

Bài tập chương 22

# **Động cơ nhiệt, Entropy, và định luật thứ hai của nhiệt động lực học**

# Bài tập chương 22

Ch.	Conceptual Questions	Problems
22	3, 4, 8, 10, 13	1, 3, 6, 7, 10, 11, 17, 19, 22, 27, 29, 33, 37, 38, 49, 50, 73

# Conceptual Questions 3.

Does the second law of thermodynamics contradict or correct the first law? Argue for your answer.

Liệu nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học có mâu thuẫn hay dùng để sửa chữa nguyên lý một không ? Lập luận cho câu trả lời của bạn.

CQ22.3

No. The first law of thermodynamics is a statement about energy conservation, while the second is a statement about stable thermal equilibrium. They are by no means mutually exclusive. For the particular case of a cycling heat engine, the first law implies

$$|Q_h| = W_{\text{eng}} + |Q_c|, \text{ and the second law implies } |Q_c| > 0.$$

# Conceptual Questions 4.

“The first law of thermodynamics says you can’t really win, and the second law says you can’t even break even.”

Explain how this statement applies to a particular device or process; alternatively, argue against the statement.

“Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học nói rằng không thể có động cơ vĩnh cửu, và nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học nói rằng bạn thậm chí không thể thực hiện động cơ vĩnh cửu.”

Nêu một thiết bị hoặc quy trình cụ thể để giải thích tuyên bố trên.

#### CQ22.4

Take an automobile as an example. According to the first law or the idea of energy conservation, it must take in all the energy it puts out. Its energy source is chemical energy in gasoline. During the combustion process, some of that energy goes into moving the pistons and eventually into the mechanical motion of the car. The chemical potential energy turning into internal energy can be modeled as energy input by heat. The second law says that not all of the energy input can become output mechanical energy. Much of the input energy must and does become energy output by heat, which, through the cooling system, is dissipated into the atmosphere. Moreover, there are numerous places where friction, both mechanical and fluid, turns mechanical energy into internal energy. In even the most efficient internal combustion engine cars, less than 30% of the energy from the fuel actually goes into moving the car. The rest ends up as useless internal energy in the atmosphere.



# Conceptual Questions 8.

A steam-driven turbine is one major component of an electric power plant. Why is it advantageous to have the temperature of the steam as high as possible?

Tua bin hơi nước là một thành phần chính của một nhà máy điện. Ta có nhiệt độ của hơi nước càng cao càng tốt. Giải thích tại sao?

CQ22.8

A higher steam temperature means that more energy can be extracted from the steam. For a constant temperature heat sink at  $T_c$  and steam at  $T_h$ , the efficiency of the power plant goes as

$$\frac{T_h - T_c}{T_h} = 1 - \frac{T_c}{T_h} \text{ and is maximized for a high } T_h$$

# Conceptual Questions 10.

Suppose your roommate cleans and tidies up your messy room after a big party. Because she is creating more order, does this process represent a violation of the second law of thermodynamics?

Giả sử cô bạn dọn dẹp căn phòng bừa bộn của bạn sau một bữa tiệc lớn. Bởi vì cô ấy sắp xếp đồ đạc trật tự, gọn gàng hơn, quá trình này có vi phạm nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học không?

**CQ22.10** No. Your roommate creates “order” locally, but as she works, she transfers energy by heat to the room, causing the net entropy to increase. An analogy used by Carnot is instructive: A waterfall continuously converts mechanical energy into internal energy. It continuously creates entropy as the motion of the falling water turns into molecular motion at the bottom of the falls. We humans put turbines into the waterfall, diverting some of the energy stream to our use. Water flows spontaneously from high to low elevation and energy spontaneously flows by heat from high to low temperature. Into the great flow of solar radiation from Sun to Earth, living things put themselves. They live on energy flow, more than just on energy. A basking snake diverts energy from a high-temperature source (the Sun) through itself temporarily, before the energy inevitably is radiated from the body of the snake to a low-temperature sink (outer space). A tree builds cellulose molecules and we build libraries and babies who look like their grandmothers, all out of a thin diverted stream in the universal flow of energy. We do not violate the second law, for we build local reductions in the entropy of one thing within the inexorable increase in the total entropy of the Universe.

# Conceptual Questions 13.

What are some factors that affect the efficiency of automobile engines?

Yếu tố nào ảnh hưởng đến hiệu suất của động cơ ô tô ?



**CQ22.13** First, the efficiency of the automobile engine cannot exceed the Carnot efficiency: it is limited by the temperature of burning fuel and the temperature of the environment into which the exhaust is dumped. Second, the engine block cannot be allowed to go over a certain temperature. Third, any practical engine has friction, incomplete burning of fuel, and limits set by timing and energy transfer by heat.

# Problems 1.

A particular heat engine has a mechanical power output of 5.00 kW and an efficiency of 25.0%. The engine expels  $8 \times 10^3 J$  of exhaust energy in each cycle. Find

- (a) the energy taken in during each cycle and
- (b) the time interval for each cycle.

# Bài 1

Một động cơ nhiệt có công suất là 5 kW và hiệu suất động cơ là 25%. Động cơ thải ra  $8 \times 10^3 \text{ J}$  nhiệt lượng trong mỗi chu trình. Tính

- (a) Nhiệt lượng nhận vào trong mỗi chu trình
- (b) Thời gian thực hiện một chu trình

**P22.1**

(a) We have  $e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|} \rightarrow \frac{|Q_c|}{|Q_h|} = 1 - e \rightarrow |Q_h| = \frac{|Q_c|}{1 - e}$

With  $|Q_c| = 8\,000\text{ J}$ , we have  $|Q_h| = \frac{|Q_c|}{1 - e} = \frac{8\,000\text{ J}}{1 - 0.250} = \boxed{10.7\text{ kJ}}$

(b) The work per cycle is

$$W_{\text{eng}} = |Q_h| - |Q_c| = 2\,667\text{ J}$$

From the definition of output power,

$$P = \frac{W_{\text{eng}}}{\Delta t}$$

we have the time for one cycle:

$$\Delta t = \frac{W_{\text{eng}}}{P} = \frac{2\,667\text{ J}}{5\,000\text{ J/s}} = \boxed{0.533\text{ s}}$$

# Problems 3

A heat engine takes in  $360\text{ J}$  of energy from a hot reservoir and performs  $25.0\text{ J}$  of work in each cycle. Find

- (a) the efficiency of the engine and
- (b) the energy expelled to the cold reservoir in each cycle.

