

BÀI GIẢNG (Vật lý 1)
CƠ VÀ NHIỆT



HUỲNH TRÚC PHƯƠNG

Email: htphuong.oarai@gmail.com

CHƯƠNG 7

NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

7.1. Những hạn chế của NL thứ nhất

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

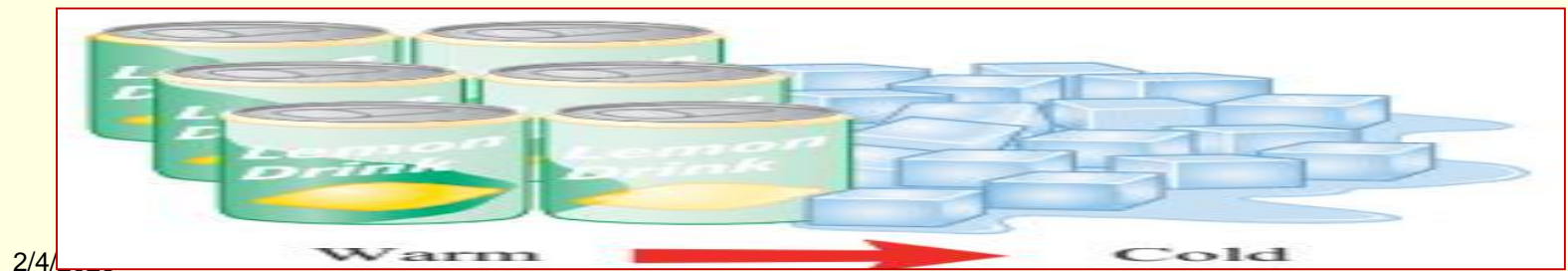
7.3. Nguyên lý thứ hai của NĐL học

7.4. Định lý Carnot

7.5. Entropy và nguyên lý tăng entropy

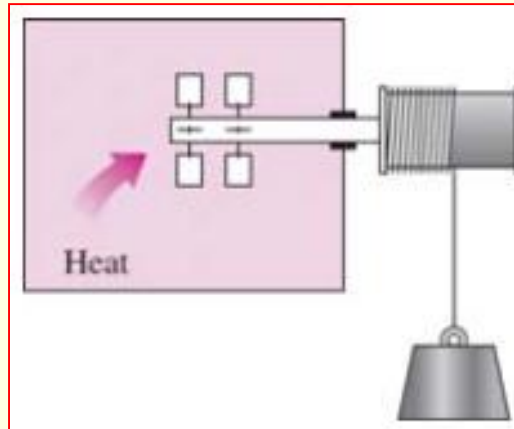


Lord Kelvin
British physicist and mathematician
(1824–1907)

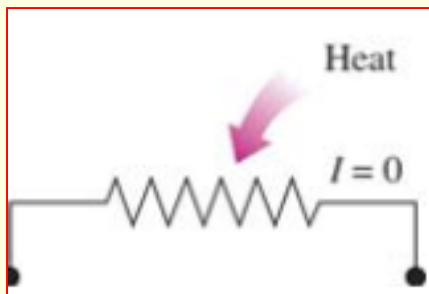


7.1. Những hạn chế của NL thứ nhất

Một tách cafe nóng không thể nóng hơn nếu đặt trong phòng lạnh hơn



Nhiệt truyền cho cánh quạt không thể làm nó quay



Nhiệt truyền cho sợi dây kim loại không thể làm nó tạo ra dòng điện

Các quá trình này không thể xảy ra trong tự nhiên dù nó không vi phạm nguyên lý thứ nhất.

7.1. Những hạn chế của NL thứ nhất

1) Nguyên lý 1 không cho biết nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh hay từ vật lạnh sang vật nóng.



Nguyên lý 1 không cho biết chiều diễn biến của quá trình thực tế xảy ra

2) Nguyên lý 1 cho biết công và nhiệt tương đương nhau



Thực tế công có thể chuyển hóa hoàn toàn thành nhiệt, nhưng nhiệt không thể chuyển hóa hoàn toàn thành công.

3) Nguyên lý 1 không đề cập tới vấn đề chất lượng nhiệt



Thực tế nhiệt lượng Q lấy từ môi trường có nhiệt độ cao có chất lượng cao hơn nhiệt lượng lấy từ môi trường có nhiệt độ thấp

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

Quá trình đưa một hệ nhiệt động từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 được gọi là **thuận nghịch** nếu ta có thể thực hiện được quá trình ngược lại đi qua đúng mọi trạng thái trung gian giống hệt chiều thuận.



