

Примерные критерии оценивания	Баллы
Записано условие возможности подъёма (1)	1
Записано условие равенства нулю суммы сил (2)	1
Записано условие возможности подъёма в виде неравенства (3)	1
Записано условие равновесия для моментов сил (4)	1
Получено выражение для силы натяжения троса (5)	1
Записано неравенство (6)	2
Получено выражение для тангенса угла β (7)	1
Получен окончательный результат (8)	2

Задача 11.2

Возможное решение

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

В рассматриваемом круговом процессе газ отдаёт количество теплоты Q_2 на участке 2-3 и получает количество теплоты Q_1 на участках 1-2 и 3-4, то есть

$$Q_1 = Q_{12} + Q_{34}, \quad Q_2 = Q_{23} \quad (1)$$

на участке 4-1 над рабочим телом совершается работа без теплообмена с внешней средой. Обозначим через T_i ($i = 1, 2, 3, 4$) температуры в состояниях с номерами i . Из первого начала термодинамики, поскольку газ одноатомный, с учётом уравнения Менделеева – Клапейрона

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, \quad p_1 V_2 = \nu R T_2, \quad p_3 V_2 = \nu R T_3, \quad p_3 V_4 = \nu R T_4, \quad (2)$$

получаем:
$$Q_1 = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + p_1 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} \nu R (T_4 - T_3) + p_3 (V_4 - V_2) =$$

$$= \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{5}{2} p_3 (V_4 - V_2), \text{ т.о.} \quad Q_1 = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) + \frac{5}{2} p_3 (V_4 - V_2). \quad (3)$$

Аналогично вычисляем
$$Q_2 = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = -\frac{3}{2} V_2 (p_1 - p_3). \quad (4)$$

С учётом (3) и (4), КПД тепловой машины определяется выражением

$$\eta = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_2} = 1 - \frac{3V_2(p_1 - p_3)}{5[p_1(V_2 - V_1) + p_3(V_4 - V_2)]}. \quad (5)$$

Подставляя в (5) численные значения, получаем $\eta \approx 0,133$ или $\eta \approx 13,3\%$. (6)

Примерные критерии оценивания	Баллы
Определены количества теплоты (1)	1
Записаны уравнения Менделеева – Клапейрона (2)	1
Вычислено количество теплоты (3)	2
Вычислено количество теплоты (4)	2
Получено выражение для КПД (5)	3
Получен численный результат (6)	1

Задача 11.3

Возможное решение

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

Поскольку сплошное равномерно заряженное кольцо в однородном поле вращаться не будет, заменим мысленно кольцо с зазором на сплошное, где на месте зазора добавим ещё и отрицательный заряд q' той же линейной плотности $q/(2\pi R)$, что и положительный

на сплошном кольце:
$$q' = -\frac{q}{2\pi R} l, \quad (1)$$

где R – радиус кольца. При включении электрического поля отрицательный заряд q' (или зазор, что эквивалентно) начнёт двигаться по дуге окружности по часовой стрелке и достигнет максимальной скорости в положении равновесия, когда пройдёт дугу $(\pi/2)R$ (в крайнем левом положении). Работа, совершенная электрическим полем при таком перемещении заряда q' , с учетом (1), определится выражением

$$A = q' \vec{E} \vec{S} = q' E S \cos \alpha = -q' E R = \frac{q E l}{2\pi}. \quad (2)$$

Здесь $\vec{S}$ – вектор перемещения заряда q' , идущий от точки A в крайнее левое его положение после поворота, α – угол между $\vec{S}$ и $\vec{E}$. С другой стороны работа (2) может быть представлена в виде изменения потенциальной энергии заряда q' :

	$A = -\Delta W_{\text{пот}}.$	(3)
Из (2) и (3) получаем:	$\Delta W_{\text{пот}} = -\frac{qEl}{2\pi}.$	(4)
Из закона сохранения энергии для этих двух положений заряда q' , имеем:		
	$\Delta W_{\text{кин}} + \Delta W_{\text{пот}} = 0 \rightarrow \Delta W_{\text{кин}} = -\Delta W_{\text{пот}},$	
или, с учетом (4):	$\frac{Mv^2}{2} = -\Delta W_{\text{пот}} = \frac{qlE}{2\pi}.$	(5)
Отсюда окончательно получаем	$v = \sqrt{\frac{qlE}{\pi M}}.$	(6)

Примерные критерии оценивания	Баллы
Определён отрицательный заряд (1), «заменяющий» зазор кольца	3
Вычислена работа электрического поля (2)	2
Найдено изменение потенциальной энергии (4)	2
Записан закон сохранения энергии (5)	2
Получен окончательный результат (6)	1