Một động cơ nhiệt nhận nhiệt lượng  $360\text{ J}$  từ nguồn nóng và thực hiện  $25.0\text{ J}$  công trong mỗi chu trình. Tính

(a) Hiệu suất động cơ ?

(b) Nhiệt lượng tỏa ra cho nguồn lạnh trong mỗi chu trình

P22.3 (a) The efficiency of the engine is

$$e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = \frac{25.0 \text{ J}}{360 \text{ J}} = \boxed{0.0694} \text{ or } \boxed{6.94\%}$$

(b) The energy expelled to the cold reservoir during each cycle is

$$|Q_c| = |Q_h| - W_{\text{eng}} = 360 \text{ J} - 25.0 \text{ J} = \boxed{335 \text{ J}}$$

# Problems 6

A multicylinder gasoline engine in an airplane, operating at  $2,5 \times 10^3$  rev/min, takes in energy  $7,89 \times 10^3 J$  and exhausts  $4,58 \times 10^3 J$  for each revolution of the crankshaft.

- (a) How many liters of fuel does it consume in 1.00 h of operation if the heat of combustion of the fuel is equal to  $4,03 \times 10^7$  J/L?
- (b) What is the mechanical power output of the engine? Ignore friction and express the answer in horsepower.
- (c) What is the torque exerted by the crankshaft on the load?
- (d) What power must the exhaust and cooling system transfer out of the engine?



## Bài 6

Một động cơ xăng của máy bay, hoạt động ở tốc độ  $2.5 \times 10^3 \text{ vòng/phút}$ , nhận năng lượng  $7.89 \times 10^3 J$  và thải ra  $4.58 \times 10^3 J$  cho mỗi vòng quay của trục khuỷu .

- (A) Có bao nhiêu lít nhiên liệu được tiêu thụ trong 1,00 giờ hoạt động nếu nhiệt đốt cháy nhiên liệu là  $4.03 \times 10^7 J/L$ ?
- (B) Tính công suất ở ngõ ra của động cơ (theo đơn vị mã lực )? Bỏ qua ma sát.
- (C) Mô men xoắn của trục khuỷu trên tải bằng bao nhiêu?
- (D) Công suất của hệ thống làm mát của động cơ?

**P22.6** (a) The input energy each hour is

$$\begin{aligned} & (7.89 \times 10^3 \text{ J/revolution})(2\,500 \text{ rev/min})\left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right) \\ & = 1.18 \times 10^9 \text{ J/h} \end{aligned}$$

$$\text{implying fuel input } (1.18 \times 10^9 \text{ J/h})\left(\frac{1 \text{ L}}{4.03 \times 10^7 \text{ J}}\right) = \boxed{29.4 \text{ L/h}}$$

(b)  $Q_h = W_{\text{eng}} + |Q_c|$ . For a continuous-transfer process we may divide by time to have

$$\frac{Q_h}{\Delta t} = \frac{W_{\text{eng}}}{\Delta t} + \frac{|Q_c|}{\Delta t}$$

$$\text{Useful power output} = \frac{W_{\text{eng}}}{\Delta t} = \frac{Q_h}{\Delta t} - \frac{|Q_c|}{\Delta t}$$

$$= \left( \frac{7.89 \times 10^3 \text{ J}}{\text{revolution}} - \frac{4.58 \times 10^3 \text{ J}}{\text{revolution}} \right) \left( \frac{2500 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \right) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)$$

$$= 1.38 \times 10^5 \text{ W}$$

$$P_{\text{eng}} = (1.38 \times 10^5 \text{ W}) \left( \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} \right) = \boxed{185 \text{ hp}}$$

$$(c) \quad P_{\text{eng}} = \tau \omega \Rightarrow \tau = \frac{P_{\text{eng}}}{\omega} = \left( \frac{1.38 \times 10^5 \text{ J/s}}{2\,500 \text{ rev/60 s}} \right) \left( \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \right) = \boxed{527 \text{ N} \cdot \text{m}}$$

$$(d) \quad \frac{|Q_c|}{\Delta t} = \left( \frac{4.58 \times 10^3 \text{ J}}{\text{revolution}} \right) \left( \frac{2\,500 \text{ rev}}{60 \text{ s}} \right) = \boxed{1.91 \times 10^5 \text{ W}}$$

## Problems 7

Suppose a heat engine is connected to two energy reservoirs, one a pool of molten aluminum ( $660^{\circ}\text{C}$ ) and the other a block of solid mercury ( $238.9^{\circ}\text{C}$ ). The engine runs by freezing  $1.00\text{ g}$  of aluminum and melting  $15.0\text{ g}$  of mercury during each cycle. The heat of fusion of aluminum is  $3,97 \times 10^5\text{ J/kg}$ ; the heat of fusion of mercury is  $1,18 \times 10^4\text{ J/kg}$ . What is the efficiency of this engine?

Giả sử một động cơ nhiệt có hai nguồn, một nguồn là một hồ chứa nhôm nóng chảy ở nhiệt độ  $660^{\circ}\text{C}$  và một nguồn là một khối thủy ngân rắn có nhiệt độ  $238,9^{\circ}\text{C}$ . Động cơ chạy bằng cách làm lạnh  $1,00\text{ g}$  nhôm và làm nóng chảy  $15,0\text{ g}$  thủy ngân trong mỗi chu trình. Nhiệt nóng chảy của nhôm là  $3,97 \times 10^5\text{ J/kg}$ ; Nhiệt nóng chảy của thủy ngân là  $1,18 \times 10^4\text{ J/kg}$ . Tính hiệu suất động cơ ?