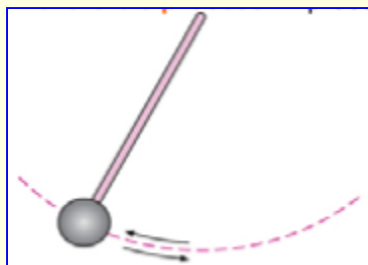
Môi trường xung quanh không bị biến đổi

Quá trình **không thuận nghịch** là quá trình sau khi tiến hành theo chiều ngược lại, hệ không qua đầy đủ các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận



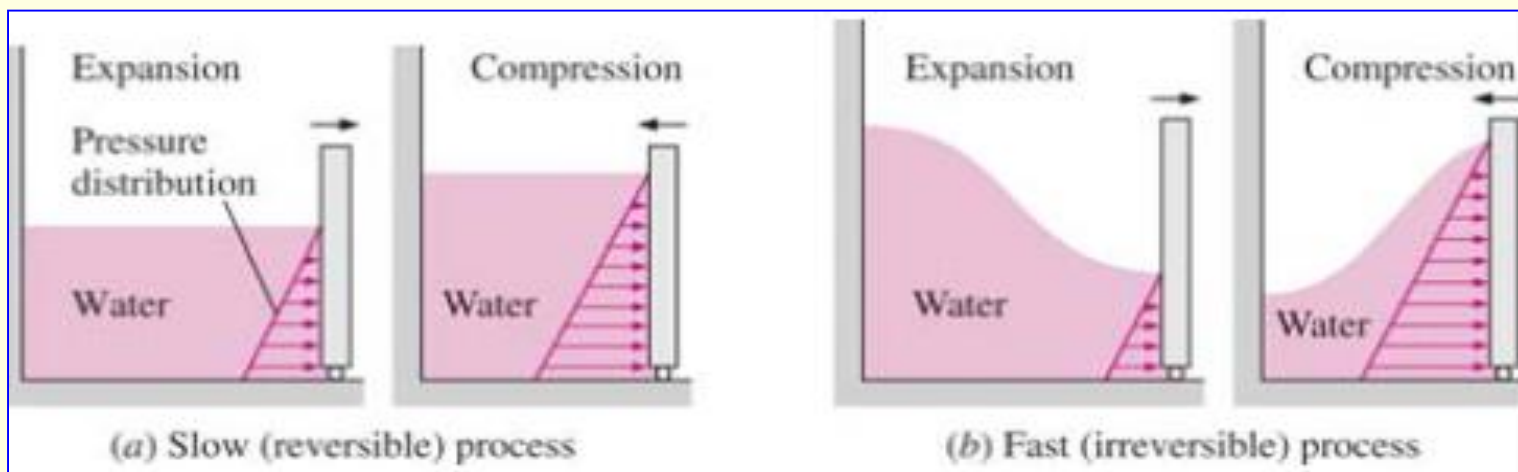
Môi trường xung quanh bị biến đổi

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch



a) Con lắc không ma sát

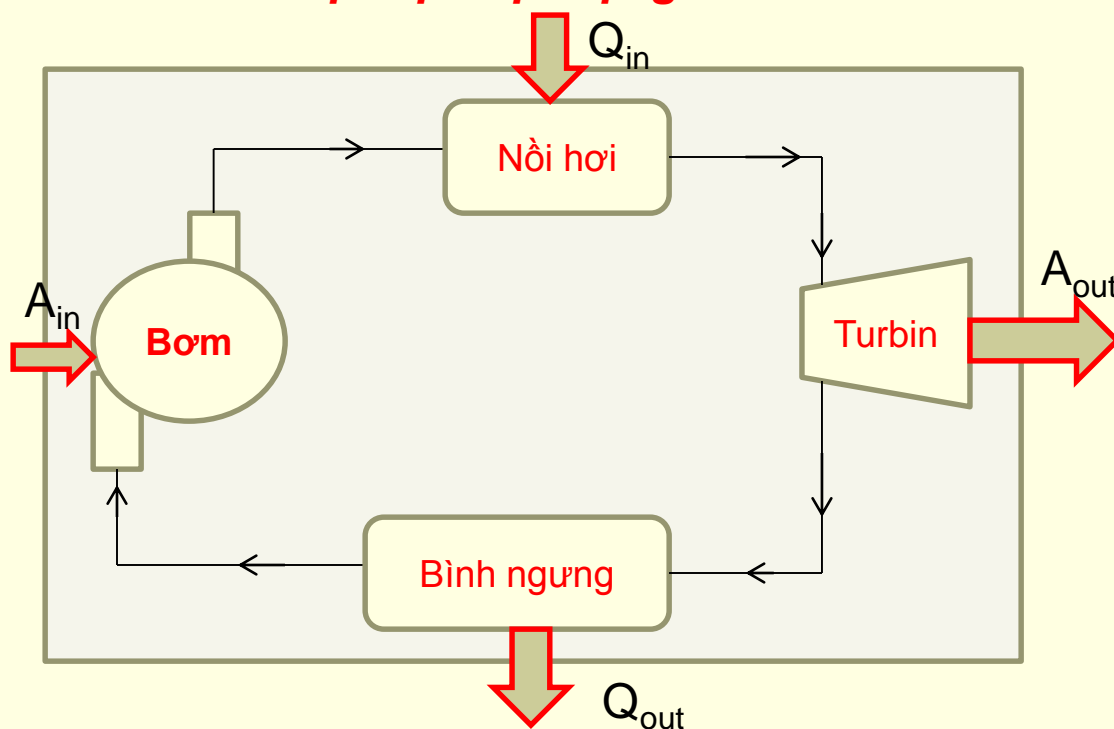
b) Quá trình giãn-nở khí vô cùng chậm



7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

1) Động cơ nhiệt

Là một hệ hoạt động tuần hoàn biến nhiệt thành công

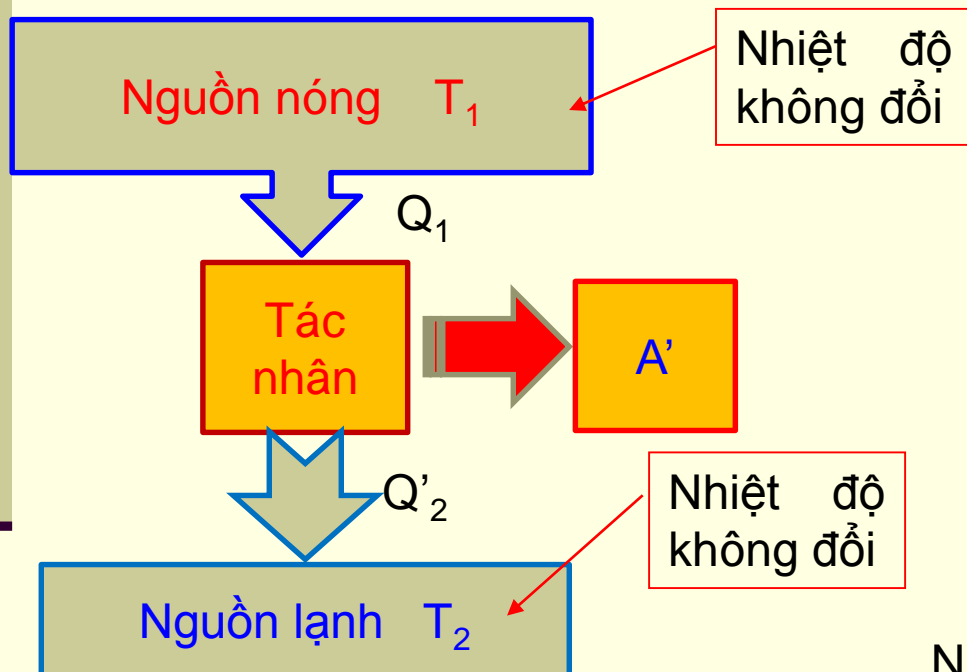


Một phần công sinh ra được tiêu tốn để duy trì động cơ hoạt động liên tục

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

1) Động cơ nhiệt

Là một hệ hoạt động tuần hoàn biến nhiệt thành công



Hiệu suất của động cơ nhiệt

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

Mà $A' = Q_1 - Q'_2$

NÊN

$$\eta = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q'_2}{Q_1}$$

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Phát biểu: *Một động cơ nhiệt không thể sinh công nếu nó chỉ trao đổi với một nguồn nhiệt duy nhất (Kelvin-Planck)*

Một động cơ sinh công mà chỉ trao đổi với một nguồn nhiệt duy nhất



ĐỘNG CƠ VĨNH CỬU LOẠI HAI

Ví dụ 7.1: Một động cơ có hiệu suất 20% và sinh ra công cơ học 23000J trong mỗi giây.

- (a) Tính nhiệt lượng mà động cơ nhận vào.
- (b) Tính nhiệt lượng mà động cơ thải ra

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Ví dụ 7.2: Một động cơ nhận 2kJ nhiệt lượng từ nguồn nóng trong mỗi chu kỳ và nhả cho nguồn lạnh 1,5kJ nhiệt lượng

(a) Tìm hiệu suất của động cơ.

