

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада
2021-2022
ФИЗИКА
10 класс

1 Вариант. II этап.

Задача 1

Сосулька, падающая без начальной скорости, последнюю треть пути пролетела за время $t = 0.7$ с. С какой высоты упала сосулька? $g = 10$ м/с².

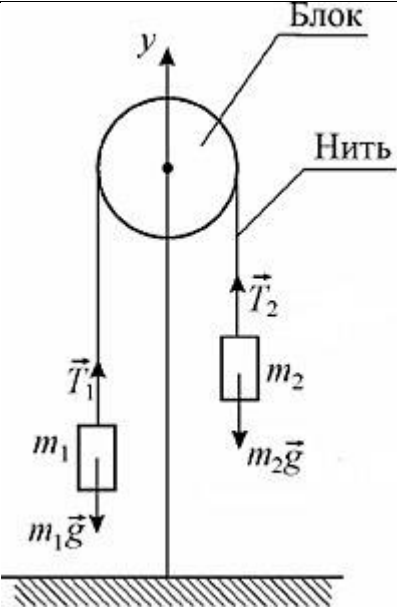
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Запись полной системы кинематических уравнений, позволяющих определить H – искомую высоту.	5
1.1) Например, $H = \frac{g(t_0 + t)^2}{2}$ $H - \frac{1}{3}H = \frac{gt_0^2}{2},$ где t_0 – время падения сосульки до высоты $H/3$ от земли.	
1.2) Альтернативно, $\frac{1}{3}H = v_1 t + \frac{gt^2}{2}$ $v_1 = gt_0$ $H = \frac{g(t_0 + t)^2}{2}$ где v_1 – скорость сосульки на высоте $H/3$, t_0 – время падения сосульки с высоты H до $H/3$	
2) Решение системы уравнений относительно H в общем виде (балл выставляется, если решения в общем виде нет, но численный ответ получен верно): $H = \frac{gt^2}{2(1 - \sqrt{\frac{2}{3}})^2} = \frac{3gt^2}{2(\sqrt{3} - \sqrt{2})^2}$	5
3) Численный ответ: $H = \frac{gt^2}{2(1 - \sqrt{\frac{2}{3}})^2} = 73 \text{ м}$	5
Итого	15

Задача 2

Грузы массами m и $3m$ связаны невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через неподвижный блок. В начальный момент времени груз массы m касается поверхности земли, а груз массы $3m$ удерживают выше груза массы m . После освобождения системы, груз массы $3m$ ударился об землю через $t = 0.4$ с имея скорость v . Найдите начальную разность высот между грузами H и скорость v . $g = 10 \text{ м/с}^2$.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению		Баллы
<p>1) Рисунок с указанием сил. Силы натяжения нити T_1 и T_2 могут быть сразу обозначены T, в силу того, что нить невесома.</p>		5
<p>2) Второй закон Ньютона:</p> $ma_1 = T - mg$ $3ma_2 = T - 3mg,$ <p>где a_1 и a_2 – проекции ускорений тел на ось Oy.</p>		1+1
<p>3) Ускорения тел сразу могут быть записаны одинаковыми с учётом направлений, в силу нерастяжимости нити:</p> $a_1 = -a_2 = a$		1
<p>4) Решая совместно 2) и 3) относительно a:</p> $a = \frac{g}{2}$		2
<p>5) Скорость груза $3m$ перед ударом:</p> $v = at = 2 \text{ м/с}$		2
<p>6) Разность высот:</p> $H = \frac{at^2}{2} = 0.4 \text{ м}$		3
<p>Итого</p>		15

Оценка заданий №№ 1 – 2 по 15 баллов

Задача 3

Десять последовательно соединённых одинаковых резисторов подсоединены к батарее с напряжением $U_0 = 11$ В. Показания вольтметра, подключённого параллельно к 5 резисторам, составляют $U_5 = 4.4$ В. Определите показания вольтметра U_1 , если его подключить параллельно одному резистору, и показания вольтметра U_9 , если его подключить параллельно девяти резисторам.

