

Полиетропический процесс

Процесс, в котором теплоёмкость газа остаётся постоянной, называется *политропическим*. График политропического процесса называется соответственно *политропой*.

Оказывается, что политропа является графиком степенной функции; а именно, уравнение политропы имеет вид $pV^n = \text{const}$, где константа n называется *показателем политропы*.

ЗАДАЧА 1. (*Всеросс., 2017, МЭ, 11*) Один моль аргона участвует в процессе, в ходе которого теплоёмкость остаётся постоянной и равной $C = 10$ Дж/К. При этом аргон увеличил свой объём, совершив работу $A = 40$ Дж. Найдите изменение температуры аргона и подведённое к нему количество теплоты.

$$\Delta T = \frac{A}{\nu} \frac{C - C_0}{C} = 10 \text{ К}$$

ЗАДАЧА 2. (*«Росатом», 2017, 11*) С двумя молями гелия проводят процесс, в котором его молярная теплоёмкость не меняется и равна C . Известно, что гелий совершил в этом процессе работу A . Найти изменение температуры гелия в этом процессе.

$$\Delta T = \frac{A}{\nu C} \frac{C - C_0}{C} = 10 \text{ К}$$

ЗАДАЧА 3. Изотермический, изобарный, адиабатический процессы являются политропическими. Чему равны их показатели политропы?

ЗАДАЧА 4. (*МФТИ, 1999*) Моль гелия расширяется в процессе $p^2V = \text{const}$ так, что изменение температуры газа составило $\Delta T = 0,3$ К. Какую по величине работу совершил газ, если относительные изменения его давления $\Delta p/p$, объёма $\Delta V/V$ и температуры $\Delta T/T$ малы?

$$A = \nu R \Delta T = 10 \text{ Дж}$$

ЗАДАЧА 5. (*МОШ, 2006, 10*) В цилиндре под поршнем находится при нормальных условиях порция гелия в количестве $\nu = 2$ моль. Ей сообщают количество теплоты $Q = 100$ Дж, при этом температура гелия увеличивается на $\Delta T = 10$ К. Оцените изменение объёма газа в этом процессе, считая его теплоёмкость постоянной.

$$\Delta V \approx \nu R \Delta T = 10 \text{ л}$$

ЗАДАЧА 6. (*МОШ, 2015, 10*) Один моль идеального газа участвует в циклическом процессе $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ тепловой машины, работающей в режиме теплового двигателя. В состоянии 1 газ имеет температуру T_1 и объём V_1 . Известно, что все переходы газа из одного состояния в другое — политропические. Показатель политропы процесса 2–3 на единицу больше показателя политропы процесса 3–1 и на единицу меньше показателя политропы процесса 1–2. В процессе 1–2 объём газа увеличивается в k раз. Один из процессов цикла — изотермический, причём в этом процессе объём газа изменяет своё значение в максимально широких пределах в этом цикле.

- 1) Определите объём и температуру газа в состоянии 3.
- 2) Изобразите на pV -диаграмме цикл, соответствующий условию задачи, указав для каждого из процессов его показатель политропы.

$$T_3 = T_1, V_3 = k V_1, p_3 = p_1$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2015, 11) Один моль идеального газа участвует в циклическом процессе $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ холодильной машины. В состоянии 1 газ имеет температуру T_1 и объём V_1 . Известно, что все переходы газа из одного состояния в другое — политропические. Показатель политропы процесса 2–3 на единицу больше показателя политропы процесса 1–2 и на единицу меньше показателя политропы процесса 3–1. В процессе 1–2 объём газа уменьшается в k раз. Один из процессов цикла — изотермический.

- 1) Определите объём газа в состоянии 3.
- 2) Изобразите на pV -диаграмме цикл, соответствующий условию задачи, указав для каждого из процессов его показатель политропы.
- 3) Чему может быть равна температура газа в состоянии 3?

$$\left(\text{модуль инварианта эквивалентен } \gamma_L = \gamma_L \text{ или } \gamma/L = \gamma_L, \gamma/L = \gamma_L \text{ (здесь } \gamma_L = \gamma_L \text{)} \right)$$

ЗАДАЧА 8. Что представляет собой график политропы $pV^n = p_0V_0^n$ в координатах x, y , где

$$x = \ln \frac{V}{V_0}, \quad y = \ln \frac{p}{p_0} ?$$

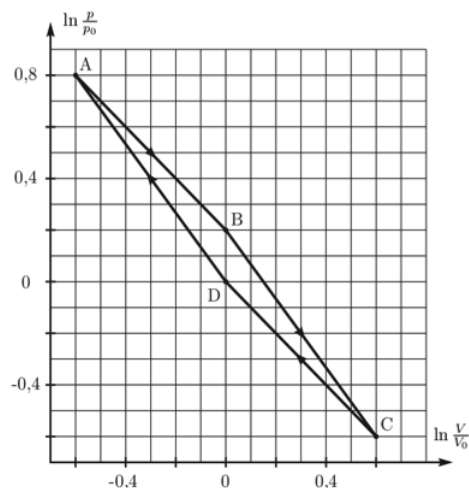
ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2015, РЭ, 11) На рисунке представлен график циклического процесса. Рабочее тело — многоатомный идеальный газ. Найдите КПД этого процесса.