(b) Tính công sinh ra trong mỗi chu kỳ của động cơ

Bài giải:

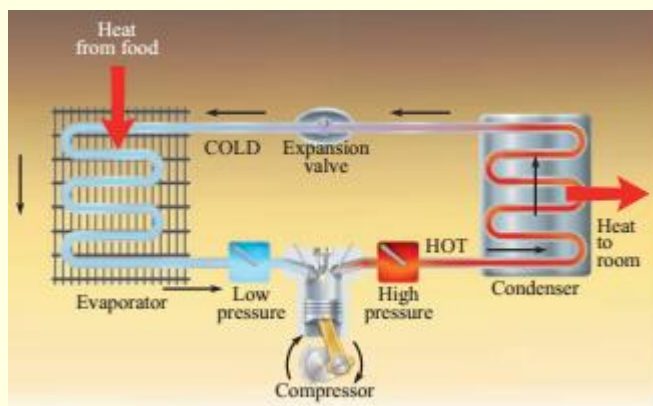
Ví dụ 7.3: Một động cơ hoạt động ở hiệu suất 25% sinh ra công ở tốc độ 0,1 MW. Tính tốc độ lượng nhiệt thải ra bên ngoài.

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

2) Tủ lạnh (máy lạnh) và máy bơm nhiệt (máy làm nóng)

- Theo nguyên lý thứ 2 nhiệt ĐL, nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh
- Đối với tủ lạnh và máy bơm nhiệt thì quá trình diễn biến theo chiều ngược lại
- Với tủ lạnh, nhiệt được bơm ra khỏi buồng lạnh vào thực phẩm ấm hơn => **cần công thực hiện**
- Với máy lạnh, cũng tương tự, nhiệt được bơm từ phòng ra ngoài ấm hơn
- Với máy bơm nhiệt, nhiệt được bơm từ ngoài cửa sổ lạnh hơn vào trong phòng ấm hơn



Trong tủ lạnh, chất lỏng được nén làm nhiệt độ của nó tăng lên. Nhiệt thải ra khi chất lỏng đi qua bình ngưng. Bây giờ chất lỏng giãn nở và nhiệt độ giảm xuống. Nhiệt chảy từ ngăn thực phẩm vào chất lỏng lạnh. Chất lỏng chảy về buồng nén để thực hiện chu trình tiếp

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

2) Tủ lạnh và máy bơm nhiệt

Tủ lạnh hoàn hảo là loại tủ lạnh không cần công để chuyển nhiệt lượng từ môi trường có nhiệt độ thấp vào môi trường có nhiệt độ cao



KHÔNG THỂ CHẾ TẠO MỘT TỦ LẠNH HOÀN HẢO

“Không thể chế tạo một động cơ nhiệt hoạt động tuần hoàn mà chuyển nhiệt lượng từ hệ có nhiệt độ thấp sang hệ có nhiệt độ cao mà không cần công thực hiện” (Clausius)

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

2) Tủ lạnh và máy bơm nhiệt

Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon_L = \frac{Q_L}{A}$$

Theo nguyên lý 1:

$$Q_L + A = Q_H$$

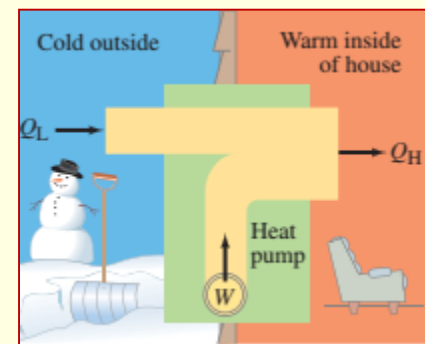
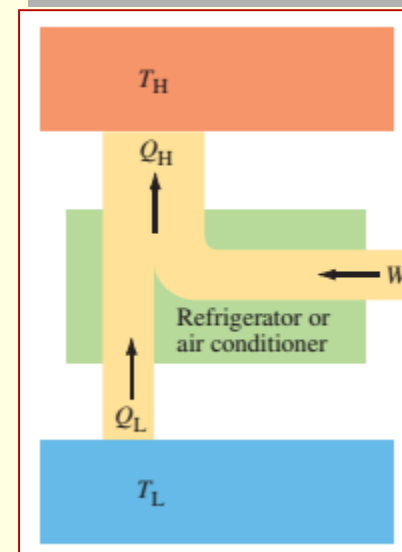


$$\varepsilon_L = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

Đối với máy lạnh lý tưởng:

$$\varepsilon_{\text{ideal}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Đối với máy làm nóng?



