

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского**

Комплект индивидуальных контрольных заданий по термодинамике

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета
для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки
10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем,
02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии

Нижний Новгород
2020

УДК 536.7
ББК 22.365
К-63

К-63 Комплект индивидуальных контрольных заданий по термодинамике: Составители: Менсов С. Н., Сычугин С. А. Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. – 21 с.

Рецензент: кандидат физ.-мат. наук, доцент **А. В. Маругин**

Учебно-методическое пособие содержит комплект заданий по разделу «Термодинамика» курса общей физики и предназначено для студентов первого курса радиофизического факультета ННГУ для самостоятельной подготовки к экзамену, а также для проведения контрольной работы.

Ответственные за выпуск:
председатель методической комиссии радиофизического факультета ННГУ,
д.т.н., доцент **А. В. Калинин**
зам.председателя методической комиссии радиофизического факультета ННГУ,
д.ф.-м.н., профессор **Е. З. Грибова**

УДК 536.7
ББК 22.365

© Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2020

Введение

Настоящее учебно-методическое пособие содержит комплект заданий по разделу «Термодинамика» курса общей физики для проведения контрольной работы и самостоятельной подготовки к экзамену. В заданиях приведены термодинамические циклы, состоящие из различных политропических процессов, для одноатомных и двухатомных газов. Представленный набор заданий позволяет обеспечить каждого студента в академической группе индивидуальным заданием. Перед студентами ставится следующий типичный ряд вопросов:

1. На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

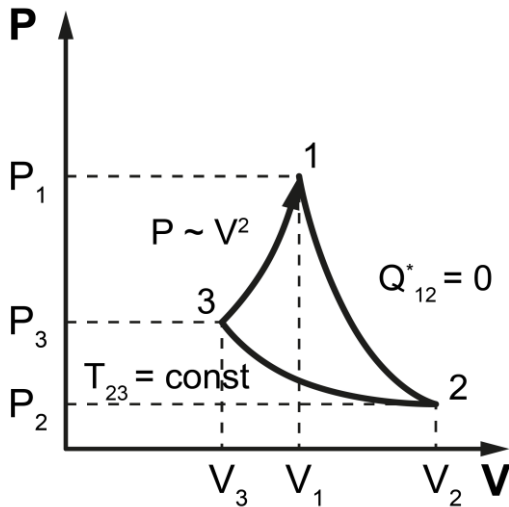
2. Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

3. Построить графики цикла в осях:

(P,T) ; (V,T) ; (U,T) ; (S,T) .

которые охватывают практически все темы раздела термодинамика курса общей физики, который читается на радиофизическом факультете.

Пример задания с решением



Дано: газ двухатомный, $T_{max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $V_3 = 1/2 \text{ л}$.

На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{max} и T_{min} .

Построить графики цикла в осях: (P,T) ; (V,T) ; (U,T) ; (S,T) .

Решение:

Запишем уравнения процессов на каждом участке заданного цикла в переменных (P,V) (см. график в условии задачи).

Процесс «1-2» - адиабатический процесс, т.к. по условию в данном процессе отсутствует теплообмен с окружающей средой ($Q^*_{12} = 0$). Уравнение адиабаты

$$pV^\gamma = const, \quad (1)$$

где $\gamma = 7/5$ – показатель адиабаты идеального двухатомного газа.

Процесс «2-3» - изотермический процесс, т.к. по условию в данном процессе температура остается неизменной ($T_{23} = const$). Уравнение изотермы

$$pV = const. \quad (2)$$

Процесс «3-1» - процесс, в котором по условию давление газа изменяется прямо пропорционально квадрату занимаемого газом объема ($p \sim V^2$). Уравнение процесса «3-1»

$$pV^{-2} = const. \quad (3)$$

Найдем уравнения процессов в переменных (P,T) . Для этого из уравнений (1)-(3) процессов в переменных (P,V) выразим объем V и подставим в уравнение Клапейрона-Менделеева

$$pV = \nu RT. \quad (4)$$

Для процесса «1-2» получим уравнение

$$pT^{1-\gamma} = const, \quad (5)$$

для процесса «2-3» -

$$T = const, \quad (6)$$

для процесса «3-1» -

$$pT^{\frac{2}{3}} = const. \quad (7)$$

Найдем уравнения процессов в переменных (V,T). Для этого из уравнений (1)-(3) процессов в переменных (P,V) выразим давление p и подставим в уравнение Клапейрона-Менделеева (4).

Для процесса «1-2» получим уравнение

$$VT^{\frac{1}{\gamma-1}} = const, \quad (5)$$

для процесса «2-3» -

$$T = const, \quad (6)$$

для процесса «3-1» -

$$VT^{\frac{1}{3}} = const. \quad (7)$$

Найдем теплоемкость газа

$$C = \frac{dQ^*}{dT} \quad (8)$$

на каждом из участков цикла.

В адиабатическом процессе «1-2» по условию подводимое газу тепло $Q^*_{12} = 0$, следовательно (см. уравнение (8)) теплоемкость газа в этом процессе $C_{12} = 0$ Дж/К.

Процесс «2-3» изотермический, т.е. газ на данном участке цикла не изменяет свою температуру, $dT_{23} = 0$. В тоже время объем газа уменьшается, значит газ совершает отрицательную работу, и, как следует из первого принципа термодинамики

$$Q^* = A + \Delta U, \quad (9)$$

количество подводимого к газу тепла уменьшается, $Q^*_{12} < 0$. Тогда получим, что теплоемкость $C_{23} = -\infty$ Дж/К.

