

Nguyên lý thứ hai của nhiệt động học còn gọi là nguyên lý về entropy, liên quan đến tính không thể đảo ngược của một quá trình nhiệt động học.

CHƯƠNG 7. NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

Nội dung giảng dạy

- 7.1. Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học.
- 7.2. Quá trình thuận nghịch và bất thuận nghịch.
- 7.3. Nguyên lý thứ hai của nhiệt động học.
- 7.4. Chu trình Carnot và Định lý Carnot.
- 7.5. Biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai nhiệt động học.
- 7.6. Khái niệm Entropy và nguyên lý tăng Entropy..

7.1. NHỮNG HẠN CHẾ CỦA NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

1. Nguyên lý I chưa nêu lên được chiều diễn biến của các quá trình trong thực tế

Khi cho hai vật có nhiệt độ khác nhau tiếp xúc với nhau thì chúng truyền nhiệt cho nhau. Dù nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh hay ngược lại thì cũng không vi phạm nguyên lý I. Thực tế, quá trình truyền nhiệt chỉ tự phát xảy ra theo chiều từ vật nóng sang vật lạnh.

Một vật rơi tự do từ độ cao h , khi tới mặt đất (giả sử không có biến dạng) thế năng của vật ở độ cao h chuyển thành động năng của vật ở điểm rơi, rồi chuyển thành nhiệt làm nóng môi trường tại điểm rơi. Tuy nhiên nếu vật đang nằm trên mặt đất, ta cho vật nhận một nhiệt lượng đúng bằng thế năng của vật ở độ cao h thì nó cũng không thể tự động di chuyển lên độ cao h được, mặc dù quá trình này hoàn toàn phù hợp với nguyên lý I nhiệt động học.

2. Nguyên lý I chưa nêu lên sự khác nhau giữa công và nhiệt trong quá trình chuyển hoá

Theo nguyên lý I, công và nhiệt có thể chuyển hoá qua lại cho nhau. Trên thực tế, công có thể chuyển hoá hoàn toàn thành nhiệt, nhưng nhiệt không thể chuyển hoá hoàn toàn thành công.

3. Nguyên lý I chưa đề cập đến chất lượng của nhiệt

Thực tế chứng tỏ rằng cùng một nhiệt lượng lấy ra để sinh công nhưng nếu lấy ở nguồn có nhiệt độ cao hơn thì nhiệt có thể chuyển hoá thành công lớn hơn, nếu lấy ở nguồn có nhiệt độ thấp hơn thì công sinh ra ít hơn, nghĩa là nguồn nhiệt có nhiệt độ càng cao thì chất lượng nhiệt càng tốt.

Ngoài ra, nguyên lý I nhiệt động học chính là kết quả áp dụng của định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng cho một hệ nhiệt động. Tất cả quá trình xảy ra trong thực tế đều tuân theo nguyên lý I. Tuy nhiên, một quá trình lý thuyết tuân theo nguyên lý I thì chưa chắc đã xảy ra trong thực tế.

Như vậy, nếu chỉ dựa vào nguyên lý I thì sẽ có nhiều vấn đề thực tế không giải quyết được. Nguyên lý II nhiệt động học sẽ khắc phục những hạn chế trên của nguyên lý I và cùng với nguyên lý I tạo thành một hệ thống chặt chẽ làm cơ sở cho việc nghiên cứu các hiện tượng nhiệt. Về mặt kỹ thuật, nguyên lý II đóng một vai trò hết sức quan trọng trong việc chế tạo các động cơ nhiệt.

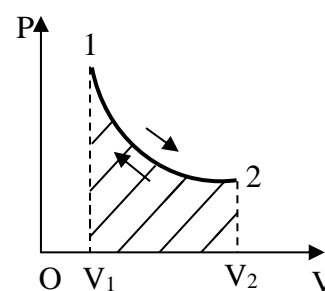
7.2. QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH VÀ KHÔNG THUẬN NGHỊCH

1. Quá trình thuận nghịch

Một quá trình biến đổi của hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 được gọi là thuận nghịch, khi nó có thể tiến hành theo chiều ngược lại và trong quá trình ngược lại đó, hệ đi qua các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận một cách tự phát.