**P22.7** The energy to melt a mass  $\Delta m_{\text{Hg}}$  of Hg is  $|Q_c| = m_{\text{Hg}}L_f$ . The energy absorbed to freeze  $\Delta m_{\text{Al}}$  of aluminum is  $|Q_h| = m_{\text{Al}}L_f$ . The efficiency is

$$\begin{aligned} e &= 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|} = 1 - \frac{\Delta m_{\text{Hg}}L_{\text{Hg}}}{\Delta m_{\text{Al}}L_{\text{Al}}} = 1 - \frac{(15.0 \text{ g})(1.18 \times 10^4 \text{ J/kg})}{(1.00 \text{ g})(3.97 \times 10^5 \text{ J/kg})} \\ &= 0.554 = \boxed{55.4\%} \end{aligned}$$

# Problems 10

A heat pump has a coefficient of performance of 3.80 and operates with a power consumption of  $7,03 \times 10^3$  W.

- (a) How much energy does it deliver into a home during 8.00 h of continuous operation?
- (b) How much energy does it extract from the outside air?



Máy nén khí trong máy lạnh có hệ số làm lạnh là 3.80 và hoạt động với công suất tiêu thụ là  $7,03 \times 10^3 \text{ W}$ .

(a) Tính nhiệt lượng mà máy nhận được trong thời gian hoạt động 8h liên tục?

(b) Tính nhiệt lượng mà máy tỏa ra ngoài?

- P22.10** (a) The coefficient of performance of a heat pump is  $\text{COP} = |Q_h|/W$ , where  $|Q_h|$  is the thermal energy delivered to the warm space and  $W$  is the work input required to operate the heat pump. Therefore,

$$\begin{aligned}|Q_h| &= W \cdot \text{COP} = (P \cdot \Delta t) \cdot \text{COP} \\ &= \left[ \left( 7.03 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{s}} \right) (8.00 \text{ h}) \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) \right] 3.80 = \boxed{7.69 \times 10^8 \text{ J}}\end{aligned}$$

- (b) The energy extracted from the cold space (outside air) is

$$\begin{aligned}|Q_c| &= |Q_h| - W = |Q_h| - \frac{|Q_h|}{\text{COP}} = |Q_h| \left( 1 - \frac{1}{\text{COP}} \right) \\ \text{or } |Q_c| &= (7.69 \times 10^8 \text{ J}) \left( 1 - \frac{1}{3.80} \right) = \boxed{5.67 \times 10^8 \text{ J}}\end{aligned}$$

## Problems 11

A refrigerator has a coefficient of performance of 3.00. The ice tray compartment is at  $-20.0^{\circ}\text{C}$ , and the room temperature is  $22.0^{\circ}\text{C}$ . The refrigerator can convert 30.0 g of water at  $22.0^{\circ}\text{C}$  to 30.0 g of ice at  $-20.0^{\circ}\text{C}$  each minute. What input power is required? Give your answer in watts.

Tủ lạnh có hệ số làm lạnh là 3.00. Nhiệt độ trong ngăn đá là  $-20.0^{\circ}\text{C}$  và nhiệt độ phòng là  $22.0^{\circ}\text{C}$ . Tủ lạnh có thể chuyển 30g nước ở nhiệt độ  $22.0^{\circ}\text{C}$  thành 30g đá ở nhiệt độ  $-20.0^{\circ}\text{C}$  trong mỗi phút. Tính công suất của máy theo đơn vị W.

\*P22.11  $\text{COP} = 3.00 = \frac{Q_c}{W}$ . Therefore,  $W = \frac{Q_c}{3.00}$ .

The heat removed each minute is

$$\begin{aligned}\frac{Q_c}{t} &= (0.0300 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(22.0^\circ\text{C}) \\ &\quad + (0.0300 \text{ kg})(3.33 \times 10^5 \text{ J/kg}) \\ &\quad + (0.0300 \text{ kg})(2090 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(20.0^\circ\text{C}) \\ &= 1.40 \times 10^4 \text{ J/min} = 233 \text{ J/s}\end{aligned}$$

Thus, the work done per second  $= P = \frac{233 \text{ J/s}}{3.00} = \boxed{77.8 \text{ W}}$ .

# Problems 17.

A Carnot engine has a power output of 150 kW. The engine operates between two reservoirs at  $20.0^{\circ}\text{C}$  and  $500^{\circ}\text{C}$ .

- (a) How much energy enters the engine by heat per hour?
- (b) How much energy is exhausted by heat per hour?

Một động cơ hoạt động theo Carnot có công suất ra là 150 kW.  
Động cơ hoạt động giữa hai nguồn  $20,0^{\circ}\text{C}$  và  $500^{\circ}\text{C}$ .

- (a) Tính nhiệt lượng động cơ nhận được trong mỗi giờ?
- (b) Tính nhiệt lượng động cơ tỏa ra trong mỗi giờ?

$$\text{P22.17} \quad e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = e_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} \quad \rightarrow \quad \frac{W_{\text{eng}} / \Delta t}{|Q_h| / \Delta t} = \frac{P}{|Q_h| / \Delta t} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

$$(a) \quad |Q_h| = \frac{W_{\text{eng}}}{e} = \frac{P\Delta t}{1 - (T_c / T_h)} = \frac{(1.50 \times 10^5 \text{ W})(3\,600 \text{ s})}{1 - (293 \text{ K} / 773 \text{ K})} = \boxed{8.70 \times 10^8 \text{ J}}$$

$$\begin{aligned} (b) \quad |Q_c| &= |Q_h| - W_{\text{eng}} = |Q_h| - P\Delta t \\ &= 8.70 \times 10^8 \text{ J} - (1.50 \times 10^5 \text{ W})(3\,600 \text{ s}) \\ &= \boxed{3.30 \times 10^8 \text{ J}} \end{aligned}$$



# Problems 19.

What is the coefficient of performance of a refrigerator that operates with Carnot efficiency between temperatures  $23.00^{\circ}\text{C}$  and  $127.0^{\circ}\text{C}$ ?

Tính hệ số làm lạnh của tủ lạnh hoạt động theo chu trình Carnot với nhiệt độ hai nguồn là  $23.00^{\circ}\text{C}$  and  $127.0^{\circ}\text{C}$ .