Для нахождения теплоемкости на участке «3-1» запишем определение (8), используя первый принцип термодинамики (9)

$$C = \frac{dQ^*}{dT} = \frac{pdV + dU}{dT} = p \frac{dV}{dT} + C_V. \quad (10)$$

Теплоемкость двухатомного газа при постоянном давлении $C_V = (5/2)vR$, согласно классической теории теплоемкости. Для нахождения величины dV/dT найдем дифференциал уравнения (7)

$$d\left(VT^{\frac{1}{3}}\right) = dVT^{\frac{1}{3}} + V\left(-\frac{1}{3}\right)T^{-\frac{4}{3}}dT = 0, \quad (11)$$

откуда

$$\frac{dV}{dT} = \frac{1}{3}VT^{-1}. \quad (12)$$

Тогда из уравнения (10) для теплоемкости на участке «3-1» получаем

$$C_{31} = p \frac{1}{3}VT^{-1} + C_V = \frac{1}{3}\nu R + \frac{5}{2}\nu R = \frac{17}{6}\nu R \approx 0,94 \text{ Дж/К}, \quad (13)$$

где количество вещества ν найдено с помощью уравнения (4) по состоянию газа в точке «1»

$$\nu = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = 0,04 \text{ моль}. \quad (14)$$

Найдем как изменяется внутренняя энергия газа $U = C_V T = (5/2)\nu RT$ в каждом из процессов.

На участке «1-2» газ адиабатически охлаждается, следовательно его внутренняя энергия убывает. Для процесса «1-2» получим

$$\Delta U_{12} = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1) = -\frac{35}{16}\nu RT_1 = -\frac{35}{16}p_1 V_1 = -218 \text{ Дж}. \quad (15)$$

Процесс «2-3» – изотермический, следовательно внутренняя энергия газа, как и его температура, остается неизменной

$$\Delta U_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2) = 0 \text{ Дж}. \quad (16)$$

На участке «3-1» температура газа возрастает до изначального значения, т.е. изменение внутренней энергии по величине совпадает с участком «1-2»

$$\Delta U_{31} = \frac{5}{2}\nu R(T_1 - T_3) = -\Delta U_{12} = 218 \text{ Дж}. \quad (17)$$

Найдем работу, совершенную газом, на каждом участке цикла

$$A = \int p(V) dV. \quad (18)$$

На участке «1-2» газ адиабатически расширяется с V_1 до V_2 и совершает при этом работу

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{p_1 V_1^\gamma}{V^\gamma} dV = \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) = \frac{35}{16} p_1 V_1 = 218 \text{ Дж}. \quad (19)$$

Для вычисления интеграла мы воспользовались уравнением (1), в котором в качестве константы было взято значение $p_1 V_1^\gamma$ справедливое для начальной точки участка «1-2».

Аналогичный результат можно получить, воспользовавшись первым принципом термодинамики (9) для рассматриваемого адиабатического ($Q_{12}^* = 0$) процесса

$$A_{12} = -\Delta U_{12} = 218 \text{ Дж}. \quad (20)$$

На участке «2-3» газ изотермически сжимается с V_2 до V_3 и совершает при этом отрицательную работу, другими словами, над газом совершается работа $A_{23}^* = -A_{23}$,

$$A_{23} = \int_{V_2}^{V_3} \frac{p_3 V_3}{V} dV = p_3 V_3 \ln \frac{V_3}{V_2} = \frac{p_1 V_1}{8} \ln 2^{\frac{-17}{2}} = -\frac{17}{16} p_1 V_1 \ln 2 = -74 \text{ Дж.} \quad (21)$$

Для вычисления интеграла мы воспользовались уравнением (2), в котором в качестве константы было взято значение $p_3 V_3$ справедливое для конечной точки участка «2-3».

В процессе «3-1» газ совершает работу, расширяясь с V_3 до V_1 ,

$$A_{31} = \int_{V_3}^{V_1} \frac{p_1}{V_1^2} V^2 dV = \frac{p_1}{3V_1^2} (V_1^3 - V_3^3) = \frac{7}{24} p_1 V_1 = 29 \text{ Дж.} \quad (22)$$

Для вычисления интеграла мы воспользовались уравнением (3), в котором в качестве константы было взято значение $p_1 V_1^{-2}$ справедливое для конечной точки участка «3-1».

Найдем подводимую к газу теплоту Q^* , опираясь на первый принцип термодинамики (9).

В адиабатическом процессе «1-2» по условию теплообмена с окружающей средой не происходит,

$$Q_{12}^* = 0. \quad (23)$$

В изотермическом процессе «2-3» величина подводимого к газу тепла,

$$Q_{23}^* = A_{23} + \Delta U_{23} = -74 + 0 = -74 \text{ Дж,} \quad (24)$$

отрицательна, т.е. газ на участке «2-3» отдает тепло.

На участке «3-1» газ получает количество теплоты, равное

$$Q_{31}^* = A_{31} + \Delta U_{31} = 29 + 218 = 247 \text{ Дж.} \quad (25)$$

Найдем изменение энтропии

$$\Delta S = \int \frac{dQ^*}{T} \quad (26)$$

на каждом участке цикла.

В адиабатическом процессе «1-2» по условию подводимое газу тепло $Q_{12}^* = 0$, следовательно изменение энтропии газа в этом процессе

$$\Delta S_{12} = 0 \text{ Дж/К.} \quad (27)$$

Уравнение процесса «1-2» можно записать в виде

$$S = \text{const.} \quad (28)$$

Чтобы найти изменение энтропии в изотермическом процессе «2-3», воспользуемся первым принципом термодинамики (9) и уравнением Клапейрона-Менделеева (4)

$$\Delta S_{23} = \int_2^3 \frac{dQ_{23}^*}{T} = \int_2^3 \frac{dU + pdV}{T} = \int_2^3 \frac{p}{T} dV = \nu R \int_2^3 \frac{dV}{V} = \nu R \ln \frac{V_3}{V_2}, \quad (29a)$$

$$\Delta S_{23} = -\frac{17}{2} \nu R \ln 2 \approx -2 \text{ Дж/К}. \quad (29б)$$