Chẳng hạn như một con lắc đơn dao động trong môi trường không ma sát, nhiệt độ của con lắc bằng nhiệt độ của môi trường. Khi đó, quá trình dao động của con lắc đơn là quá trình thuận nghịch. Quá trình nén hoặc giãn khí đoạn nhiệt vô cùng chậm cũng là một quá trình thuận nghịch.

Với một quá trình thuận nghịch, khi tiến hành theo chiều nghịch thì hệ qua tất cả các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận. Do đó nếu biểu diễn bằng đồ thị thì đồ thị của quá trình thuận và của quá trình nghịch trùng nhau (hình 7.1). Công mà hệ nhận được trong quá trình nghịch (nén) là bằng và ngược dấu với công hệ nhận được trong quá



Hình 7.1

trình thuận (giãn). Trở lại trạng thái cũ, nội năng của hệ không thay đổi. Nhiệt mà hệ nhận vào trong quá trình nghịch (nén) cũng bằng nhiệt mà hệ tỏa ra bên ngoài trong quá trình thuận (giãn).

Sau khi thực hiện quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh không xảy ra bất kỳ một biến đổi nào.

Cần phân biệt quá trình thuận nghịch và quá trình cân bằng. Một quá trình là thuận nghịch thì chắc chắn là quá trình cân bằng. Tuy nhiên, một quá trình cân bằng chưa chắc đã là quá trình thuận nghịch.

Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng không có trong thực tế.

2. Quá trình không thuận nghịch

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

Các quá trình xảy ra có ma sát đều là quá trình không thuận nghịch. Do có ma sát, trong cả quá trình thuận và quá trình nghịch, đều có sự biến đổi một phần công thành nhiệt. Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh cũng là một quá trình không thuận nghịch. Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh xảy ra một cách tự phát, không cần có một tác động nào từ bên ngoài, và sẽ chấm dứt khi nhiệt độ hai

vật bằng nhau. Muốn có quá trình ngược lại, tức là nhiệt truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn thì phải có tác động từ bên ngoài.

Có thể thấy rằng với quá trình không thuận nghịch, đồ thị biểu thị quá trình thuận và quá trình nghịch là không trùng nhau. Hơn nữa, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh bị biến đổi.

3. Máy nhiệt. Động cơ nhiệt và máy làm lạnh

a. Máy nhiệt

Máy nhiệt là những máy có khả năng biến nhiệt thành công hoặc biến công thành nhiệt. Máy nhiệt thường gồm 3 bộ phận chính: nguồn nóng có nhiệt độ T_1 , nguồn lạnh có nhiệt độ T_2 và chất vận chuyển gọi là tác nhân của máy. Người ta thường chia máy nhiệt thành hai loại là động cơ nhiệt và máy làm lạnh. Tất cả các máy nhiệt đều hoạt động tuần hoàn, do đó tác nhân trong máy biến đổi theo các chu trình.

b. Động cơ nhiệt

Động cơ nhiệt là máy nhiệt chuyên dùng vào việc biến nhiệt thành công. Thí dụ như động cơ đốt trong, động cơ diesel, động cơ hơi nước, ...

Nếu trong một chu trình, tác nhân nhận của nguồn nóng một lượng nhiệt Q_1 và nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng Q_2 để sinh công A' thì hiệu suất của động cơ là

$$\eta = \frac{A'}{Q_1}. \quad (7.1)$$

Mặt khác, từ nguyên lý I nhiệt động học, ta suy ra $A' = Q_1 - Q_2$ nên

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (7.2)$$

Thực tế cho thấy hiệu suất của động cơ nhiệt bao giờ cũng nhỏ hơn 1. Nghĩa là thực tế, nhiệt không thể chuyển hoá hoàn toàn thành công.

c. Máy làm lạnh

Máy làm lạnh là máy nhiệt chuyên dùng vào việc nhận công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng hơn. Thí dụ như máy điều hoà, máy làm lạnh, ...