Задача 11.4

Возможное решение

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

По закону Ома для полной цепи	$I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{общ}} + r}.$	(1)
По формулам последовательного и параллельного соединения проводников общее сопротивление внешней цепи	$R_{\text{общ}} = \frac{R}{2} + \frac{R}{3} = \frac{5R}{6}.$	(2)
Используя закон Ома для участка цепи, напряжение на реостате	$U_p = \varepsilon - Ir,$	(3)
тогда	$U_p = \varepsilon \left(1 - \frac{r}{\frac{5R}{6} + r} \right) = \varepsilon \left(\frac{5R}{5R + 6r} \right).$	(4)
Используя формулы последовательного и параллельного соединения проводников, напряжение на нагрузке	$U_n = \frac{U_p}{2}.$	(5)
	$\frac{U_{n2}}{U_{n1}} = \frac{5R_2}{5R_2 + 6r} \frac{5R_1 + 6r}{5R_1} = \frac{R_2(5R_1 + 6r)}{R_1(5R_2 + 6r)} = \frac{2R(5R + 6r)}{R(5 \cdot 2R + 6r)} = \frac{10R + 12r}{10R + 6r}.$	(6)
Тогда	$\frac{U_{n2}}{U_{n1}} = \frac{112}{106} = 1,06.$	

Примерные критерии оценивания	Баллы
Использован закон (1)	1
Получено выражение (2)	1
Использовано выражение (3)	1
Получено выражение (4)	2
Использовано соотношение (5)	2
Получено отношение (6)	2
Получен численный ответ	1

Задача 11.5

Возможное решение

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

При движении шарика в отсутствие магнитного поля в среде в единицу времени выделялось постоянное количество теплоты $Q_1 = mgv$. (1)

Из условия постоянства тепловых потерь в единицу времени в обоих случаях следует, что через очень большое время после включения магнитного поля шарик будет двигаться с постоянной скоростью. Поскольку движение происходит в вязкой среде, то через очень большое время оно станет прямолинейным и равномерным. Следовательно, сумма сил тяжести, вязкости и силы Лоренца будет при этом равна нулю. Обозначим скорость движения шарика при наличии магнитного поля через u . Из рисунка видно, что шарик будет двигаться по прямой, составляющей с вертикалью угол α , причём

$$\sin \alpha = \frac{F_L}{mg} = \frac{quB}{mg}. \quad (2)$$

Т.к. сила Лоренца не совершает работы, то количество теплоты, выделяющееся в единицу, времени, равно работе, которую совершает за это время сила тяжести:

$$Q_2 = mgu \cos \alpha. \quad (3)$$

По условию задачи $Q_1/Q_2 = n$, поэтому из (1) и (3) имеем: $mgv = n mgu \cos \alpha$. (4)

Исключая из уравнений (2) и (4) угол α :

$$\begin{aligned} m^2 g^2 v^2 &= n^2 m^2 g^2 u^2 \cos^2 \alpha = n^2 m^2 g^2 u^2 (1 - \sin^2 \alpha) = \\ &= n^2 m^2 g^2 u^2 \left(1 - \frac{q^2 u^2 B^2}{m^2 g^2} \right) = n^2 m^2 g^2 u^2 - n^2 q^2 B^2 u^4, \end{aligned}$$

получаем уравнение относительно скорости u

$$n^2 q^2 B^2 u^4 - n^2 m^2 g^2 u^2 + m^2 g^2 v^2 = 0. \quad (5)$$

Решая это уравнение относительно u^2 , находим:

$$u_{1,2}^2 = \frac{1}{2n^2 q^2 B^2} \left(n^2 m^2 g^2 \pm \sqrt{(n^2 m^2 g^2)^2 - 4n^2 q^2 B^2 m^2 g^2 v^2} \right) = \frac{mg}{2nq^2 B^2} \left(n m g \pm \sqrt{n^2 m^2 g^2 - 4q^2 B^2 v^2} \right),$$

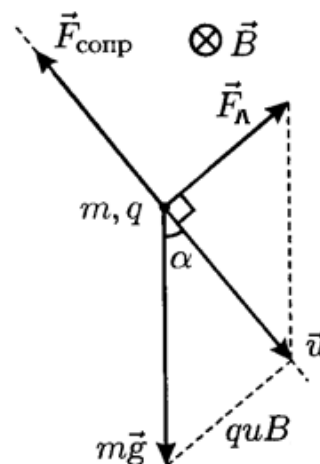
$$\text{т.о.} \quad u_{1,2}^2 = \frac{mg}{2nq^2 B^2} \left(mgn \pm \sqrt{m^2 g^2 n^2 - 4q^2 v^2 B^2} \right). \quad (6)$$

Из (6) видно, что решение существует при условии $m^2 g^2 n^2 > 4q^2 v^2 B^2$, (7)

откуда $B \leq \frac{mgn}{2qv}$.

Следовательно, описанное в условии задачи движение возможно при максимальном

значении индукции магнитного поля $B_{\max} = \frac{mgn}{2qv}$. (8)



Примерные критерии оценивания	Баллы
Записано выражение для количества теплоты (1)	1
Получено соотношение (2)	1
Записано выражение для количества теплоты (3)	1
Получено уравнение (4)	1
Получено уравнение (5)	2
Записано решение уравнения (5) относительно u^2 (6)	2
Получен окончательный результат (8)	2