Уравнение процесса «2-3» можно записать в виде

$$T = const. \quad (30)$$

Изменение энтропии на участке «3-1» найдем, воспользовавшись определением теплоемкости (8) и найденным для участка «3-1» значением теплоемкости C_{31} ,

$$\Delta S_{31} = \int_3^1 \frac{dQ_{31}^*}{T} = \int_3^1 \frac{C_{31} dT}{T} = C_{31} \int_3^1 \frac{dT}{T} = C_{31} \ln \frac{T_1}{T_3} \approx 2 \text{ Дж/К}. \quad (31)$$

Уравнение процесса «3-1» можно записать в виде

$$S = S_0 + C_{31} \ln \frac{T}{T_3}. \quad (32)$$

Найдем КПД заданного цикла и сравним с КПД соответствующего (с такими же T_{\max} и T_{\min}) цикла Карно. По определению КПД

$$\eta = 1 - \frac{A^*}{Q}, \quad (33)$$

где A^* – совершенная над газом работа за цикл, Q – подведенная к газу теплота за цикл. Тогда КПД заданного цикла

$$\eta = 1 - \frac{A^*}{Q} = 1 - \frac{\frac{17}{16} p_1 V_1 \ln 2}{\frac{119}{48} p_1 V_1} = 1 - \frac{51}{119} \ln 2 = 0,7 = 70\%. \quad (34)$$

КПД соответствующего цикла Карно получим, используя максимальную и минимальную температуры в заданном цикле,

$$\eta = 1 - \frac{T_n}{T_x} = 1 - \frac{T_1}{T_{23}} = 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8} = 87,5\%. \quad (35)$$

Таким образом, КПД заданного цикла меньше соответствующего цикла Карно на 17,5 %.

Для построения графиков **найдем давление P , объем V и температуру T газа в узловых** (в состояниях «1», «2» и «3») **точках.**

В состоянии «1» газ по условию находится при давлении $P_1 = 1 \text{ атм} \approx 10^5 \text{ Па}$, имеет объем $V_1 = 1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$ и температуру $T_1 = T_{\max} = 300^\circ \text{ К}$. Температура T_1 максимальна в данном цикле, т.к. точка «1» находится на самой высокой для данного цикла изотерме.

В состоянии «3» газ по условию находится в объеме $V_3 = 1/2 \text{ л} = 5 \times 10^{-4} \text{ м}^3$ (т.е. $V_1 = 2V_3$). Зная связь давления и объема в процессе «3-1», найдем давление P_3 . Составим пропорцию:

$$\frac{P_3}{V_3^2} = \frac{P_1}{V_1^2},$$

откуда получим, что $P_3 = P_1 (V_3 / V_1)^2 = P_1 / 4 = 1/4 \text{ атм} = 0,25 \times 10^5 \text{ Па}$

Температуру T_3 найдем с помощью уравнения Клапейрона-Менделеева (4)

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R} = \frac{p_3 V_3}{p_1 V_1} T_1,$$

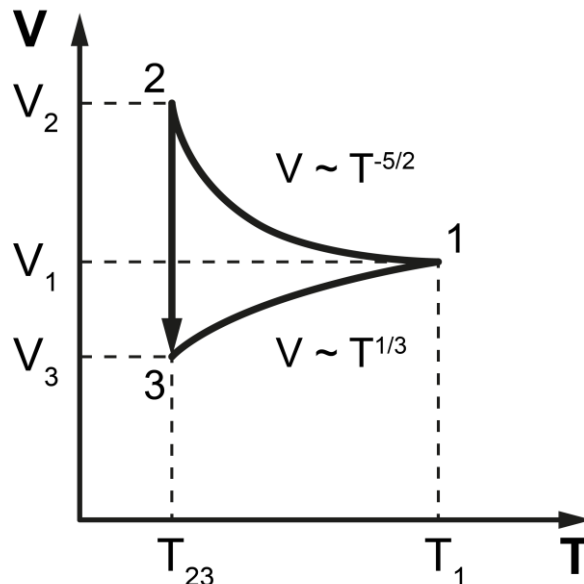
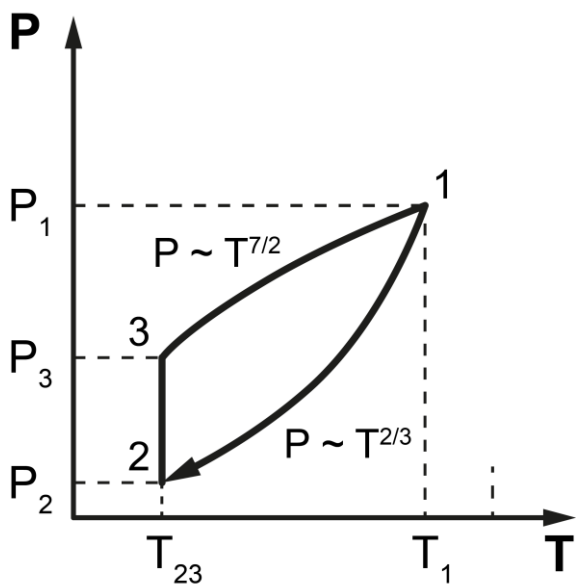
откуда $T_3 = T_1 / 8 = 37,5^\circ \text{ К}$