Примечание: батарея идеальная, её внутренним сопротивлением можно пренебречь.

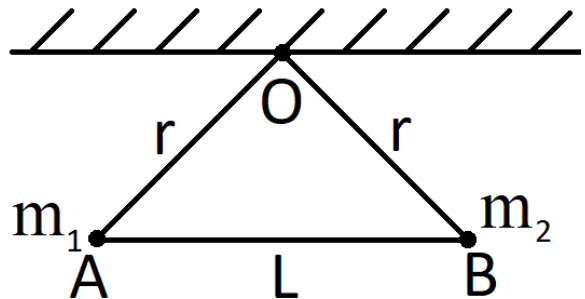
Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Введено сопротивление вольтметра R_V ЛИБО показано, что в случае идеального вольтметра, его показания при подключении к 5 резисторам будут 5.5 В, что противоречит условию.	4
Применяя законы Ома для полной цепи и участка цепи, записано напряжение на вольтметре в первом случае. Например, общий ток в цепи в первом случае: $I_5 = \frac{U_0}{5R + \frac{5R R_V}{5R + R_V}}$ 2) Показания вольтметра: $U_5 = U_0 - 5R I_5 = U_0 - 5R \frac{U_0}{5R + \frac{5R R_V}{5R + R_V}} = U_0 - \frac{U_0}{1 + \frac{R_V}{5R + R_V}}$	4
Не поддаваясь слабине подставить числа: $\frac{U_0}{1 + \frac{R_V}{5R + R_V}} = U_0 - U_5$ $\frac{U_0}{U_0 - U_5} = 1 + \frac{R_V}{5R + R_V} = \frac{5R + 2R_V}{5R + R_V}$ $\frac{U_0}{U_0 - U_5} (5R + R_V) = 5R + 2R_V$ $\frac{U_0}{U_0 - U_5} 5R + \frac{U_0}{U_0 - U_5} R_V = 5R + 2R_V$ $\left(\frac{U_0}{U_0 - U_5} - 1\right) 5R = 2R_V - \frac{U_0}{U_0 - U_5} R_V$ $\left(\frac{U_5}{U_0 - U_5}\right) 5R = R_V \frac{U_0 - 2U_5}{U_0 - U_5}$ Ещё немного: $5RU_5 = R_V(U_0 - 2U_5)$ 3) Вы справились: $R_V = \frac{5U_5}{U_0 - 2U_5} R = \frac{5 \cdot 4.4}{11 - 2 \cdot 4.4} = \frac{22}{11 - 8.8} R = 10R$	4

Если участник сразу подставил значения напряжений, то выставляется полный балл за этот критерий	
При подключении вольтметра к одному резистору, общий ток в цепи: $I_1 = \frac{U_0}{9R + \frac{R R_V}{R + R_V}} = \frac{U_0}{9R + \frac{10}{11}R} = \frac{11 U_0}{109 R}$ 4) Показания вольтметра: $U_1 = U_0 - 9R I_1 = U_0 - 9R \frac{11 U_0}{109 R} = \frac{10}{109} U_0 = 1.01 \text{ В}$	4
При подключении вольтметра к девяти резисторам, общий ток в цепи: $I_9 = \frac{U_0}{R + \frac{9R R_V}{9R + R_V}} = \frac{U_0}{R + \frac{90}{19}R} = \frac{19 U_0}{109 R}$ 5) Показания вольтметра: $U_9 = U_0 - R I_9 = U_0 - \frac{19}{109} U_0 = \frac{90}{109} U_0 = 9.08 \text{ В}$	4
Можно увидеть, что $U_1 + U_9 \neq U_0$	
Итого	20