7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

2) Tủ lạnh và máy bơm nhiệt

Ví dụ 7.4: Một máy ướp lạnh có hệ số làm lạnh là 2,8 và hoạt động ở công suất 200W. Phải mất bao lâu để đóng băng khối nước 600g tại 0°C. Biết nhiệt nóng chảy của nước ở 0°C là $3,33 \cdot 10^5 \text{J/kg}$

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Ví dụ 7.5: Bạn yêu cầu chế tạo một tủ lạnh sao cho nhiệt độ bên trong tủ lạnh là 2°C trong khi nó hoạt động trong phòng ở 25°C và có hệ số làm lạnh là 13,5. Yêu cầu của bạn có thực hiện được không?

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Ví dụ 7.6: Một máy bơm nhiệt có hệ số làm nóng là 3,0 và hoạt động ở công suất 1500 W.

- a) Tính lượng nhiệt được bơm vào trong phòng mỗi giây.
- b) Nếu máy bơm nhiệt được điều chỉnh để hoạt động như máy lạnh vào mùa hè, thì hệ số làm lạnh của máy phải bằng bao nhiêu? Các thông số máy không đổi

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

BÀI TẬP 1: Một máy bơm nhiệt hoạt động ở công suất 1500 W. Lượng nhiệt được bơm vào trong phòng mỗi giây là 4500 J. Tính hệ số làm nóng

ĐS: 3

BÀI TẬP 2: Một máy động cơ nhiệt có hệ số làm lạnh bằng 2. Lượng nhiệt lấy ra khỏi buồng lạnh là 3000 J. Tính công mà động cơ thực hiện.

ĐS: $A = 1500 \text{ J}$

Ví dụ 3: Bạn yêu cầu chế tạo một tủ lạnh sao cho nhiệt độ bên trong tủ lạnh là 2°C trong khi nó hoạt động trong phòng ở 27°C và có hệ số làm lạnh là 9. Yêu cầu của bạn có thực hiện được không?

ĐS: Có

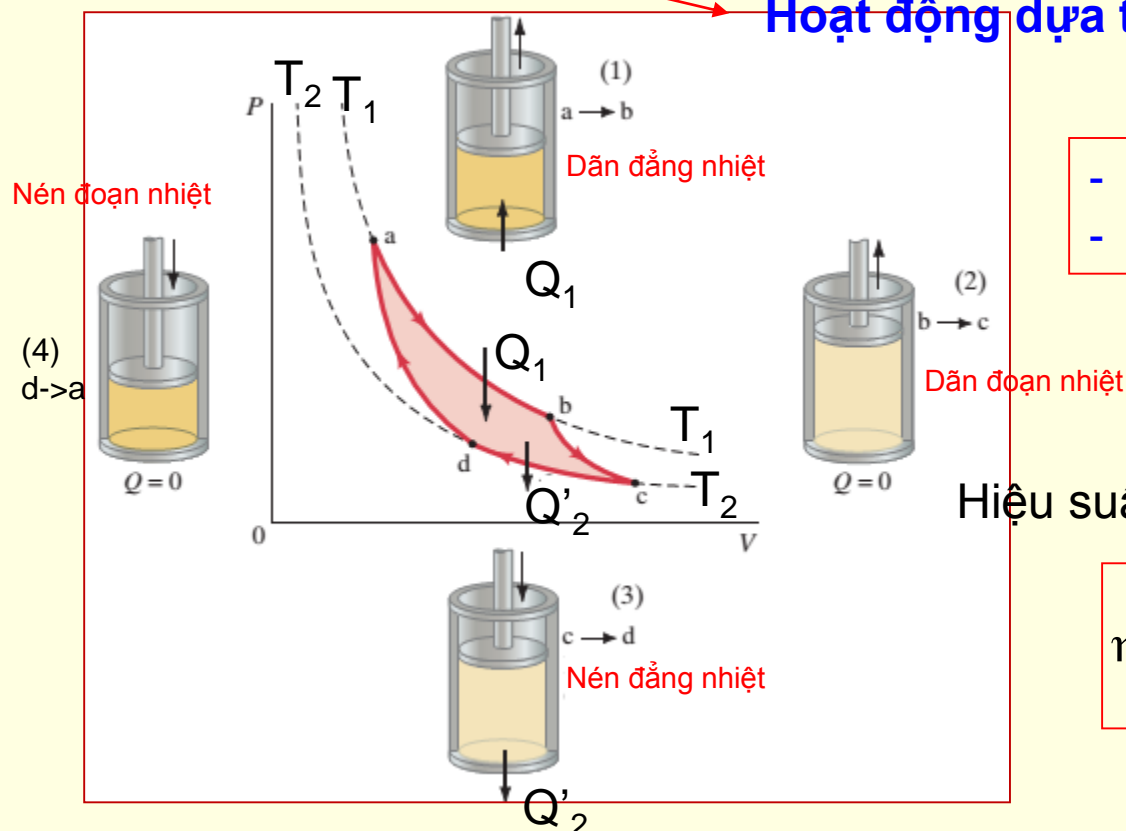
7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học