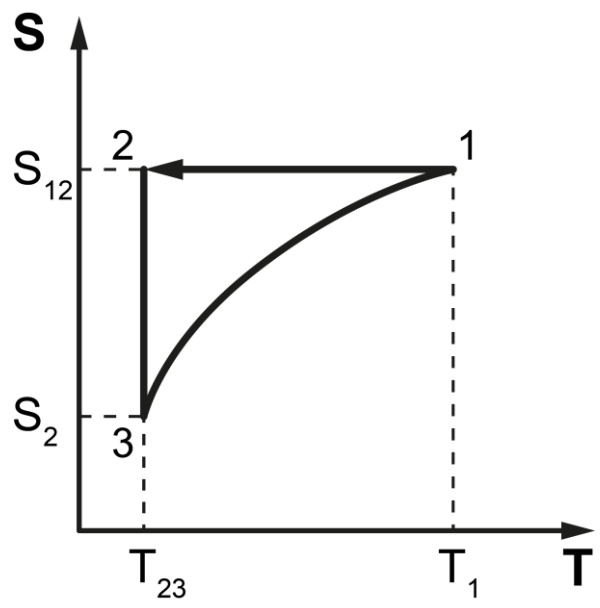
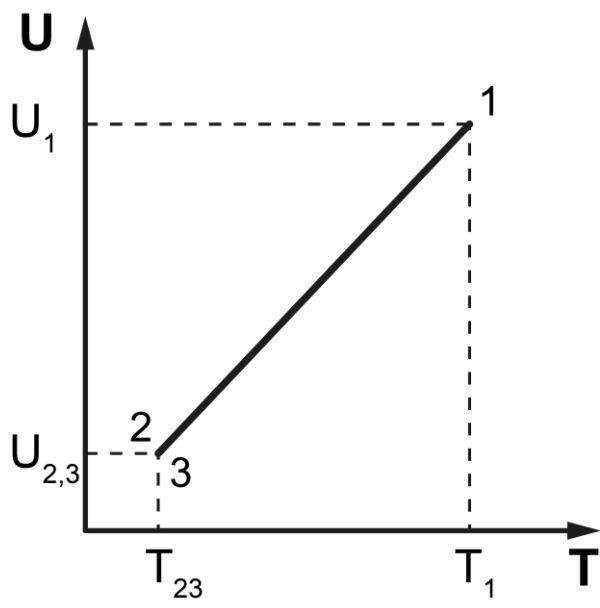
В состоянии «2» газ находится при температуре $T_3 = T_2 = 37,5^\circ \text{ К}$, т.к. процесс «2-3» изотермический. Для нахождения давления и объема нам следует решить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} p_2 V_2 = p_3 V_3, \\ p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma. \end{cases}$$

Откуда получаем объем $V_2 = V_1 \times 2^{\frac{3}{\gamma-1}} = 181 V_1 = 181 \text{ л} = 181 \times 10^{-3} \text{ м}^3$, и давление $P_2 = P_3 V_3 / V_2 = P_1 / 1448 = 1/1448 \text{ атм} \approx 69 \text{ Па}$.

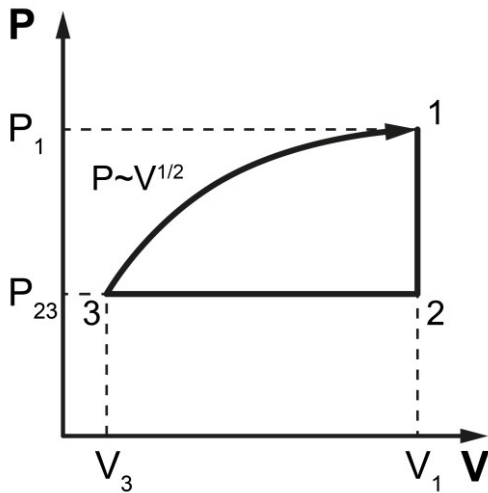
Построим графики заданного цикла в осях: (P,T); (V,T); (U,T); (S,T).





Задания для контрольной работы

Задача №1



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 2 \text{ атм}$, $P_{23} = 1 \text{ атм}$, $V_3 = 1 \text{ л}$.

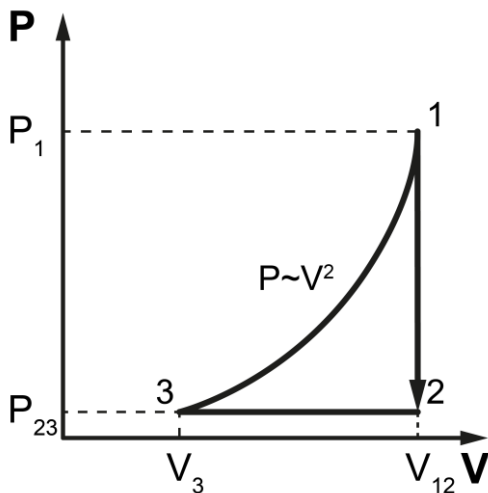
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №2



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 4 \text{ атм}$, $P_{23} = 1 \text{ атм}$, $V_3 = 1 \text{ л}$.

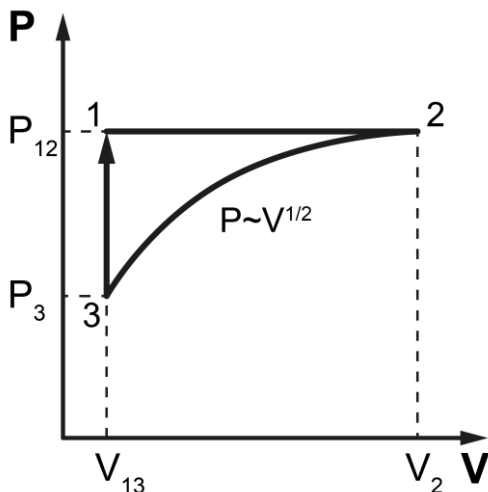
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №3



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{12} = 2 \text{ атм}$, $P_3 = 1 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$.