P22.19  $(\text{COP})_{\text{refrig}} = \frac{T_c}{\Delta T} = \frac{270 \text{ K}}{30.0 \text{ K}} = \boxed{9.00}$

## Problems 22.

How much work does an ideal Carnot refrigerator require to remove 1.00 J of energy from liquid helium at 4.00 K and expel this energy to a room-temperature (293-K) environment?

Tính công của một tủ lạnh hoạt động theo Carnot lý tưởng nhận 1 J nhiệt lượng từ heli hóa lỏng ở nhiệt độ 4K và thải ra môi trường ngoài ở nhiệt độ phòng (293K)?

**P22.22**  $(\text{COP})_{\text{Carnot,refrig}} = \frac{T_c}{\Delta T} = \frac{4.00 \text{ K}}{289 \text{ K}} = 0.0138 = \frac{|Q_c|}{W}$

$\therefore W = \boxed{72.2 \text{ J}}$  per 1 J of energy removed by heat.

# Problems 27

An ideal gas is taken through a Carnot cycle. The isothermal expansion occurs at  $250^{\circ}\text{C}$ , and the isothermal compression takes place at  $50.0^{\circ}\text{C}$ . The gas takes in  $1.20 \times 10^3 \text{ J}$  of energy from the hot reservoir during the isothermal expansion. Find

- (a) the energy expelled to the cold reservoir in each cycle and
- (b) the net work done by the gas in each cycle

Một khối khí lý tưởng thực hiện chu trình Carnot. Quá trình giãn đẳng nhiệt xảy ra ở nhiệt độ  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , và quá trình nén đẳng nhiệt diễn ra ở nhiệt độ  $50,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Khí lấy  $1,20 \times 10^3\text{ J}$  năng lượng từ nguồn nóng trong quá trình giãn đẳng nhiệt. Tìm

- (a) Nhiệt lượng thải ra nguồn lạnh trong mỗi chu kỳ và
- (b) Công thực hiện bởi khí trong mỗi chu kỳ



**P22.27** Isothermal expansion at  $T_h = 523 \text{ K}$

Isothermal compression at  $T_c = 323 \text{ K}$

Gas absorbs 1 200 J during expansion.

(a) For a Carnot cycle, 
$$e_c = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

For any engine, 
$$e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$$

Therefore, for a Carnot engine, 
$$1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$$

Then we have

$$|Q_c| = |Q_h| \left( \frac{T_c}{T_h} \right) = (1\,200 \text{ J}) \left( \frac{323 \text{ K}}{523 \text{ K}} \right) = \boxed{741 \text{ J}}$$

(b) The work we can calculate as

$$W_{\text{eng}} = |Q_h| - |Q_c| = (1\,200 \text{ J} - 741 \text{ J}) = \boxed{459 \text{ J}}$$

# Problems 29

A heat engine operates in a Carnot cycle between  $80.0^{\circ}\text{C}$  and  $350^{\circ}\text{C}$ . It absorbs  $21\,000\text{ J}$  of energy per cycle from the hot reservoir. The duration of each cycle is  $1.00\text{ s}$ .

- (a) What is the mechanical power output of this engine?
- (b) How much energy does it expel in each cycle by heat?

Một động cơ nhiệt hoạt động trong chu trình Carnot giữa hai nguồn nhiệt  $80,0^{\circ}\text{C}$  và  $350^{\circ}\text{C}$ . Nó hấp thụ  $21000\text{ J}$  nhiệt lượng từ nguồn nóng trong mỗi chu trình. Thời gian của mỗi chu trình là  $1.00\text{ s}$ .

(A) Tính công suất của động cơ ?

(B) Tính nhiệt lượng tỏa ra trong mỗi chu trình?

- \*P22.29 (a) With reservoirs at absolute temperatures of  $T_c = 80.0^\circ\text{C} + 273 = 353 \text{ K}$  and  $T_h = 350^\circ\text{C} + 273 = 623 \text{ K}$ , the Carnot efficiency is

$$e_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{353 \text{ K}}{623 \text{ K}} = \boxed{0.433} \quad (\text{or } 43.3\%)$$

so the maximum power output is

$$P_{\max} = \frac{W_{\text{eng}}}{\Delta t} = \frac{e_c |Q_h|}{\Delta t} = \frac{0.433(21.0 \text{ kJ})}{1.00 \text{ s}} = \boxed{9.10 \text{ kW}}$$

- (b) From  $e = 1 - \frac{|Q_c|}{|Q_h|}$ , the energy expelled by heat each cycle is

$$|Q_c| = |Q_h|(1 - e) = (21.0 \text{ kJ})(1 - 0.433) = \boxed{11.9 \text{ kJ}}$$

# Problems 33

An electric generating station is designed to have an electric output power of 1.40 MW using a turbine with two-thirds the efficiency of a Carnot engine. The exhaust energy is transferred by heat into a cooling tower at  $110^{\circ}\text{C}$ .

- (a) Find the rate at which the station exhausts energy by heat as a function of the fuel combustion temperature  $T_h$ .
- (b) If the firebox is modified to run hotter by using more advanced combustion technology, how does the amount of energy exhaust change?
- (c) Find the exhaust power for  $T_h = 800^{\circ}\text{C}$
- (d) Find the value of  $T_h$  for which the exhaust power would be only half as large as in part (c).
- (e) Find the value of  $T_h$  for which the exhaust power would be one-fourth as large as in part (c).

Một trạm phát điện được thiết kế để có công suất ngõ ra là 1,40 MW, sử dụng một tuabin có hiệu suất bằng hai phần ba hiệu suất của động cơ Carnot. Nhiệt lượng khí thải được truyền vào một tháp giải nhiệt có nhiệt độ  $110^{\circ}\text{C}$ .

(a) Tính tỷ lệ giữa nhiệt lượng khí thải vào tháp theo thời gian ( tính theo biến nhiệt độ đốt nhiên liệu  $T_h$ ).

(b) Nếu buồng đốt tăng nhiệt độ thì lượng khí thải ra thay đổi như thế nào?

(c) Tính công suất của ống xả ứng với  $T_h = 800^{\circ}\text{C}$ .