Sadi Carnot
French engineer (1796–1832)

3) Động cơ Carnot

Hoạt động dựa trên chu trình Carnot



- 2 quá trình đẳng nhiệt
- 2 quá trình đoạn nhiệt

Hiệu suất của động cơ Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{Q'_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Hiệu suất của động cơ hoạt động theo chu trình Carnot chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng và nguồn lạnh

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Ví dụ 7.7: Bạn yêu cầu chế tạo động cơ với điều kiện như sau: Động cơ phải nhận nhiệt lượng 9kJ tại 435K và nhả nhiệt cho nguồn lạnh 4kJ tại 285K. Yêu cầu của bạn có thể thực hiện được không?

Bài giải:

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

Ví dụ 7.8: Một động cơ hoạt động theo chu trình Carnot thải nhiệt lượng ở nhiệt độ 340°C và hiệu suất 36%. Tính nhiệt độ khí thải ra để động cơ có thể đạt hiệu suất 42%.

Bài giải:

7.4. Định lý Carnot

1) Phát biểu:

Hiệu suất của tất cả các động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

$$\eta_{\text{ktn}} < \eta_{\text{tn}} \leq \eta_{\text{c}}(\text{tn}) = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

2) Nhận xét:

- Nhiệt không thể hoàn toàn biến thành công.*
- Hiệu suất của động cơ nhiệt càng lớn nếu nhiệt độ nguồn nóng (T_1) càng cao và nhiệt độ nguồn lạnh (T_2) càng thấp.*
- Muốn tăng hiệu suất của động cơ nhiệt thì ngoài cách làm trên còn phải chế tạo sao cho động cơ càng gần với động cơ thuận nghịch.*

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

BÀI TẬP 4: Một động cơ hoạt động theo chu trình Carnot NHẬN nhiệt lượng ở nhiệt độ 800°C và hiệu suất 40%. Tính nhiệt độ khí thải ra

ĐS: $T_2 = 370,8^{\circ}\text{C}$

BÀI TẬP 5: Một động cơ hoạt động theo chu trình Carnot NHẬN nhiệt lượng từ buồng nóng ở nhiệt độ 800°C và thải nhiệt lượng ra buồng lạnh ở nhiệt độ 300°C . Tính hiệu suất của động cơ

ĐS: 46,6%

BÀI TẬP 6: Một động cơ hoạt động theo chu trình Carnot thải nhiệt lượng ra buồng lạnh ở nhiệt độ 200°C , và hiệu suất của động cơ là 45%. Tính nhiệt độ ở buồng nóng mà động cơ nhận được.

ĐS: $T_1 = 587^{\circ}\text{C}$

7.3. Nguyên lý thứ 2 của NĐL học

BÀI TẬP 7: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot có công suất 500W. Nhiệt độ của nguồn nóng là 227°C , nguồn lạnh là 27°C . Tính nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh mỗi giây.

ĐS: $Q'_2 = 750 \text{ J}$

BÀI TẬP 8: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot có công suất 500W. Nhiệt độ của nguồn nóng là 227°C , nguồn lạnh là 27°C . Tính nhiệt lượng mà tác nhân nhận được trong mỗi giây.

ĐS: $Q_1 = 1250 \text{ J}$

BÀI TẬP 9: Một động cơ nhiệt nhận của nguồn nóng 52 kcal và trả cho nguồn lạnh 36kcal nhiệt lượng trong mỗi chu trình. Tính hiệu suất của động cơ.

ĐS: 30,7%

7.5. Biểu thức định lượng của nguyên lý 2

Từ biểu thức tính hiệu suất của động cơ nhiệt thuận nghịch chạy chu trình Carnot, ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2'}{Q_1}$$

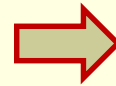
→ Từ biểu thức định nghĩa hiệu suất và của chu trình Carnot, ta được:

$$\frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Do $Q_2 = -Q_2'$, nên:

tác nhân nhận vào của nguồn lạnh

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$



Biểu thức định lượng của nguyên lý 2

Nếu động cơ tiếp xúc với nhiều nguồn nhiệt thì

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

Nếu quá trình biến thiên liên tục thì động cơ có thể xem tiếp xúc với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ gần như nhau thì

$$\int \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Dấu = ứng với quá trình thuận nghịch