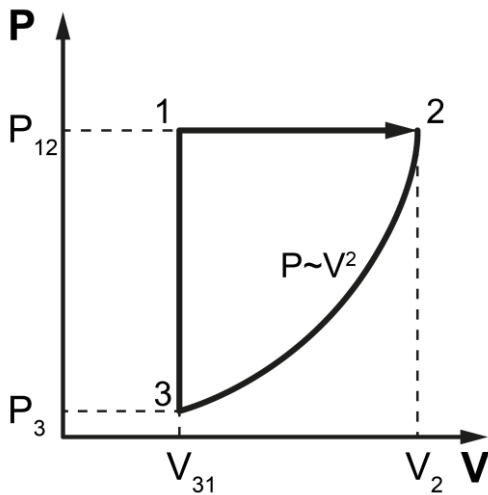
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №4



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{12} = 4 \text{ атм}$, $P_3 = 1 \text{ атм}$, $V_{31} = 1 \text{ л}$.

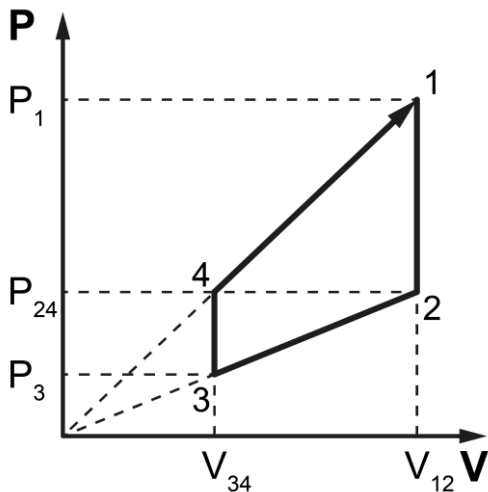
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №5



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 2 \text{ атм}$, $P_{24} = 1 \text{ атм}$, $V_{12} = 2 \text{ л}$.

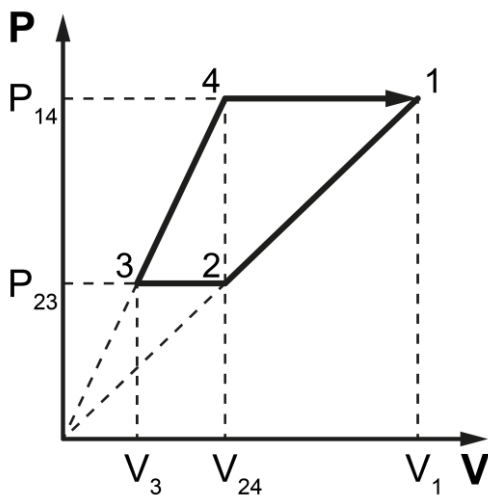
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №6



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{23} = 1 \text{ атм}$, $P_{14} = 2 \text{ атм}$, $V_1 = 6 \text{ л}$.

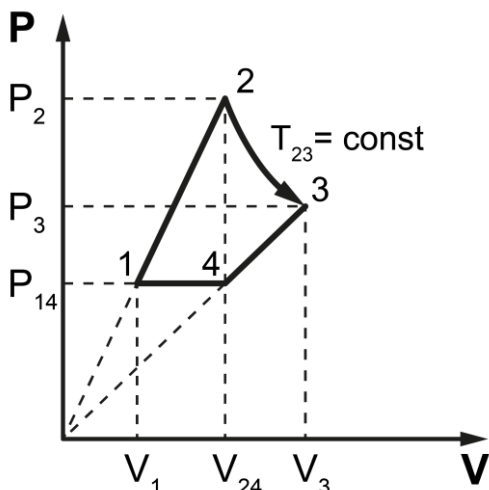
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №7



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{14} = 1 \text{ атм}$, $P_2 = 4 \text{ атм}$, $P_3 = 2 \text{ атм}$, $V_{24} = 2 \text{ л}$.

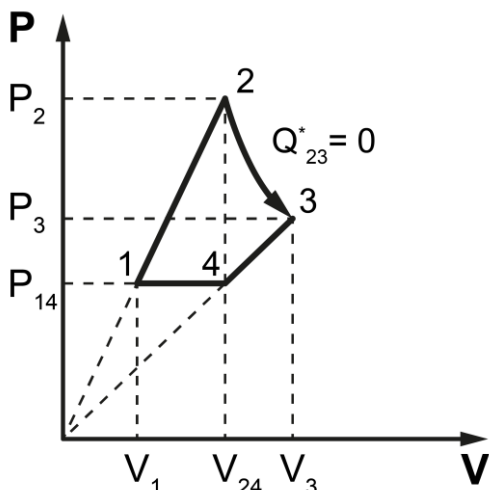
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №8



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{14} = 1 \text{ атм}$, $P_2 = 4 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

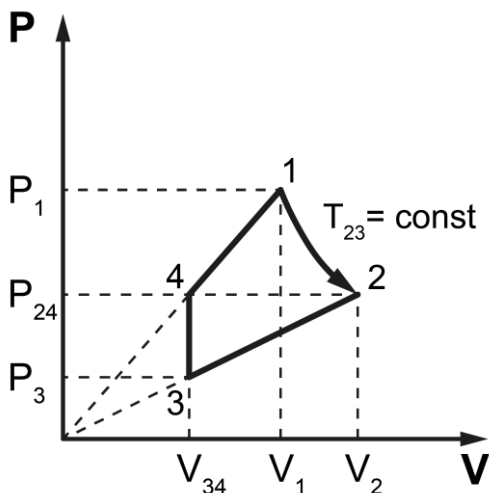
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №9



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 2 \text{ атм}$, $P_{24} = 1 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$.