(d)  $T_h$  bằng bao nhiêu để công suất ống xả bằng một nửa giá trị tính ở phần (c).

(e)  $T_h$  bằng bao nhiêu để công suất ống xả bằng một phần tư giá trị tính ở phần (c).

- P22.33 (a) "The actual efficiency is two thirds the Carnot efficiency" reads as an equation

$$\frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_c| + W_{\text{eng}}} = \frac{2}{3} \left( 1 - \frac{T_c}{T_h} \right) = \frac{2}{3} \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

All the  $T$ 's represent absolute temperatures. Then

$$\frac{|Q_c| + W_{\text{eng}}}{W_{\text{eng}}} = \frac{1.5 T_h}{T_h - T_c} \rightarrow \frac{|Q_c|}{W_{\text{eng}}} = \frac{1.5 T_h}{T_h - T_c} - 1 = \frac{1.5 T_h - T_h + T_c}{T_h - T_c}$$

$$|Q_c| = W_{\text{eng}} \frac{0.5 T_h + T_c}{T_h - T_c} \rightarrow \frac{|Q_c|}{\Delta t} = \frac{W_{\text{eng}}}{\Delta t} \frac{0.5 T_h + T_c}{T_h - T_c}$$

$$\frac{Q_c}{\Delta t} = 1.40 \left( \frac{0.5 T_h + 383}{T_h - 383} \right), \text{ where } Q_c / \Delta t \text{ is in megawatts and } T \text{ is in kelvins.}$$

- (b) The exhaust power decreases as the firebox temperature increases.

$$\begin{aligned}
 \text{(c)} \quad \frac{|Q_c|}{\Delta t} &= (1.40 \text{ MW}) \left( \frac{0.5 T_h + 383 \text{ K}}{T_h - 383 \text{ K}} \right) \\
 &= (1.40 \text{ MW}) \left( \frac{0.5(1\,073 \text{ K}) + 383 \text{ K}}{1\,073 \text{ K} - 383 \text{ K}} \right) = \boxed{1.87 \text{ MW}}
 \end{aligned}$$

(d) We require

$$\begin{aligned}
 \frac{|Q_c|}{\Delta t} &= \frac{1}{2}(1.87 \text{ MW}) = (1.40 \text{ MW}) \left( \frac{0.5 T_h + 383 \text{ K}}{T_h - 383 \text{ K}} \right) \\
 \frac{0.5 T_h + 383 \text{ K}}{T_h - 383 \text{ K}} &= 0.666 \\
 0.5 T_h + 383 \text{ K} &= 0.666 T_h - 255 \text{ K} \\
 T_h &= 638 \text{ K} / 0.166 = \boxed{3.84 \times 10^3 \text{ K}}
 \end{aligned}$$

(e) The minimum possible heat exhaust power is approached as the firebox temperature goes to infinity, and it is  $|Q_c| / \Delta t = 1.40 \text{ MW}(0.5/1) = 0.700 \text{ MW}$ . The heat exhaust power cannot be as small as  $(1/4)(1.87 \text{ MW}) = 0.466 \text{ MW}$ . So no answer exists. The energy exhaust cannot be that small.



## Problems 37

In a cylinder of an automobile engine, immediately after combustion the gas is confined to a volume of  $50.0 \text{ cm}^3$  and has an initial pressure of  $3.00 \times 10^6 \text{ Pa}$ . The piston moves outward to a final volume of  $300 \text{ cm}^3$ , and the gas expands without energy transfer by heat.

- (a) What is the final pressure of the gas?
- (b) How much work is done by the gas in expanding?

Khí gaz trong một xy lanh của động cơ ô tô có thể tích  $50,0 \text{ cm}^3$  và áp suất ban đầu là  $3.00 \times 10^6 \text{ Pa}$ . Khi đốt cháy nhiệt độ tăng làm cho khí đốt giãn nở tạo nên áp suất tác dụng lên một piston (pít-tông) đẩy piston này di chuyển đi. Pít-tông giãn nở đến thể tích cuối cùng là  $300 \text{ cm}^3$  và khí xem như giãn nở đoạn nhiệt.

(a) Tính Áp suất cuối cùng của khí?

(b) Tính công việc được thực hiện trong quá trình này?

**P22.37** (a) For adiabatic expansion,  $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ . Therefore,

$$\begin{aligned} P_f &= P_i \left( \frac{V_i}{V_f} \right)^\gamma = (3.00 \times 10^6 \text{ Pa}) \left( \frac{50.0 \text{ cm}^3}{300 \text{ cm}^3} \right)^{1.40} \\ &= \boxed{2.44 \times 10^5 \text{ Pa}} \end{aligned}$$

(b) Since  $Q = 0$ , we have  $W_{\text{eng}} = Q - \Delta E = -nC_V \Delta T = -nC_V (T_f - T_i)$ .

From  $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V}$ , we get  $(\gamma - 1)C_V = R$ , so that

$$C_V = \frac{R}{1.40 - 1} = 2.50 R$$

The work done by the gas in expanding is then

$$\begin{aligned} W_{\text{eng}} &= n(2.50 R)(T_i - T_f) = 2.50 P_i V_i - 2.50 P_f V_f \\ &= 2.50 \left[ (3.00 \times 10^6 \text{ Pa})(50.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \right. \\ &\quad \left. - (2.44 \times 10^5 \text{ Pa})(300 \times 10^{-6} \text{ m}^3) \right] \\ &= \boxed{192 \text{ J}} \end{aligned}$$