Nếu trong một chu trình, tác nhân nhận công A và lấy đi nhiệt lượng Q_2 từ nguồn lạnh thì hệ số làm lạnh của máy là

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}. \quad (7.3)$$

7.3. NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

1. Phát biểu của Clausius

Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng.

Như vậy, quá trình truyền nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn không tự phát xảy ra, nó bắt buộc phải có tác dụng từ bên ngoài, nghĩa là môi trường xung quanh bị biến đổi. Có thể phát biểu cách khác, *không thể thực hiện một quá trình mà hệ quả duy nhất là đưa nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng mà không để lại dấu tích gì xung quanh.*

2. Phát biểu của Thomson

Không thể thực hiện được một chu trình sao cho kết quả duy nhất của nó là tác nhân sinh công do nhiệt lấy từ một nguồn.

Những máy nhiệt như trong phát biểu của Thomson được gọi là động cơ vĩnh cửu loại hai. Phát biểu trên có thể viết lại như sau: *không thể thực hiện được động cơ vĩnh cửu loại hai.*

Thực vậy, nếu chế tạo được một động cơ như thế thì chỉ việc cho nó tiếp xúc và lấy nhiệt ở một nguồn nhiệt vô cùng lớn như nước của đại dương hoặc khí quyển của trái đất chẳng hạn, nó sẽ sinh công mãi mãi!

Về phương diện năng lượng, động cơ vĩnh cửu loại 2 không mâu thuẫn với nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học và ích lợi của nó thì thật là to lớn. Vì vậy, nhiều người đã cố gắng chế tạo các động cơ đó nhưng họ đều hoàn toàn thất bại. Điều này khẳng định sự đúng đắn của nguyên lý thứ hai

Hai cách phát biểu trên hoàn toàn tương đương nhau. Như vậy, vấn đề chế tạo các máy nhiệt liên quan chặt chẽ với nguyên lý II nhiệt động học.

7.4. CHU TRÌNH CARNOT VÀ ĐỊNH LÝ CARNOT

1. Chu trình Carnot thuận nghịch

Các máy nhiệt đều hoạt động theo các chu trình. Chu trình có lợi nhất là chu trình Carnot. Chu trình Carnot đóng một vai trò to lớn trong sự phát triển nhiệt động học và kỹ thuật nhiệt vì nó cho phép ta lập nên biểu thức định lượng của nguyên lý II, phân tích hiệu suất của các máy nhiệt.

a. Định nghĩa

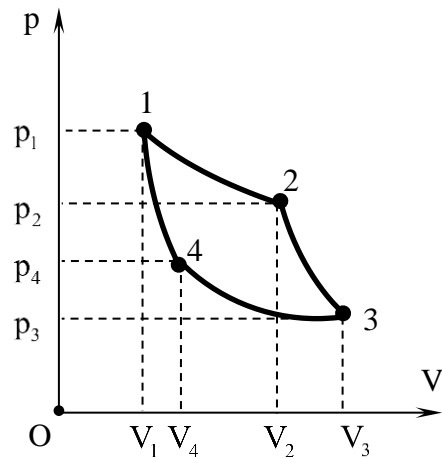
Chu trình Carnot thuận nghịch là một quá trình khép kín bao gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch kế tiếp nhau (hình 7.2).

1-2 là quá trình giãn nở đẳng nhiệt tại nhiệt độ T_1 . Hệ nhận nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nóng.

2-3 là quá trình giãn nở đoạn nhiệt, nhiệt lượng trao đổi bằng 0. Nhiệt độ của hệ giảm từ T_1 xuống T_2 .

3-4 quá trình nén đẳng nhiệt tại nhiệt độ T_2 . Hệ nhả nhiệt Q'_2 cho nguồn lạnh.

4-1 Quá trình nén đoạn nhiệt, nhiệt lượng trao đổi bằng 0. Nhiệt độ tăng từ T_2 đến T_1 , hệ trở về trạng thái ban đầu.