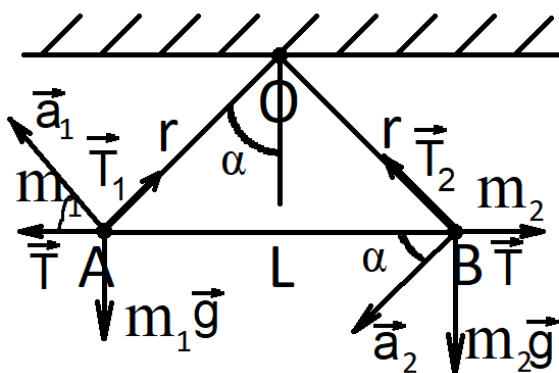
Задача 4

Два груза массами m_1 и m_2 с помощью невесомых нерастяжимых нитей длины r каждая закреплены в одной точке подвеса O . Также грузы соединены невесомым стержнем длины $L < 2r$. В начальный момент времени стержень удерживают в горизонтальном положении, затем отпускают. Определите ускорения грузов m_1 и m_2 . Укажите на рисунке направление этих ускорений.



Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Рисунок с указанием сил. Поскольку нити невесомы, силы натяжения нитей \vec{T}_1 и \vec{T}_2 направлены вдоль нитей. Поскольку стержень невесом, то силы упругости \vec{T} направлены вдоль стержня.	4



2) Поскольку начальные скорости грузов равны нулю, то грузы, начиная движение по окружности с центром в точке O , не имеют центростремительного ускорения, а только тангенциальное. Значит ускорения грузов \vec{a}_1 и \vec{a}_2 направлены перпендикулярно нитям	4
3) Второй закон Ньютона для грузов: $m_1 a_1 = T \cos \alpha - m_1 g \sin \alpha$ $m_2 a_2 = m_2 g \sin \alpha - T \cos \alpha,$ где a_1 и a_2 – проекции ускорений тел на ось Oy .	2+2
4) Ускорения тел равны по модулю: $a_1 = a_2 = a$	2
5) Из геометрии задачи: $\sin \alpha = \frac{L}{2r}$	2
6) Решая совместно 3) и 4) относительно a : $a = \frac{ m_2 - m_1 }{m_1 + m_2} g \frac{L}{2r}$	2
7) На рисунке ускорение указано исходя из условия $m_2 > m_1$, при обратном соотношении направление ускорений будет противоположным. При равенстве система будет находиться в равновесии.	2
Итого	20

Оценка заданий №№ 3 – 4 по 20 баллов

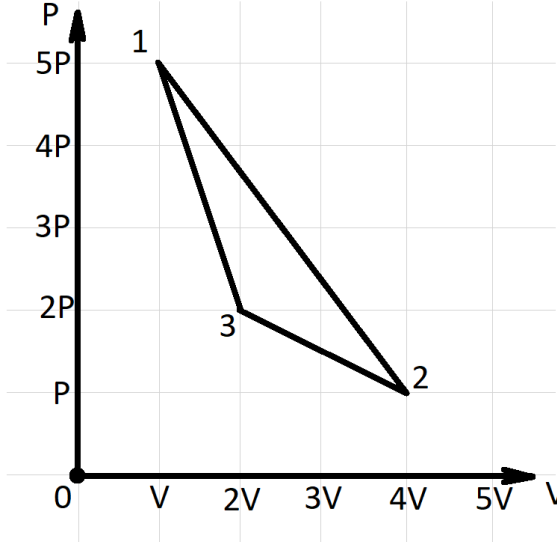
Задача 5

Рабочим телом тепловой машины является идеальный одноатомный газ. Замкнутый цикл, по которому работает машина в координатах (P, V) состоит из отрезков, соединяющих точки с координатами: $(5P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 4V_0) \rightarrow (2P_0, 2V_0) \rightarrow (5P_0, V_0)$. Определите минимальную и максимальную температуры газа за цикл, а также совершённую газом за цикл работу.

Примечание: количество газа ν .

