

Условие

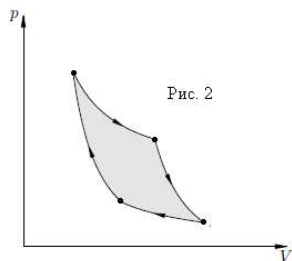
Задание 10-3. Не хуже Карно ..?

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС), работающие по различным термодинамическим циклам, успешно работают в современном мире. Миллионы машин используют как бензиновые, так и дизельные ДВС, а доля электромобилей на мировом рынке в настоящий момент крайне невелика – около 2 %.

При создании ДВС в середине XIX века перед инженерами и конструкторами встал важный прикладной (и научный!) вопрос: а какой тепловой двигатель имеет максимальный термодинамический КПД, т.е. является идеальной тепловой машиной?

Заметим, что цикл Отто (бензиновый двигатель) и цикл Дизеля (дизельный двигатель) не являются идеальными тепловыми циклами, хотя автомобили, работающие по этим циклам, и составляют львиную долю современного производства.

Идеальная тепловая машина была описана в 1824 г. французским физиком и инженером Сади Карно (Рис. 1) в работе «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу».



Идеальный цикл Карно (Рис. 2), состоящий из двух изотерм и двух адиабат, сегодня известен каждому школьнику.

В данном задании мы немного «пофантазируем» и предложим свой цикл, который также использует элементы знаменитого цикла Карно.

Справочные данные и параметры рассматриваемой системы: если $a^n b^m = \text{const}$, то при малых Δa и Δb ($\Delta a \ll a$, $\Delta b \ll b$) справедливо равенство: $n \frac{\Delta a}{a} + m \frac{\Delta b}{b} = 0$ (справедливо также и обратное утверждение); молярная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).

Часть 1. Адиабатный процесс

Термодинамический процесс, проводимый без теплообмена ($Q = 0$) с окружающей средой (т.е. в теплоизолированной системе), называется *адиабатным* процессом. Адиабатными являются многие быстропротекающие процессы (взрыв, быстрое расширение (сжатие) газа, распространение звуковой волны), процесс подъема теплого воздуха с поверхности земли с последующим охлаждением, конденсацией пара и образованием облаков и т.д.

1.1 Теплоёмкость c^M идеального газа, взятого в количестве $\nu = 1$ моль ($m = M$), называется молярной теплоёмкостью. Найдите молярную теплоёмкость c_V^M идеального одноатомного газа при изохорном процессе, т.е. при постоянном объёме ($V = \text{const}$). Запишите формулу для внутренней энергии U идеального одноатомного газа через c_V^M и в дальнейшем используйте её для любого идеального газа.

1.2 Выразите молярную теплоёмкость идеального газа c_p^M при постоянном давлении ($p = \text{const}$), т.е. при изобарном процессе, через c_V^M .

1.3 Получите уравнение адиабатного процесса для произвольного идеального газа в переменных (T, V) с показателем адиабаты $\gamma = \frac{c_p^M}{c_V^M}$.

1.4 В полученном уравнении сделайте замену переменных и запишите уравнение адиабатного процесса (уравнение Пуассона) для произвольного идеального газа в «традиционном» виде,

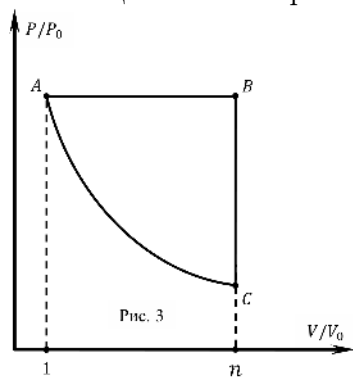
т.е. в переменных (p, V) .

10 класс. Теоретический тур. Вариант 2.

1.5 Схематически изобразите на одной (p, V) – диаграмме ход адиабаты и изотермы идеального газа. Кратко охарактеризуйте особенности построенных графиков.

Часть 2. Цикл с адиабатой

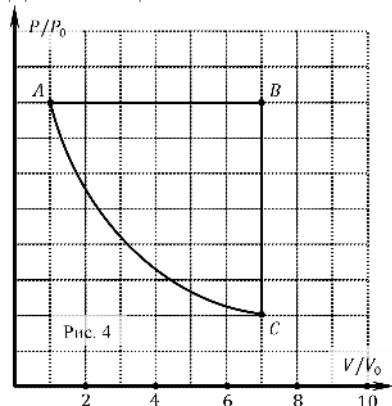
С идеальным одноатомным газом провели циклический процесс $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ (Рис. 3), состоящий из изобары $A \rightarrow B$, изохоры $B \rightarrow C$ и адиабаты $C \rightarrow A$.



2.1 Укажите участки цикла, на которых работал нагреватель, т.е. газ получал теплоту от внешнего источника. Найдите количество теплоты Q_1 , переданное рабочему телу от нагревателя в данном цикле.

2.2 Используя ранее полученные результаты, найдите давление p_C газа в состоянии C .

2.3 Укажите участки цикла, на которых работал холодильник, т.е. газ отдавал теплоту внешнему источнику. Найдите количество теплоты Q_2 , отданное рабочим телом холодильнику в данном цикле.



2.4 Выведите формулу для термодинамического КПД η данного цикла. Как значение η зависит от параметров V_A и p_A термодинамической системы в начальном состоянии? Как, по вашему мнению, это можно объяснить?

2.5 Чему равен максимально возможный термодинамический КПД η_{max} описанного цикла?

2.6 На Рис. 4 изображен подобный процесс в безразмерных (относительных) координатах объема и давления $(V/V_0; p/p_0)$, где V_0 и p_0 – некоторые неизвестные размерные масштабные множители. Вычислите термодинамический КПД η_1 цикла, изображенного на Рис. 4.

10 класс. Теоретический тур. Вариант 2.

Лист ответов. Задание 10-3. Не хуже Карно

1.1 Формула для внутренней энергии U идеального одноатомного газа через c_V^M :

1.2 Молярная теплоемкость идеального газа c_p^M :

1.3 Уравнение адиабатного процесса для произвольного идеального газа в переменных (T, V) с показателем адиабаты $\gamma = \frac{c_p^M}{c_v^M}$:

1.4 Уравнение адиабатного процесса для любого идеального газа в переменных (p, V) :

1.5 Схематическая диаграмма адиабаты и изотермы:



10 класс. Теоретический тур. Вариант 2.

2.1 Количество теплоты Q_1 :

2.2 Давление p_C :

2.3 Участки цикла, на которых работал холодильник:

Количество теплоты Q_2 :

2.4 Формула для термодинамического КПД η :

Как значение η зависит от параметров V_A и p_A ?:

2.5 η_{max} :

2.6 η_1 :

10 класс. Теоретический тур. Вариант 2.



Республиканская физическая олимпиада
2024 года
(III этап)
Теоретический тур



Рис. 1