Dấu < ứng với quá trình không thuận nghịch

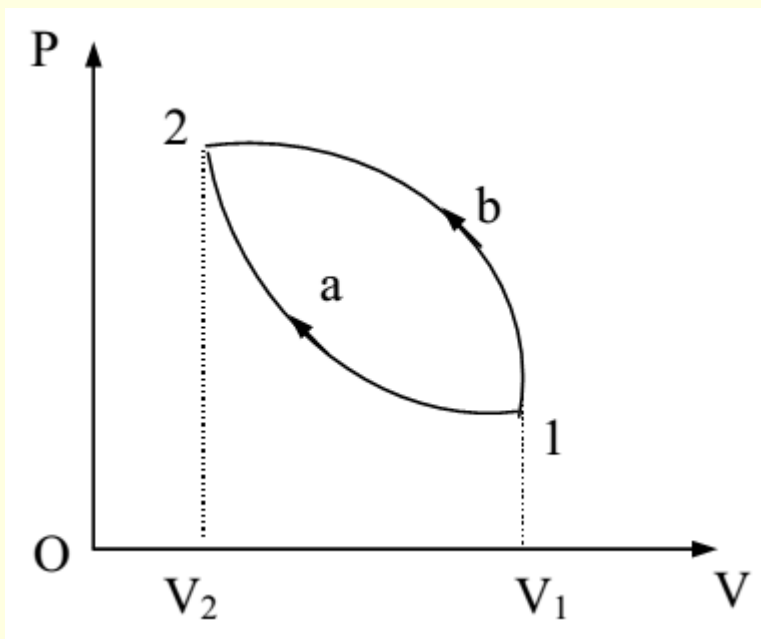
7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

1) Entropy và hàm Entropy

Entropy là đại lượng vật lý đo *mức độ vô trật tự hay mức độ ngẫu nhiên* của một hệ. Chiều diễn tiến tự nhiên của các quá trình nhiệt động có sự liên hệ với sự thay đổi entropy của hệ.

Khi một hệ biến đổi theo một chu trình thuận nghịch thì:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$$



$$\oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}$$

Chỉ phụ thuộc trạng thái đầu và cuối

7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

1) Entropy và hàm Entropy

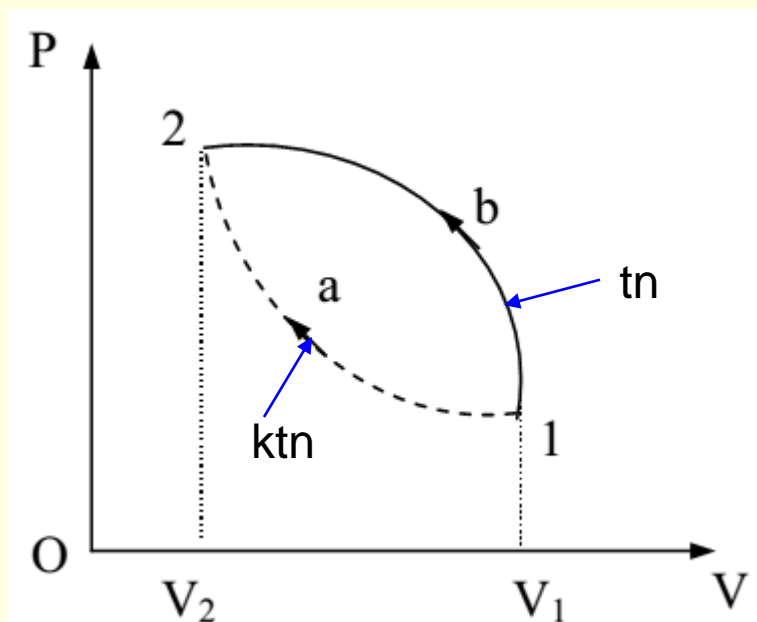
Độ biến thiên Entropy:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T}$$

S: entropy của hệ
Đơn vị: J/K

Vi phân của entropy:

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$



Đối với chu trình không thuận nghịch

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$




$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0$$

7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

vì 2b1 là quá trình thuận nghịch nên:

$$\int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = - \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}$$


$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} < \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} \Leftrightarrow \int_{ktn} \frac{\delta Q}{T} < \Delta S$$

TỔNG QUÁT

$$\Delta S \geq \int \frac{\delta Q}{T}$$
$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

Dấu = ứng thuận nghịch

Dấu > ứng không thuận nghịch

7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

2) Nguyên lý tăng Entropy

Đối với hệ cô lập: $\delta Q = 0$



$$\Delta S \geq 0$$

$\Delta S = 0$: quá trình TN

$\Delta S > 0$: quá trình KTN

Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, entropy của hệ luôn luôn tăng.