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
---	-------

<p>1) График процесса в координатах (P, V):</p>		5
<p>2) Работу газа за цикл (площадь внутри графика) можно определить, например, как сумму или разность площадей простых геометрических фигур – прямоугольников, треугольников и трапеций. Например:</p>	$A = 9P_0V_0 - 3P_0V_0 - \left(2 + \frac{3}{2}\right)P_0V_0 = \frac{5}{2}P_0V_0$	5
<p>3) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для газа в цикле:</p> $PV = \nu RT$ <p>И того, что изотерма, проходящая через точку $(2P_0, 2V_0)$ лежит не выше любой другой точки графика, следует, что минимальная температура газа в цикле достигается в этой точке и равна:</p>	$T = \frac{4P_0V_0}{\nu R}$	5
<p>Нет возможности считать, что максимальная температура газа за цикл достигается в точке $(5P_0, V_0)$</p> <p>4) Прямолинейная зависимость давления газа на участке $(5P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 4V_0)$ описывается уравнением прямой:</p>	$\frac{P(V) - 5P_0}{P_0 - 5P_0} = \frac{V - V_0}{4V_0 - V_0}$ $\frac{P(V) - 5P_0}{-4P_0} = \frac{V - V_0}{3V_0}$ $P(V) = (-4P_0) \frac{V - V_0}{3V_0} + 5P_0$ $P(V) = -\frac{4P_0}{3V_0}V + \frac{19}{3}P_0$	3
<p>5) При подстановке 4) в 3), получим зависимость температуры газа от объёма на участке $(5P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 4V_0)$:</p>		3

$T = \frac{P_0}{\nu R} V \left(-\frac{4}{3V_0} V + \frac{19}{3} \right)$	
<p>6) Уравнение 5) описывает параболу с ветвями, направленными вниз. У такой параболы максимум достигается в вершине, положение которой посередине между корней:</p> $V_{max} = \frac{0 + \frac{19}{4} V_0}{2} = \frac{19}{8} V_0$	5
<p>7) Соответствующее давление:</p> $P_{max} = -\frac{4P_0}{3V_0} \frac{19}{8} V_0 + \frac{19}{3} P_0 = -\frac{19}{6} P_0 + \frac{19}{3} P_0 = \frac{19}{6} P_0$	
<p>8) Максимальная температура газа за цикл:</p> $T_{max} = \frac{1}{\nu R} \frac{19}{8} V_0 \frac{19}{6} P_0 = \frac{361 P_0 V_0}{48 \nu R}$	4
<p>Итого</p>	30
<p>Действительно:</p> $T_{max} = \frac{361 P_0 V_0}{48 \nu R} \approx 7.52 \frac{P_0 V_0}{\nu R} > 5 \frac{P_0 V_0}{\nu R}$	
<p>При решении задачи с применением производной, для зачёта критериев 6)-8) помимо нахождения критических точек, необходимо либо полное исследование промежутков знакопостоянства для определения, что найденная критическая точка – это в самом деле максимум, либо указание, что кривая, описываемая уравнением 5), – это парабола с ветвями вниз, либо другое пояснение, почему найденная критическая точка – именно максимум.</p>	

Оценка задания № 5 – 30 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения. Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!

Министерство науки и высшего образования РФ
Совет ректоров вузов Томской области
Открытая региональная межвузовская олимпиада
2021-2022
ФИЗИКА
10 класс

2 Вариант. II этап.

Задача 1

Двигаясь равнозамедленно, гоночный болид за последние $t = 0.8$ с прошёл $1/16$ всего тормозного пути. Найдите полное время торможения.

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Запись полной системы кинематических уравнений, позволяющих определить T – искомое время торможения.	5
1.1) Например, $L = v_0 T - \frac{aT^2}{2}$ $0 = v_0 - aT$ $L - \frac{1}{16}L = v_0(T - t) - \frac{a(T - t)^2}{2}$ где L – тормозной путь, v_0 – начальная скорость, a – ускорение болида.	
1.2) Альтернативно, рассматривая обратное движение болида: $\frac{1}{16}L = \frac{at^2}{2}$ $L = \frac{aT^2}{2}$	
2) Решение системы уравнений относительно H в общем виде (балл выставляется, если решения в общем виде нет, но численный ответ получен верно): $T = t / \sqrt{\frac{1}{16}}$	5
3) Численный ответ: $H = 4t = 3.2 \text{ с}$	5
Итого	15

Задача 2

Если пружину сжимать под действием силы mg , то её длина будет равна l . Если пружину растягивать под действием силы $2mg$, то её длина будет равна $2l$. Найдите длину пружины в нерастянутом состоянии l_0 и её жесткость k .