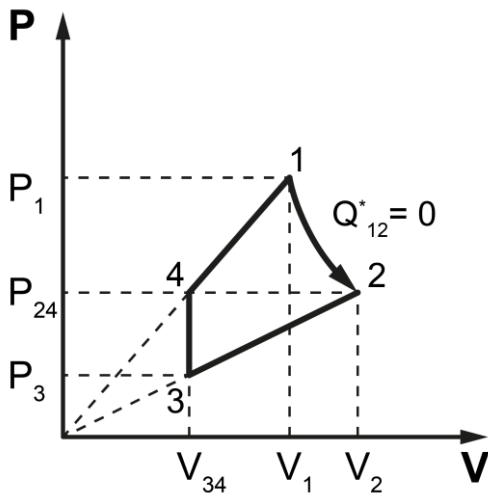
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №10



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{24} = 1 \text{ атм}$, $V_2 = 1 \text{ л}$, $V_{34} = 1/3 \text{ л}$.

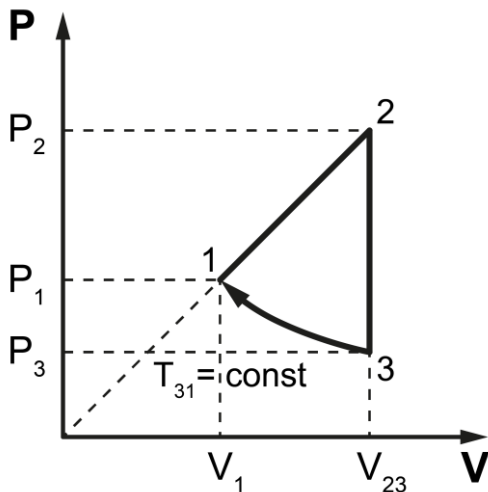
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №11



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 2 \text{ атм}$, $V_1 = 2 \text{ л}$, $V_{23} = 4 \text{ л}$.

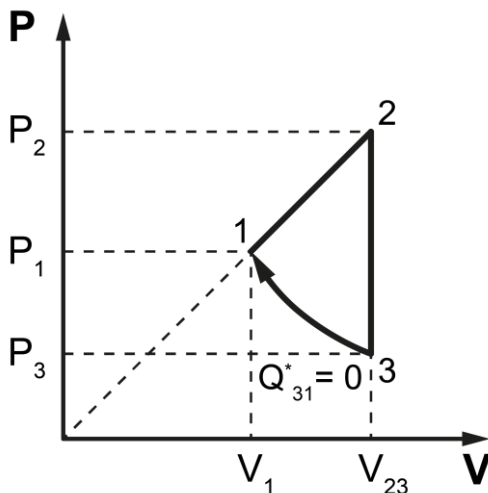
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №12



Дано: газ двухатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $V_{23} = 2 \text{ л}$.

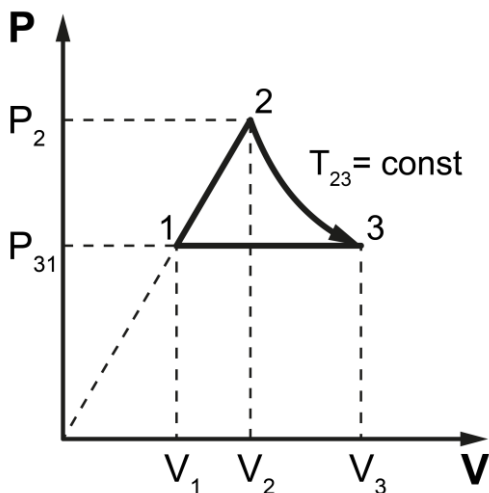
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №13



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{13} = 1 \text{ атм}$, $P_2 = 2 \text{ атм}$, $V_3 = 4 \text{ л}$.

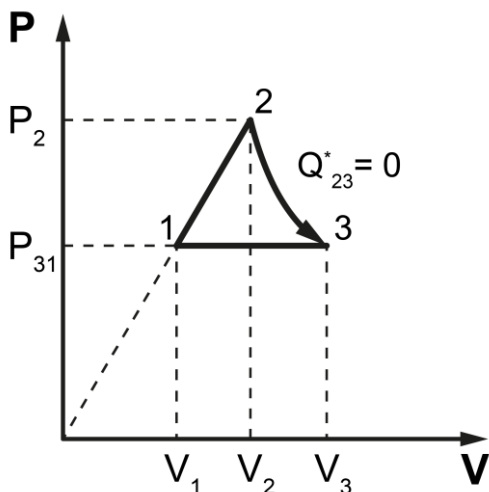
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №14



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_2 = 1 \text{ атм}$, $V_1 = 1/2 \text{ л}$, $V_2 = 1 \text{ л}$.

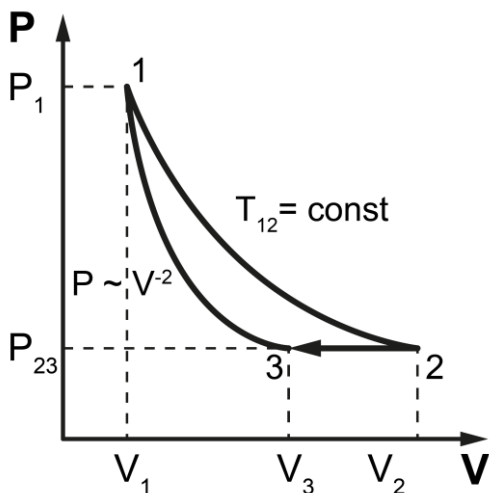
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №15



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $P_{23} = 1/2 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

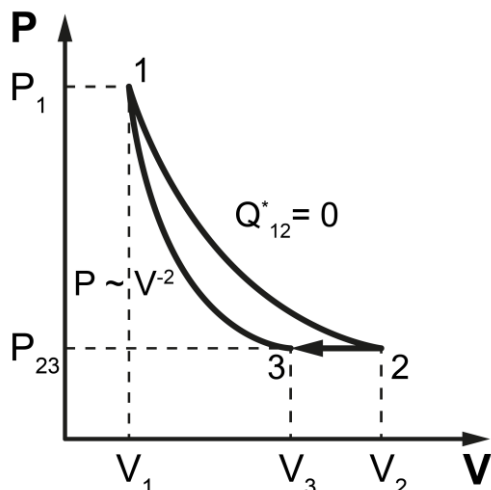
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №16