3) Entropy của khí lý tưởng

a) Quá trình đoạn nhiệt:

$$\Delta S = 0 \Rightarrow S = \text{const.}$$

b) Quá trình đẳng nhiệt:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

c) Quá trình bất kỳ:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$$

7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

Ví dụ 7.9: Một khối khí ôxy có khối lượng 10g được hơ nóng từ nhiệt độ $t_1 = 50^\circ\text{C}$ tới $t_2 = 150^\circ\text{C}$. Tính độ biến thiên entropi nếu quá trình hơ nóng là:

a. Đẳng tích.

b. Đẳng áp.

Đáp số: a/ $\Delta S_V = 1,75 \text{ J/K}$

b/ $\Delta S_P = 2,45 \text{ J/K}$

Bài giải:

7.6. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

Ví dụ 7.10: Một khối đá có khối lượng 56g được lấy ra từ một tủ lạnh ở 0°C rồi đặt vào cốc bằng giấy. Sau vài phút thì một nửa khối đá tan thành nước ở 0°C . Tìm độ biến thiên entropy của đá/nước. Biết hệ số tan chảy của nước đá là $3,33 \cdot 10^5 \text{J/kg}$.

Đáp số: 34,2J/K

Bài giải:

BÀI TẬP

Câu 1: Khi nói về động cơ nhiệt, phát biểu nào sau đây là sai?

- a. Là thiết bị biến nhiệt thành công
- b. Tác nhân phải tiếp xúc với hai nguồn nhiệt: nguồn nóng và nguồn lạnh
- c. Hiệu suất của động cơ nhiệt là $\eta = 1 - T_2/T_1$
- d. Công sinh ra từ động cơ là $A' = Q_1 - Q_2$

Câu 2: Khi nói về máy làm lạnh, phát biểu nào sau đây là sai?

- a. Là thiết bị nhận công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng
- b. Hệ số làm lạnh của máy là $\varepsilon = Q_2/A$
- c. Hệ số làm lạnh luôn nhỏ hơn 1
- d. Trong phòng có máy lạnh thì nguồn nóng đặt bên ngoài và nguồn lạnh đặt bên trong

BÀI TẬP

Câu 4: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot có công suất 500W. Nhiệt độ của nguồn nóng là 227°C , nguồn lạnh là 27°C . Tính nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh trong 5s.

- a. 3750J b. 750J c. 6250J d. 2500J

Câu 5: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot có công suất 500W. Nhiệt độ của nguồn nóng là 227°C , nguồn lạnh là 27°C . Tính nhiệt lượng mà tác nhân nhận được trong 5s.

- a. 3750J b. 750J c. 6250J d. 2500J

Câu 6: Một động cơ nhiệt nhận của nguồn nóng 52 kcal và trả cho nguồn lạnh 36kcal nhiệt lượng trong mỗi chu trình. Tính hiệu suất của động cơ

- a. 41,5% b. 49,2% c. 30,7% d. 70,4%

Câu 7: Một động cơ đốt trong thực hiện 95 chu trình trong mỗi giây. Công suất của động cơ là 120HP ($1\text{HP} = 736\text{W}$). Hiệu suất động cơ là 40%. Công sinh ra trong mỗi chu trình là

- a. 2325J b. 930J c. 88,7kJ d. 70,4kJ

BÀI TẬP

Câu 8: Một động cơ nhiệt lý tưởng làm việc theo chu trình Carnot. Nhiệt độ của nguồn nóng là 127°C , nguồn lạnh là 27°C . Động cơ nhận của nguồn nóng nhiệt lượng 6300J trong mỗi giây. Công suất của động cơ là

- a. 4725W b. $18,9\text{kW}$ c. $4,9\text{kW}$ d. 1575W

Câu 9: Nhiệt dung riêng của nước là $c = 4200\text{J/kg.K}$. Độ biến thiên entropy của 5kg nước khi đun nóng từ 20°C đến 100°C là.

- a. $\Delta S = 5\text{kJ/K}$ b. $\Delta S = -5\text{kJ/K}$ c. $\Delta S = 33,8\text{kJ/K}$ d. $\Delta S = -33,8\text{kJ/K}$

Câu 10: Khi hơi nóng đẳng áp $6,5\text{g}$ khí hydro sao cho thể tích tăng gấp đôi. Độ biến thiên entropy là

- a. $\Delta S = 65\text{J/K}$ b. $\Delta S = -65\text{J/K}$ c. $\Delta S = 65,5\text{J/K}$ d. $\Delta S = -65,6\text{J/K}$