Примечание. Процесс с постоянной теплоёмкостью C называется политропическим и для идеального газа задаётся уравнением

$$pV^{\frac{C_p - C}{C_V - C}} = \text{const},$$

где C_p — теплоёмкость газа при постоянном давлении, а C_V — теплоёмкость газа при постоянном объёме.

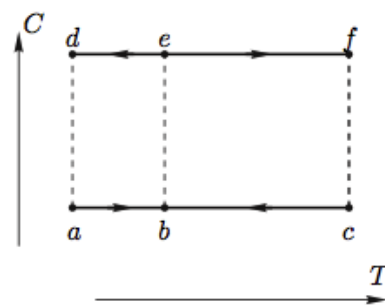
$$\left(\gamma_0 \approx \frac{C_p - C}{C_V - C} - \gamma = \mu \right)$$



ЗАДАЧА 10. Выведите уравнение политропы:

$$pV^{\frac{C - C_p}{C - C_V}} = \text{const}.$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2014, финал, 11) В архиве лорда Кельвина нашли график циклического процесса, производённого над неизвестным количеством ν азота. В координатах (C, T) , где C — теплоёмкость газа, а T — температура, график цикла представляет собой четыре отрезка $abefcbda$ (см. рисунок). К сожалению, положение начала координат оказалось утраченным. Пояснительные записи указывали, что $C_d = 1,000$ Дж/К, $C_a = 0,715$ Дж/К, а также что

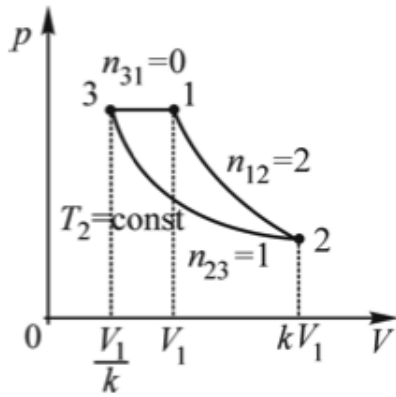


$$T_c - T_b = 2(T_b - T_a) = 200 \text{ К} \quad \text{и} \quad \frac{p_c}{p_a} = \frac{V_c}{V_a}.$$

- 1) Найдите работу газа A за цикл и КПД цикла η .
- 2) Определите значения температур T_a , T_b и T_c .
- 3) Нарисуйте график цикла в координатах (p, V) и определите количество вещества ν .

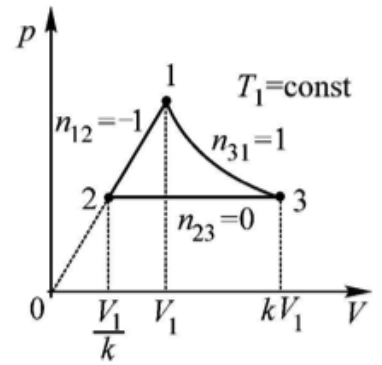
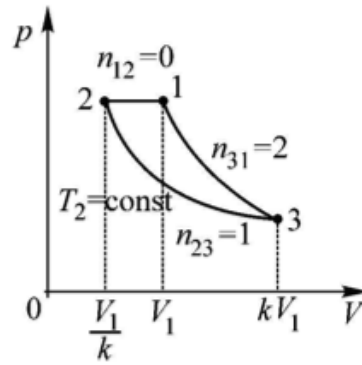
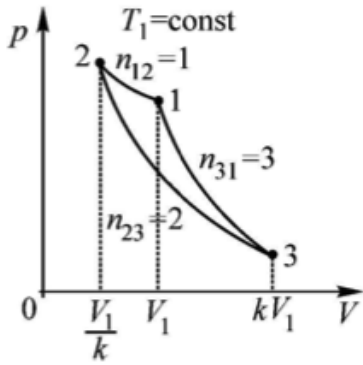
(1) $A = 28,5$ Дж, $\eta = 0,105$; (2) $T_a = 100$ К, $T_b = 200$ К, $T_c = 400$ К; (3) см. конспект

Ответ к задаче 6



Ответ к задаче 7

Возможны три pV-диаграммы:



Ответ к задаче 11