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Закон Гука для сжатия пружины: $mg = k(l_0 - l)$	4
2) Закон Гука для растяжения пружины: $2mg = k(2l - l_0)$	4
3) Решая совместно 1) и 2) относительно l_0 : $\frac{2mg}{mg} = \frac{k(2l - l_0)}{k(l_0 - l)}$ $2(l_0 - l) = (2l - l_0)$ Окончательно: $l_0 = \frac{4}{3}l$	4
4) Решая совместно 1) и 2), или 1) и 3) относительно k : $k = \frac{mg}{l_0 - l} = \frac{3mg}{l}$	3
Итого	15

Оценка заданий №№ 1 – 2 по 15 баллов

Задача 3

Двенадцать последовательно соединённых одинаковых резисторов подсоединены к батарее с напряжением $U_0 = 16$ В. Показания вольтметра, подключённого параллельно к 4 резисторам, составляют $U_4 = 4$ В. Определите показания вольтметра U_1 , если его подключить параллельно одному резистору, и показания вольтметра U_9 , если его подключить параллельно девяти резисторам.

Примечание: батарея идеальная, её внутренним сопротивлением можно пренебречь.

Решение:

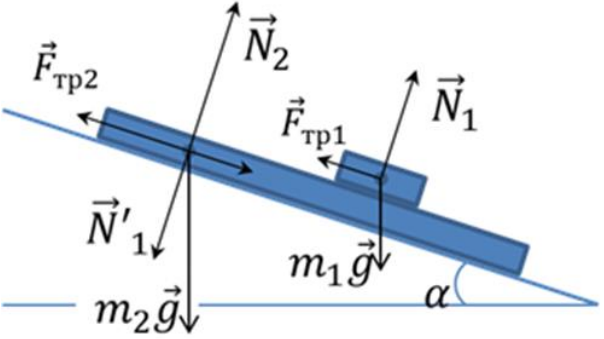
Комментарии к <u>возможному</u> решению	Баллы
1) Введено сопротивление вольтметра R_V ЛИБО показано, что в случае идеального вольтметра, его показания при подключении к 4 резисторам будут 5.33 В, что противоречит условию.	4
Применяя законы Ома для полной цепи и участка цепи, записано напряжение на вольтметре в первом случае. Например, общий ток в цепи в первом случае: $I_4 = \frac{U_0}{8R + \frac{4R R_V}{4R + R_V}}$	4

<p>2) Показания вольтметра:</p> $U_4 = U_0 - 8R I_4 = U_0 - 8R \frac{U_0}{8R + \frac{4R R_V}{4R + R_V}} = U_0 - \frac{U_0}{1 + \frac{R_V}{8R + 2R_V}}$	
<p>Не поддаваясь слабине подставить числа:</p> $\frac{U_0}{1 + \frac{R_V}{8R + 2R_V}} = U_0 - U_4$ $\frac{U_0}{U_0 - U_4} = 1 + \frac{R_V}{8R + 2R_V} = \frac{8R + 3R_V}{8R + 2R_V}$ $\frac{U_0}{U_0 - U_4} (8R + 2R_V) = 8R + 3R_V$ $\frac{U_0}{U_0 - U_4} 8R + \frac{U_0}{U_0 - U_4} 2R_V = 8R + 3R_V$ $\left(\frac{U_0}{U_0 - U_4} - 1\right)8R = 3R_V - \frac{U_0}{U_0 - U_4} 2R_V$ $\left(\frac{U_4}{U_0 - U_4}\right)8R = R_V \frac{U_0 - 3U_4}{U_0 - U_4}$ <p>Ещё немного:</p> $8RU_4 = R_V(U_0 - 3U_4)$ <p>3) Вы справились:</p> $R_V = \frac{8U_4}{U_0 - 3U_4} R = \frac{8}{16 - 3} R = 8R$ <p>Если участник сразу подставил значения напряжений, то выставляется полный балл за этот критерий</p>	4
<p>При подключении вольтметра к одному резистору, общий ток в цепи:</p> $I_1 = \frac{U_0}{11R + \frac{R R_V}{R + R_V}} = \frac{U_0}{11R + \frac{8}{9}R} = \frac{9}{107} \frac{U_0}{R}$ <p>4) Показания вольтметра:</p> $U_1 = U_0 - 11R I_1 = U_0 - 11R \frac{9}{107} \frac{U_0}{R} = \frac{8}{107} U_0 = 1.2 \text{ В}$	4
<p>При подключении вольтметра к девяти резисторам, общий ток в цепи:</p> $I_9 = \frac{U_0}{3R + \frac{9R R_V}{9R + R_V}} = \frac{U_0}{3R + \frac{72}{17}R} = \frac{17}{123} \frac{U_0}{R}$ <p>5) Показания вольтметра:</p> $U_9 = U_0 - 3R I_9 = U_0 - \frac{51}{123} U_0 = \frac{72}{123} U_0 = 9.4 \text{ В}$	4
<p>Итого</p>	20