$\frac{P}{V^\gamma}$

Adiabatic

# Problems 38

An idealized diesel engine operates in a cycle known as the *air-standard diesel cycle* shown in Figure P22.38. Fuel is sprayed into the cylinder at the point of maximum compression,  $B$ . Combustion occurs during the expansion  $B \rightarrow C$ , which is modeled as an isobaric process. Show that the efficiency of an engine operating in this idealized diesel cycle is

$$e = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right)$$

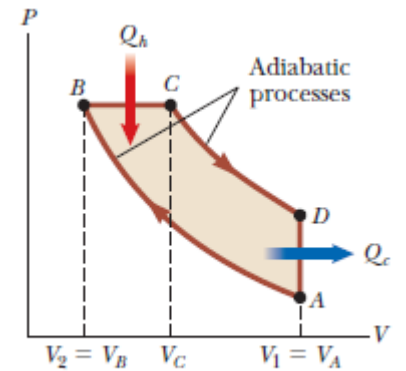


Figure P22.38

Một động cơ diesel lý tưởng hoạt động theo chu trình cấp nhiệt đẳng áp, thể hiện như hình P22.38. Đặc điểm của chu trình này là trong quá trình nạp, xylanh chỉ nạp không khí, sau đó, không khí được nén đoạn nhiệt theo quá trình A-B. Tại trạng thái B, áp suất cao, nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tự bốc cháy của nhiên liệu, khi đó, người ta phun nhiên liệu lỏng vào xylanh có sẵn không khí nóng, và tự bốc cháy. B-C là quá trình vừa cháy vừa dịch chuyển pittông, xem là quá trình đẳng áp (cháy chậm). Sau đó, pittông di chuyển đi xuống, hai van nạp và xả đóng, sản phẩm cháy giãn nở đoạn nhiệt, sinh công có ích ( quá trình CD),. Khi pittông đến điểm D, van xả mở, van nạp đóng, sản phẩm cháy được thải ra ngoài làm áp suất trong xylanh giảm xuống đột ngột ( quá trình DA), pittông lại dịch chuyển lên, sản phẩm cháy còn lại trong xylanh được quét thải ra ngoài, tiếp tục thực hiện lại quá trình nạp như ban đầu.

Chứng minh hiệu suất của động cơ hoạt động trong chu kỳ diesel này là

$$e = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right)$$

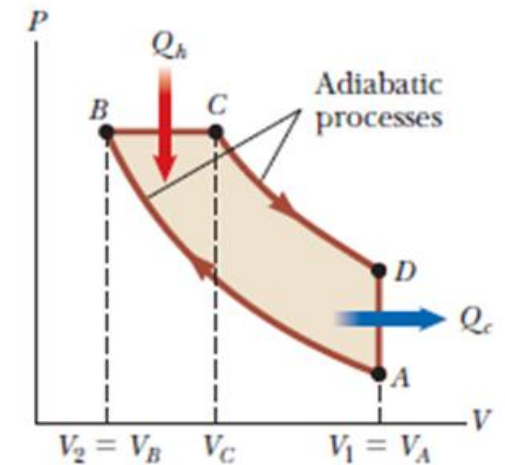


Figure P22.38

**P22.38** The energy transferred by heat over the paths  $CD$  and  $BA$  is zero since they are adiabatic.

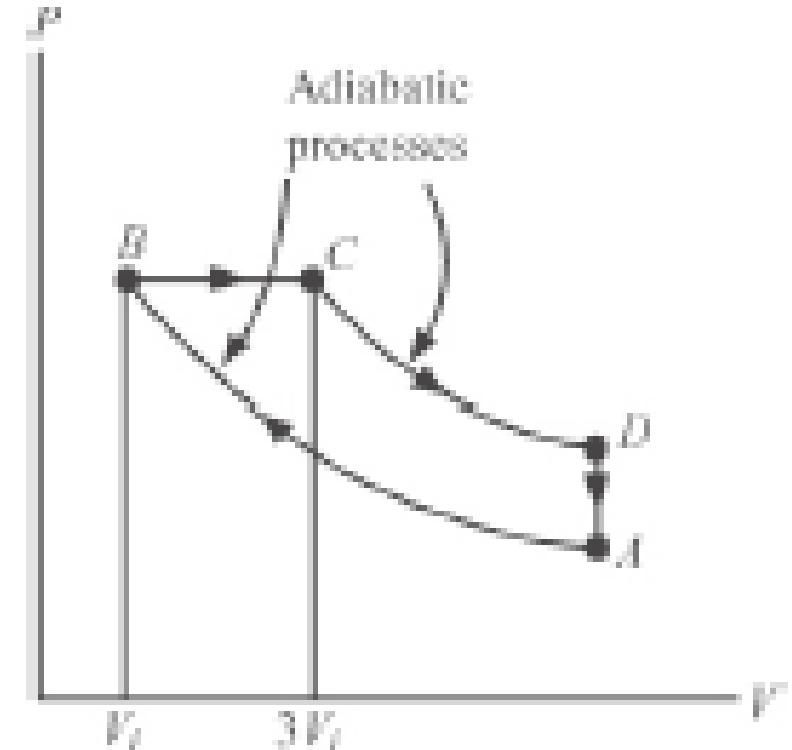
Over path  $BC$ :  $Q_{BC} = nC_P (T_C - T_B) > 0$

Over path  $DA$ :  $Q_{DA} = nC_V (T_A - T_D) < 0$

Therefore,  $|Q_c| = |Q_{DA}|$  and  $Q_h = Q_{BC}$ .

The efficiency is then

$$e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} = 1 - \frac{(T_D - T_A)C_V}{(T_C - T_B)C_P} = 1 - \frac{1}{\gamma} \left( \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \right)$$



**ANS. FIG. P22.38**

## Problems 49

A 2.00-L container has a center partition that divides it into two equal parts as shown in Figure P22.49. The left side contains 0.044 0 mol of  $\text{H}_2$  gas, and the right side contains 0.044 0 mol of  $\text{O}_2$  gas. Both gases are at room temperature and at atmospheric pressure. The partition is removed, and the gases are allowed to mix. What is the entropy increase of the system?

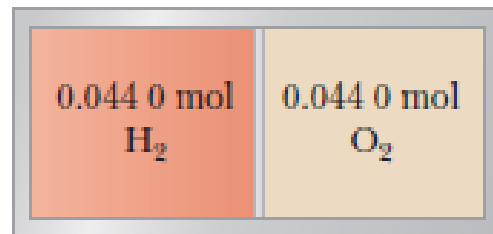


Figure P22.49

Một thùng chứa 2L có hai ngăn bằng nhau như trong hình P22.49. Ngăn bên trái chứa 0,044 mol khí  $\text{H}_2$  và ngăn bên phải chứa 0,044 mol khí  $\text{O}_2$ . Cả hai loại khí đều ở nhiệt độ phòng và ở áp suất khí quyển. Nếu bỏ vách ngăn hai bên khí được phép trộn lẫn nhau. Entropy của hệ tăng lên bao nhiêu?

