены и другие правильные способы решения)

Так как тело движется вдоль оси *x*, то его ускорение, в соответствии со вторым законом Ньютона, равно $a_x = \dfrac{f_x}{m} = -\dfrac{\alpha(x)}{m}\upsilon^2$ (1)

Из условия задачи следует, что тело, пущенное в начальный момент времени из начала координат с начальной скоростью υ_0, движется равнозамедленно, т.е. $a_x = -a = \text{const}$, поэтому координата тела *x* и его скорость υ_x зависят от времени t следующим образом:

$$x = \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad \upsilon = \upsilon_0 - at \qquad (2)$$

Подставляя вторую формулу из (2) в (1), имеем: $a = \dfrac{\alpha(x)}{m}\left(\upsilon_0 - at\right)^2$ (3)

отсюда выражаем $\alpha(x) = \dfrac{ma}{\left(\upsilon_0 - at\right)^2} = \dfrac{m}{\dfrac{\upsilon_0^2}{a} - 2\upsilon_0 t + at^2}$ (4)

Используя первую формулу в (2), выражение (4) можно записать через координату *x*:

$$\alpha(x) = \frac{m}{\dfrac{\upsilon_0^2}{a} - 2x} = \frac{m}{2\left(\dfrac{\upsilon_0^2}{2a} - x\right)} \qquad (5)$$

Таким образом, тело, пущенное из начала координат с произвольной скоростью υ_0, может двигаться равнозамедленно только тогда, когда зависимость $\alpha(x)$ имеет вид (5).

Здесь $\frac{\upsilon_0^2}{2a}$ является произвольным положительным числом, которое можно обозначить через $X = \frac{\upsilon_0^2}{2a}$, тогда зависимость (5) перепишется в виде: $\alpha(x) = \frac{m}{2\left(X - x\right)}$ (6)

Заметим, что, в соответствие с уравнениями, описывающими равнозамедленное движение (2), величина X имеет смысл расстояния, которое проходит тело от начала координат до полной остановки, причем зависит X только от свойств среды.

Примерные критерии оценивания	**Баллы**
Записано выражение для ускорения тела как функции скорости (1)	1
Записаны уравнения (2)	1
Получено соотношение (3)	2
Получено выражение для $\alpha(x)$ как функция времени (4)	3
Получено выражение для $\alpha(x)$ как функция координаты (5) (или (6))	3

Задача 11.3

Возможное решение

(В работах учащихся могут быть предложены и другие правильные способы решения)

Из уравнений адиабат 2-3 и 3-4 $p_2V_2^\gamma = p_3V_3^\gamma$ (1)

$p_4V_4^\gamma = p_1V_1^\gamma$ (2)

получаем соотношение $\frac{p_3}{p_4} = \frac{p_2}{p_1}$ (3)

Для изохорных участков 1-2 и 3-4 имеем такие соотношения

$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_1}{T_1} \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$ (4) $\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_4}{T_4} \Rightarrow \frac{p_2}{p_4} = \frac{T_3}{T_4}$ (5)

Подставив (4) и (5) в (3), найдем температуру T_3: $T_3 = T_4\frac{T_2}{T_1} = 300\frac{768}{524} = 450\text{К}$ (6)

Для определения КПД двигателя нужно вычислить работу A, совершаемую газом за цикл, и количество теплоты Q_1, получаемое газом от нагревателя.

$$A = A_{23} + A_{41} = -(\Delta U_{23} + \Delta U_{41}) = -\frac{3}{2}\nu R\left[(T_3 - T_2) + (T_1 - T_4)\right] = \\ = \frac{3}{2}\nu R\left[(T_2 - T_3) + (T_4 - T_1)\right] \quad (7)$$

Газ нагревается, получая энергию от нагревателя на участке 1-2. Поэтому

$$Q_1 = \Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1) \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) КПД двигателя

$$\eta=\frac{A}{Q_1}=\frac{\frac{3}{2}\nu R\left[(T_2-T_3)+(T_4-T_1)\right]}{\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)}=\frac{(T_2-T_1)-(T_3-T_4)}{(T_2-T_1)}=1-\frac{T_3-T_4}{T_2-T_1} \quad (9)$$

Подставляя численные значения, получаем: $\eta=1-\frac{450-300}{768-524}\approx 0,43$. (10)