Задача 4

На наклонной плоскости с углом α в основании покоится плоский брусок массой m_2 , по которому скользит шайба массой m_1 . Коэффициент трения между шайбой и бруском μ_1 . При каких значениях коэффициента трения μ_2 между бруском и наклонной плоскостью брусок будет оставаться в покое?

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению		Баллы
1) Рисунок с указанием сил.		5
2) Запишем второй закон Ньютона для шайбы:	$\vec{N}_1 + \vec{F}_{\text{тр}1} + m_1 \vec{g} = m_1 \vec{a}.$	
3) В проекциях на оси координат:	$N_1 = m_1 g \cos \alpha$ $-F_{\text{тр}1} + m_1 g \sin \alpha = m_1 a$	4
4) Второй закон Ньютона для бруска:	$\vec{N}_2 + \vec{F}_{\text{тр}1} + m_2 \vec{g} + \vec{N}'_1 + \vec{F}_{\text{тр.пок.2}} = \mathbf{0}.$	
5) В проекциях на оси координат:	$N_2 = N_1 + m_2 g \cos \alpha = (m_1 + m_2) g \cos \alpha$ $F_{\text{тр}1} + m_2 g \sin \alpha - F_{\text{тр.пок.2}} = 0$	4
6) Брусок будет покоится, если сила трения, действующая на него будет уравновешивать остальные силы, при этом максимальное значение силы трения покоя равно силе трения скольжения (Идея об условии равновесия)		3
Применяя 2)-5) к условию 6):	$\mu_2 N_2 \geq F_{\text{тр.пок.2}} = F_{\text{тр}1} + m_2 g \sin \alpha$ $\mu_2 N_2 \geq \mu_1 N_1 + m_2 g \sin \alpha$ $\mu_2 (m_1 + m_2) g \cos \alpha \geq \mu_1 m_1 g \cos \alpha + m_2 g \sin \alpha$	4
7) Окончательно:	$\mu_2 \geq \mu_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2} + \frac{m_2}{m_1 + m_2} \text{tg} \alpha$	
Итого		20
Требования записывать все проекции уравнения Ньютона нет, только необходимые для решения.		

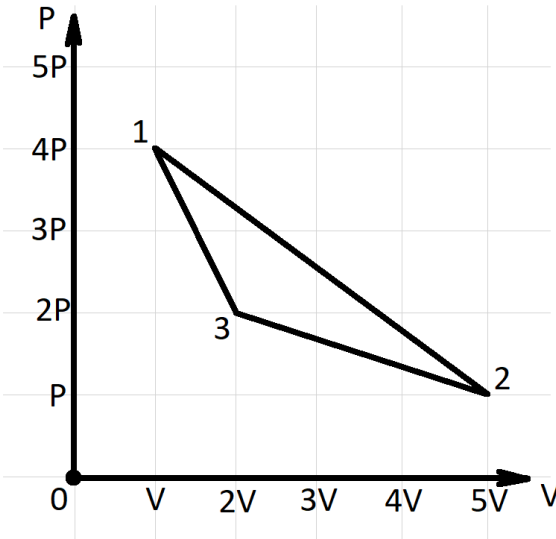
Оценка заданий №№ 3 – 4 по 20 баллов

Задача 5

Рабочим телом тепловой машины является идеальный одноатомный газ. Замкнутый цикл, по которому работает машина в координатах (P, V) состоит из отрезков, соединяющих точки с координатами: $(4P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 5V_0) \rightarrow (2P_0, 2V_0) \rightarrow (4P_0, V_0)$. Определите минимальную и максимальную температуры газа за цикл, а также совершённую газом за цикл работу.