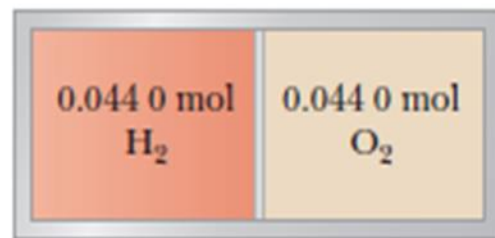
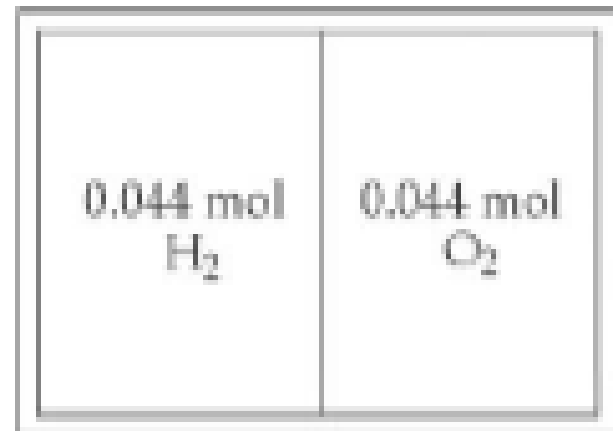


Figure P22.49



**P22.49** Each gas expands into the other half of the container as though the other gas were not there; therefore, consider each gas to undergo a free expansion process in which its volume doubles. From Equation 22.17, the entropy change is twice that for a single gas:

$$\begin{aligned}\Delta S &= 2 \left[ nR \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right) \right] \\ &= 2 \left[ (0.044 \text{ mol}) (8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}) (\ln 2) \right] \\ &= \boxed{0.507 \text{ J/K}}\end{aligned}$$



**ANS. FIG. P22.49**

# Problems 50

What change in entropy occurs when a 27.9-g ice cube at  $212^{\circ}\text{C}$  is transformed into steam at  $115^{\circ}\text{C}$ ?

Entropy thay đổi như thế nào khi một khối băng nặng 27,9 g ở  $212\text{ }^{\circ}\text{C}$  được chuyển thành hơi ở nhiệt độ  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Cho

nhiệt dung của đá  $c_{\text{ice}} = 2090\text{ J/(kg }^{\circ}\text{C)}$

nhiệt dung của nước  $c_{\text{water}} = 4186\text{ J/(kg }^{\circ}\text{C)}$

nhiệt dung của hơi nước  $c_{\text{steam}} = 2010\text{ J/(kg }^{\circ}\text{C)}$ ,

hệ số hóa lỏng của đá  $L_f = 3,33 \times 10^5\text{ J/kg}$

hệ số hóa hơi của nước  $L_v = 2,26 \times 10^5\text{ J/kg}$

**\*P22.50** We take data from Tables 20.1 and 20.2, and we assume a constant specific heat for each phase. As the ice is warmed from  $-12.0^{\circ}\text{C}$  to  $0^{\circ}\text{C}$ , its entropy increases by

$$\begin{aligned}\Delta S &= \int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_{261 \text{ K}}^{273 \text{ K}} \frac{mc_{\text{ice}} dT}{T} = mc_{\text{ice}} \int_{261 \text{ K}}^{273 \text{ K}} T^{-1} dT = mc_{\text{ice}} \ln T \Big|_{261 \text{ K}}^{273 \text{ K}} \\ \Delta S &= (0.0279 \text{ kg})(2090 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(\ln 273 \text{ K} - \ln 261 \text{ K}) \\ &= (0.0279 \text{ kg})(2090 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) \left[ \ln \left( \frac{273 \text{ K}}{261 \text{ K}} \right) \right] \\ \Delta S &= 2.62 \text{ J/K}\end{aligned}$$

As the ice melts its entropy change is

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{mL_f}{T} = \frac{(0.0279 \text{ kg})(3.33 \times 10^5 \text{ J/kg})}{273 \text{ K}} = 34.0 \text{ J/K}$$

As liquid water warms from 273 K to 373 K,

$$\begin{aligned}\Delta S &= \int_i^f \frac{mc_{\text{liquid}} dT}{T} = mc_{\text{liquid}} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) \\ &= (0.027\,9\text{ kg})(4\,186\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}) \ln\left(\frac{373\text{ K}}{273\text{ K}}\right) = 36.5\text{ J/K}\end{aligned}$$

As the water boils and the steam warms,

$$\begin{aligned}\Delta S &= \frac{mL_v}{T} + mc_{\text{steam}} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) \\ \Delta S &= \frac{(0.027\,9\text{ kg})(2.26 \times 10^6\text{ J/kg})}{373\text{ K}} \\ &\quad + (0.027\,9\text{ kg})(2\,010\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}) \ln\left(\frac{388\text{ K}}{373\text{ K}}\right) \\ &= 169\text{ J/K} + 2.21\text{ J/K}\end{aligned}$$

The total entropy change is

$$\Delta S_{\text{tot}} = (2.62 + 34.0 + 36.5 + 169 + 2.21)\text{ J/K} = \boxed{244\text{ J/K}}$$

For steam at constant pressure, the molar specific heat in Table 20.1

implies a specific heat of  $(35.4\text{ J/mol}\cdot\text{K})\left(\frac{1\text{ mol}}{0.018\text{ kg}}\right) = 1\,970\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,

nearly agreeing with  $2\,010\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ .

# Problems 73

A 1.00-mol sample of an ideal monatomic gas is taken through the cycle shown in Figure P22.73. The process  $A \rightarrow B$  is a reversible isothermal expansion. Calculate

- (a) the net work done by the gas,
- (b) the energy added to the gas by heat,
- (c) the energy exhausted from the gas by heat, and
- (d) the efficiency of the cycle.
- (e) Explain how the efficiency compares with that of a Carnot engine operating between the same temperature extremes.