Hình 7.2

Chu trình diễn ra theo chiều kim đồng hồ gọi là chu trình Carnot thuận. Khi một chu trình diễn ra theo chiều này, tác nhân sinh công và nhận nhiệt. Đây chính là nguyên lý hoạt động của động cơ nhiệt. Ngược lại, chu trình diễn ra theo chiều ngược kim đồng hồ gọi là chu trình Carnot nghịch. Khi một chu trình diễn ra theo chiều này, tác nhân nhận công và nhả nhiệt. Đây chính là nguyên lý hoạt động của máy làm lạnh.

b. Hiệu suất của chu trình Carnot thuận

Xét trường hợp tác nhân là khí lý tưởng. Theo (7.2) ta có $\eta = 1 - Q'_2 / Q_1$. Mà theo các quá trình đẳng nhiệt,

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} ; Q'_2 = -Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (7.4)$$

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}. \quad (7.5)$$

Mặt khác, trong quá trình đoạn nhiệt 2-3 và 4-1, ta có các liên hệ,

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}; T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}. \quad (7.6)$$

Chia hai đẳng thức này cho nhau, ta suy ra $\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$. Vậy

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (7.7)$$

trong đó T_1 là nhiệt độ nguồn nóng và T_2 là nhiệt độ nguồn lạnh.

2. Định lý Carnot

Nếu chu trình diễn ra theo chiều thuận thì hệ số máy làm lạnh được xác định là $\varepsilon = Q_2 / A = T_2 / (T_1 - T_2)$. Kết quả này và (7.7) vẫn nhận được khi tác nhân là bất kỳ. Thêm nữa, quá trình không thuận nghịch rõ ràng không cho lợi về công bằng quá trình thuận nghịch. Vì vậy, chúng ta có định lý Carnot như sau.

a. Định lý

- ✓ Hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch không phụ thuộc vào bản chất của tác nhân cũng như cách chế tạo máy.
- ✓ Hiệu suất của các chu trình thực luôn nhỏ hơn hiệu suất của chu trình Carnot thuận.

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (7.8)$$

b. Nhận xét

- ✓ *Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.* Thật vậy, theo (7.8) thì hiệu suất của một động cơ nhiệt luôn nhỏ hơn 1, theo (7.1) ta suy ra $A' < Q_1$, tức là công sinh ra luôn luôn nhỏ hơn lượng nhiệt nhận vào.
- ✓ *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.* Trong thực tế, việc hạ nhiệt độ của nguồn lạnh gặp nhiều khó khăn hơn việc tăng nhiệt độ của nguồn nóng, nên để tăng hiệu suất của động cơ nhiệt, người ta thường chọn cách làm thứ hai. Nếu ta có hai động cơ nhiệt với nguồn lạnh có cùng nhiệt độ thì động cơ nào có nhiệt độ của nguồn nóng cao hơn sẽ có hiệu suất lớn hơn. Từ đó suy ra rằng: *nhiệt lấy từ nguồn có nhiệt độ cao có chất lượng cao hơn nhiệt lấy từ nguồn có nhiệt độ thấp hơn.*
- ✓ *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.* Muốn vậy phải tránh mất mát nhiệt nhận từ nguồn nóng do truyền nhiệt và ma sát.

7.5. BIỂU THỨC ĐỊNH LƯỢNG CỦA NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

Từ (7.2) và (7.8), ta có

$$1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (7.9)$$

Suy ra

$$Q_2' \geq Q_1 \frac{T_2}{T_1}, \quad (7.10)$$

Vậy, trong mọi chu trình thực hiện giữa nguồn nóng có nhiệt độ cao nhất là T_1 và nguồn lạnh có nhiệt độ thấp nhất là T_2 , nếu tác nhân nhận nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nóng để sinh công A' thì phải truyền cho nguồn lạnh nhiệt lượng Q_2' có giá trị không bé hơn $Q_1 \frac{T_2}{T_1}$. Biểu thức (7.10) là biểu thức định lượng của nguyên lý II. Biểu thức