Примерные критерии оценивания	Баллы
Получено соотношение (3)	1
Получено соотношение (4)	1
Получено соотношение (5)	1
Вычислено значение температуры T_3 (6)	1
Получено выражение для работы (7)	2
Получено выражение для количества теплоты (8)	1
Получено выражение для КПД (9)	2
Получен численный результат (10)	1

Задача 11.4

Возможное решение

(В работах учащихся могут быть предложены и другие правильные способы решения)

Так как по условию задачи расстояние между пластинами d мало по сравнению с их линейными размерами, то поле между пластинами можно считать однородным. Его напряженность $E=\frac{U}{d}$ (1)

Заряд q каждой пластины равномерно распределен по ее поверхности и может быть подсчитан с помощью формулы $q=CU$, (2)

где C – емкость плоского воздушного конденсатора, образованного пластинами. Для емкости C имеем выражение $C=\frac{\varepsilon_0 S}{d}$, (3)

где ε_0 – электрическая постоянная. Поле между пластинами создается в одинаковой степени как зарядами верхней, так и зарядами нижней пластины. В соответствии с этим для напряженности E_1 поля, создаваемого только зарядом верхней пластины, можно написать $E_1=\frac{1}{2}E=\frac{U}{2d}$, (4)

Заряд q нижней пластины находится в этом поле, и на него со стороны поля действует сила $F=qE_1$, (5)

направленная вверх. С учетом равенств (2), (3) и (4) для F находим $F=\frac{\varepsilon_0 S}{2d^2}U^2$ (6)

Если величина силы F больше силы тяжести mg, т.е, если имеет место неравенство

$$\frac{\varepsilon_0 S}{2d^2}U^2>mg\ , \quad (7)$$

то нижняя пластина отрывается от стола. Из (7) окончательно получаем: $U>d\sqrt{\frac{2mg}{\varepsilon_0 S}}$. (8)

Примерные критерии оценивания	Баллы
Записан закон сохранения энергии в форме (1)	2
Записано выражение для силы тока (2)	1
Получено выражение для количества теплоты через данные задачи (3)	2
Указано условие применимости полученного результата (4)	2
Отмечен случай отсутствия выделения теплоты в шаре (5)	3

Задача 11.5

Возможное решение

(В работах учащихся могут быть предложены и другие правильные способы решения)

При вращении цилиндра на свободные электроны действует центробежная сила, отбрасывающая их к поверхности цилиндра, образуя вблизи нее избыточный отрицательный заряд. Это разделение зарядов прекращается, когда возникшее электрическое поле способно сообщать свободным электронам центростремительное ускорение $a = \omega^2 r$, т.е. когда $eE = ma$. Отсюда $E = \dfrac{m\omega^2 r}{e}$ (1)

Из (1) видно, что напряженность электрического поля с ростом r линейно возрастает, поэтому ее среднее значение $E_{\text{ср}} = \dfrac{E_{\max}}{2} = \dfrac{m\omega^2 r}{2e}$ (2)

Следовательно, $U = E_{\text{ср}} R = \dfrac{m\omega^2 R^2}{2e}$ (3)

Подставляя численные значения, получаем: $U = 1{,}1 \cdot 10^{-7}$ В (4)

Если магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра, сила Лоренца, направленная по радиусу, может сама сообщить электронам необходимое центростремительное ускорение: $F_{\text{Л}} = ma$. В таком случае электрическое поле не возникает и разделения зарядов не происходит. Учитывая, что $F_{\text{Л}} = e\upsilon B$, $\upsilon = \omega r$, и $a = \omega^2 r$,

получаем $e\omega B r = m\omega^2 r$, и, следовательно, $B = \dfrac{m\omega}{e}$ (5)

Подставляя численные значения, получаем: $B = 5{,}7 \cdot 10^{-9}$ Тл (6)

Заметим, что направление вектора $\vec{B}$, конечно, должно быть согласовано с направлением вращения (чтобы сила Лоренца была направлена к оси вращения).

Примерные критерии оценивания	Баллы
Получено выражение для E (1)	1
Получено выражение для $E_{\text{ср}}$ (2)	2
Получено выражение для U (3)	3
Получен численный результат (4)	1
Получено выражение для B (5)	2
Получен численный результат (6)	1