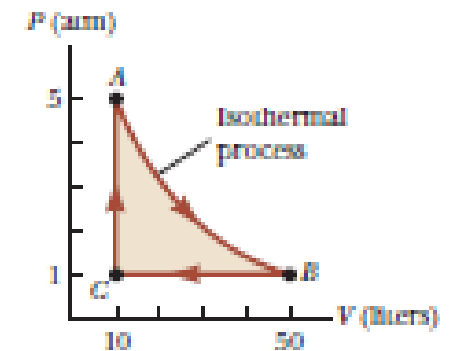


Figure P22.73

Cho 1,00 mol khí đơn nguyên tử thực hiện chu trình như hình P22.73. Quá trình AB là quá trình giãn đẳng nhiệt. Tính

- (a) Tổng công khí thực hiện,
- (b) Nhiệt lượng khí nhận vào,
- (c) Nhiệt lượng khí tỏa ra
- (d) Hiệu suất chu trình.

(e) So sánh hiệu suất trên với hiệu suất của động cơ hoạt động theo chu trình Carnot với nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh lần lượt là nhiệt độ cực đại và cực tiểu của chu trình trên.

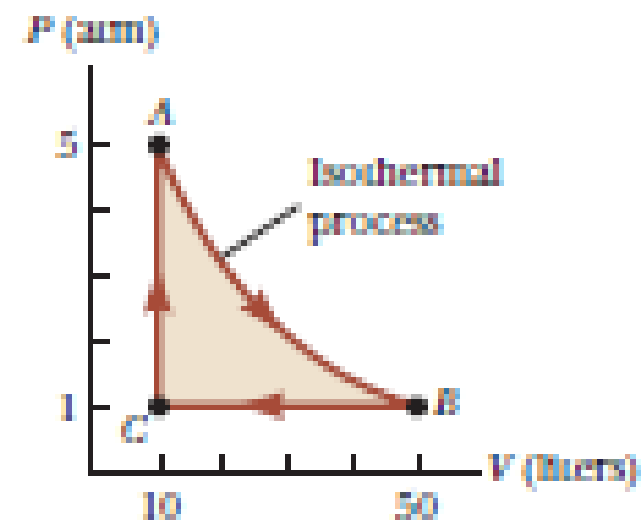


Figure P22.73

**P22.73** (a) For the isothermal process  $AB$ , the work on the gas is

$$W_{AB} = -P_A V_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$

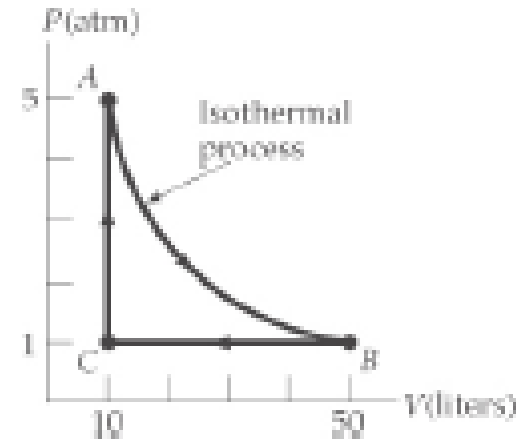
$$W_{AB} = -5(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \ln\left(\frac{50.0 \text{ L}}{10.0 \text{ L}}\right)$$

$$W_{AB} = -8.15 \times 10^3 \text{ J}$$

where we have used  $1.00 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  and  
 $1.00 \text{ L} = 1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ .

$$\begin{aligned} W_{BC} &= -P_B \Delta V = -(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})[(10.0 - 50.0) \times 10^{-3}] \text{ m}^3 \\ &= +4.05 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

$$W_{CA} = 0 \quad \text{and} \quad W_{\text{eng}} = -W_{AB} - W_{BC} = 4.10 \times 10^3 \text{ J} = \boxed{4.10 \text{ kJ}}$$



**ANS. FIG. P22.73**



(b) Since  $AB$  is an isothermal process,  $\Delta E_{\text{int},AB} = 0$

and  $Q_{AB} = -W_{AB} = 8.15 \times 10^3 \text{ J}$ .

For an ideal monatomic gas,  $C_V = \frac{3R}{2}$  and  $C_P = \frac{5R}{2}$ .

$$T_B = T_A = \frac{P_B V_B}{nR} = \frac{(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(50.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{R} = \frac{5.06 \times 10^3}{R}$$

$$\text{Also, } T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{(1.013 \times 10^5 \text{ Pa})(10.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{R} = \frac{1.01 \times 10^3}{R}$$

$$Q_{CA} = nC_V \Delta T = 1.00 \left( \frac{3}{2} R \right) \left( \frac{5.06 \times 10^3 - 1.01 \times 10^3}{R} \right) = 6.08 \text{ kJ}$$

so the total energy absorbed by heat is

$$Q_{AB} + Q_{CA} = 8.15 \text{ kJ} + 6.08 \text{ kJ} = \boxed{1.42 \times 10^4 \text{ J}}$$

$$(c) \quad Q_{BC} = nC_p\Delta T = \frac{5}{2}(nR\Delta T) = \frac{5}{2}P_B\Delta V_{BC}$$

$$|Q_{BC}| = \left| \frac{5}{2}(1.013 \times 10^5)[(10.0 - 50.0) \times 10^{-3}] \right| = |-1.01 \times 10^4 \text{ J}|$$

$$= \boxed{1.01 \times 10^4 \text{ J}}$$

$$(d) \quad e = \frac{W_{\text{eng}}}{|Q_h|} = \frac{W_{\text{eng}}}{Q_{AB} + Q_{CA}} = \frac{4.10 \times 10^3 \text{ J}}{1.42 \times 10^4 \text{ J}} = 0.289 \quad \text{or} \quad \boxed{28.9\%}$$

(e) A Carnot engine operating between  $T_{\text{hot}} = T_A = 5\,060/R$  and  $T_{\text{cold}} = T_C = 1\,010/R$  has  $e_c = 1 - T_c/T_h = 1 - 1/5 = \boxed{80.0\%}$ . The efficiency of the cycle is much lower than that of a Carnot engine operating between the same temperature extremes.