Примечание: количество газа ν .

Решение:

Комментарии к <u>возможному</u> решению		Баллы
<p>1) График процесса в координатах (P, V):</p>		5
<p>2) Работу газа за цикл (площадь внутри графика) можно определить, например, как сумму или разность площадей простых геометрических фигур – прямоугольников, треугольников и трапеций. Например:</p> $A = 10P_0V_0 - 3P_0V_0 - \left(3 + \frac{3}{2}\right)P_0V_0 = \frac{5}{2}P_0V_0$		5
<p>3) Из уравнения Менделеева-Клапейрона для газа в цикле:</p> $PV = \nu RT$ <p>И того, что изотерма, проходящая через точку $(2P_0, 2V_0)$ лежит не выше любой другой точки графика, следует, что минимальная температура газа в цикле достигается в этой точке и равна:</p> $T = \frac{4P_0V_0}{\nu R}$		5
<p>Нет возможности считать, что максимальная температура газа за цикл достигается в точке $(P_0, 5V_0)$</p> <p>4) Прямолинейная зависимость давления газа на участке $(4P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 5V_0)$ описывается уравнением прямой:</p>		3

$\frac{P(V) - 4P_0}{P_0 - 4P_0} = \frac{V - V_0}{5V_0 - V_0}$ $\frac{P(V) - 4P_0}{-3P_0} = \frac{V - V_0}{4V_0}$ $P(V) = (-3P_0) \frac{V - V_0}{4V_0} + 4P_0$ $P(V) = -\frac{3P_0}{4V_0}V + \frac{19}{4}P_0$	
<p>5) При подстановке 4) в 3), получим зависимость температуры газа от объёма на участке $(4P_0, V_0) \rightarrow (P_0, 5V_0)$:</p> $T = \frac{P_0}{\nu R} V \left(-\frac{3}{4V_0} V + \frac{19}{4} \right)$	3
<p>6) Уравнение 5) описывает параболу с ветвями, направленными вниз. У такой параболы максимум достигается в вершине, положение которой посередине между корнями:</p> $V_{max} = \frac{0 + \frac{19}{3}V_0}{2} = \frac{19}{6}V_0$	5
<p>7) Соответствующее давление:</p> $P_{max} = -\frac{3P_0}{4V_0} \frac{19}{6} V_0 + \frac{19}{4} P_0 = -\frac{19}{8} P_0 + \frac{19}{4} P_0 = \frac{19}{8} P_0$	
<p>8) Максимальная температура газа за цикл:</p> $T_{max} = \frac{1}{\nu R} \frac{19}{6} V_0 \frac{19}{8} P_0 = \frac{361 P_0 V_0}{48 \nu R}$	4
<p>Итого</p>	30
<p>Действительно:</p> $T_{max} = \frac{361 P_0 V_0}{48 \nu R} \approx 7.52 \frac{P_0 V_0}{\nu R} > 5 \frac{P_0 V_0}{\nu R}$	
<p>При решении задачи с применением производной, для зачёта критериев 6)-8) помимо нахождения критических точек, необходимо либо полное исследование промежутков знакопостоянства для определения, что найденная критическая точка – это в самом деле максимум, либо указание, что кривая, описываемая уравнением 5), – это парабола с ветвями вниз, либо другое пояснение, почему найденная критическая точка – именно максимум.</p>	

Оценка задания № 5 – 30 баллов

Внимание!

Задача считается решённой, если, помимо правильного ответа, приведены необходимые объяснения. Решение оценивается поэтапно.

Желаем успеха!