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $P_{23} = 1/3 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

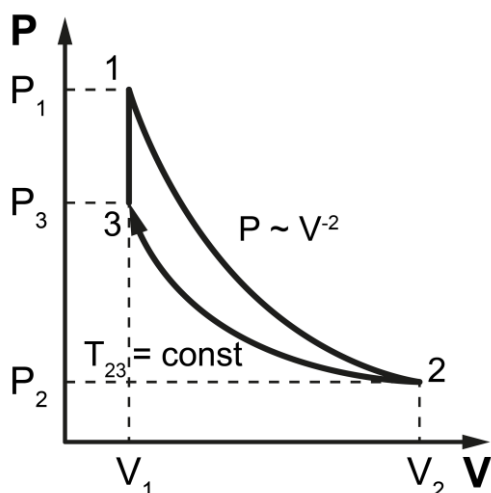
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №17



Дано: газ двухатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 4 \text{ атм}$, $P_3 = 2 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $V_2 = 2 \text{ л}$.

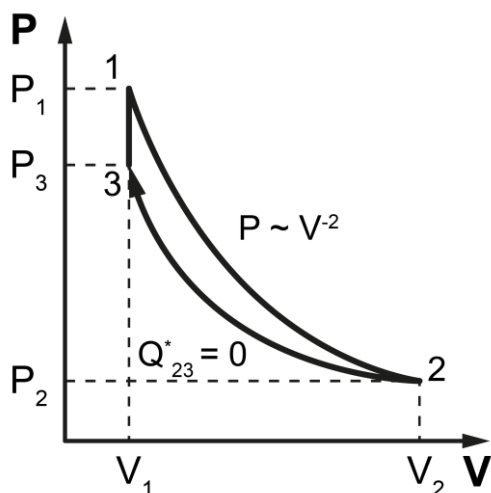
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №18



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 3 \text{ атм}$, $P_3 = 1 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

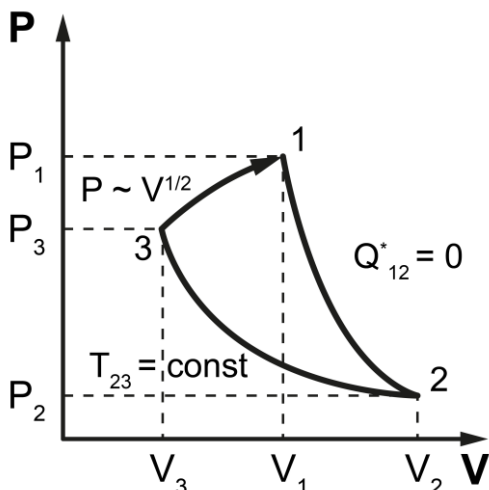
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №19



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $P_3 = 1/2 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

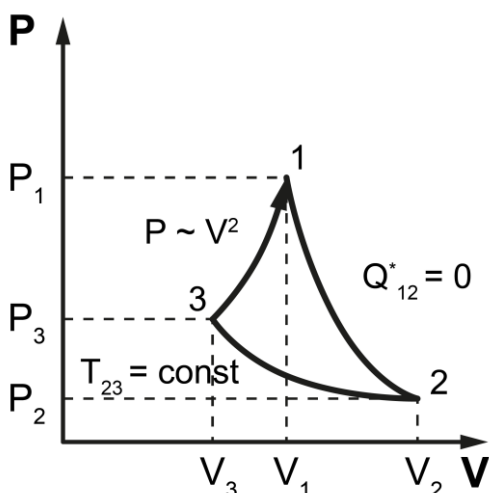
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №20



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $V_3 = 1/2 \text{ л}$.

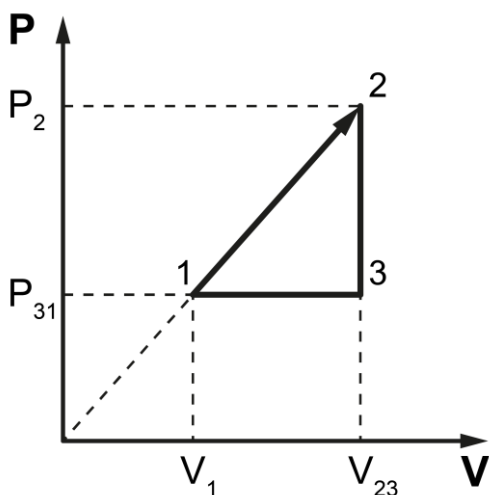
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №21



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_2 = 1 \text{ атм}$, $P_{31} = 1/3 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$.

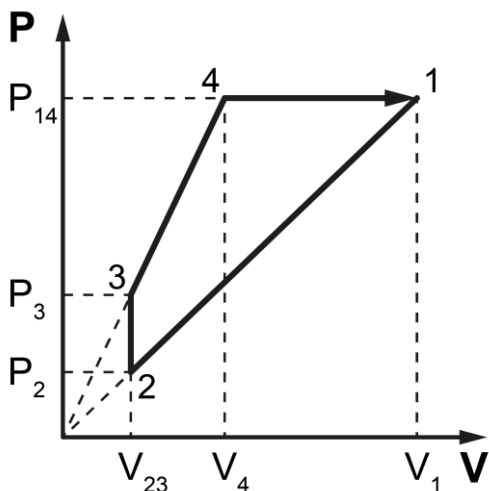
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №22



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_2 = 1 \text{ атм}$, $P_3 = 3 \text{ атм}$, $V_{23} = 2 \text{ л}$, $V_4 = 3 \text{ л}$.

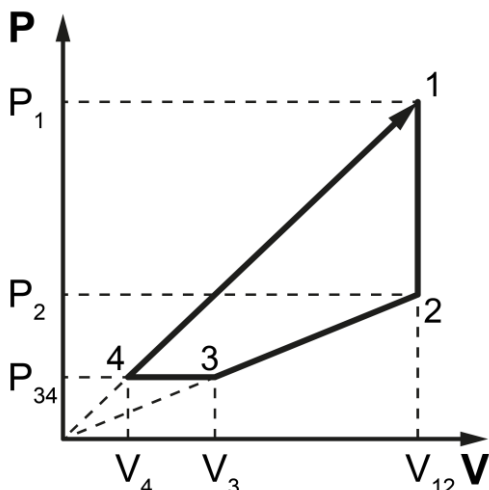
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №23



Дано: газ двухатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 4 \text{ атм}$, $P_2 = 2 \text{ атм}$, $P_{34} = 1 \text{ атм}$, $V_4 = 1 \text{ л}$.

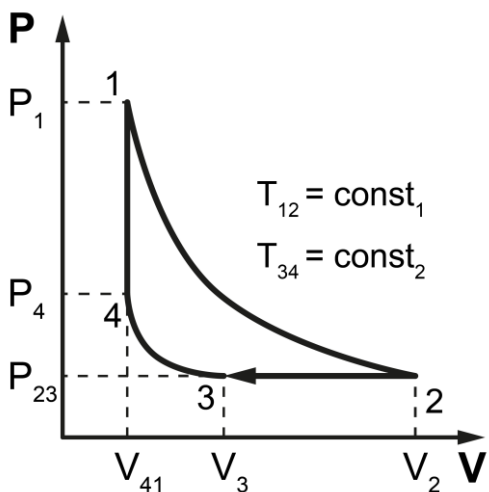
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №24



Дано: газ двухатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $P_{23} = 1/4 \text{ атм}$, $V_{41} = 1 \text{ л}$, $V_3 = 2 \text{ л}$.

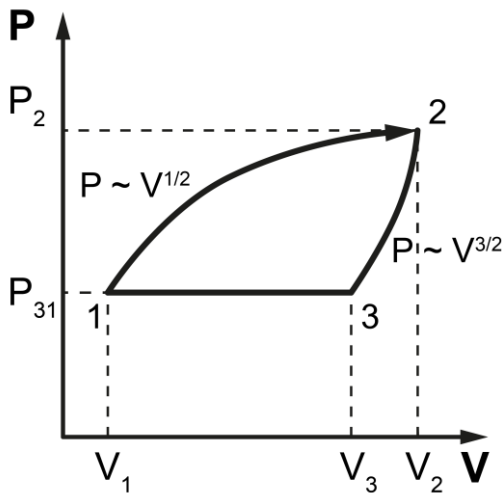
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №25



Дано: газ одноатомный, $T_{\max} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{31} = 1 \text{ атм}$, $P_2 = 2 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$.

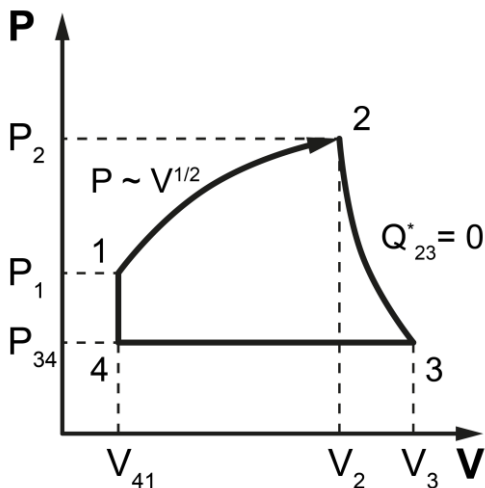
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №26



Дано: газ одноатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_1 = 1 \text{ атм}$, $P_2 = 2 \text{ атм}$, $V_2 = 4 \text{ л}$, $V_{41} = 1 \text{ л}$.

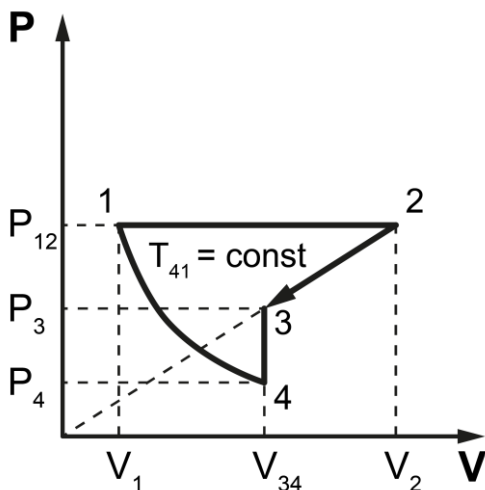
На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Задача №27



Дано: газ двухатомный, $T_{\min} = 300^\circ \text{K}$,
 $P_{12} = 3 \text{ атм}$, $P_3 = 2 \text{ атм}$, $V_1 = 1 \text{ л}$, $V_2 = 9 \text{ л}$.

На каждом участке цикла найти:

- уравнение процесса в переменных PV , VT и PT ,
- теплоемкость газа в данном процессе,
- изменение внутренней энергии газа,
- работу газа,
- изменение энтропии газа,
- подводимую (отбираемую) теплоту.

Вычислить КПД данного цикла и сравнить его с КПД цикла Карно с такими же T_{\max} и T_{\min} .

Построить графики цикла в осях:
 (P, T) ; (V, T) ; (U, T) ; (S, T) .

Список литературы

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики: Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. – 5-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 544 с.
2. Савельев, И. В. Курс физики: Учебное пособие. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика. 7-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 356 с.

**Комплект индивидуальных контрольных заданий
по термодинамике**

Составители:

Сергей Николаевич Менсов
Сергей Александрович Сычугин

Учебно-методическое пособие

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского"
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.