định lượng của nguyên lý II có thể viết ở dạng khác. Từ (7.9), ta suy ra

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0. \quad (7.11)$$

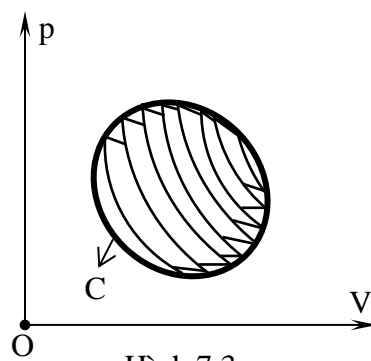
Tỉ số Q/T gọi là nhiệt lượng rút gọn. Biểu thức (7.11) được thiết lập khi chu trình của hệ gồm hai quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt kế tiếp nhau. Nếu chu trình của hệ gồm vô số quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt kế tiếp nhau, các quá trình đẳng nhiệt tương ứng với nhiệt độ T_1, T_2, \dots của các nguồn nhiệt bên ngoài và với nhiệt lượng Q_1, Q_2, \dots thì ta có

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0. \quad (7.12)$$

Với chu trình bất kỳ như được biểu thị bởi đường cong C trong hình 7.3. Ta tưởng tượng chia chu trình này bằng nhiều đường đẳng nhiệt và đoạn nhiệt. Khi đó, có thể coi chu trình bất kỳ này là một tập hợp rất nhiều các chu trình Carnot nhỏ có nhiệt độ T của nguồn nhiệt biến thiên liên tục. Vì vậy, phép lấy tổng ở (7.12) sẽ trở thành phép tích phân,

$$\oint_C \frac{\delta Q}{T} \leq 0. \quad (7.13)$$

Vậy, đối với mọi chu trình, tổng nhiệt lượng rút gọn của chu trình không thể lớn hơn không. Biểu thức (7.13) là một hình thức khác biểu thị định lượng của nguyên lý II. Dấu $=$ ứng với chu trình thuận nghịch, dấu $<$ ứng với chu trình không thuận nghịch.



Hình 7.3

7.6. KHÁI NIỆM ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPY

1. Định nghĩa entropy theo quan điểm nhiệt động

Xét chu trình thuận nghịch 1a2b1 (hình 7.4).

Áp dụng (7.13), ta có

$$\oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (7.14)$$

Hay

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (7.15)$$

Theo tính chất của tích phân, ta suy ra

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} - \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (7.16)$$

Vậy

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}. \quad (7.17)$$

Tích phân $\int_{12} \frac{\delta Q}{T}$ không phụ thuộc vào quá trình mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối. Vì vậy, ta có thể định nghĩa một hàm trạng thái của hệ, S , thỏa mãn

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{12} \frac{\delta Q}{T}. \quad (7.18)$$

Hàm trạng thái, S , được gọi là entropy. Vậy, trong một quá trình thuận nghịch, độ biến thiên entropy có giá trị bằng tổng nhiệt lượng rút gọn của quá trình đó.

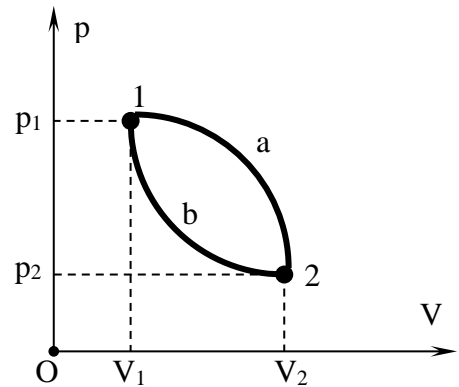
Từ (7.19), ta có vi phân của hàm S là

$$dS = \frac{\delta Q}{T}. \quad (7.19)$$

Entropy S có một số tính chất như sau:

- ✓ Entropy S ở mỗi trạng thái của hệ có một giá trị xác định.
- ✓ Entropy S là đại lượng có tính cộng được, nghĩa là entropy của hệ bằng tổng các entropy của từng phần riêng biệt.
- ✓ Entropy S được xác định sai khác hằng số cộng.
- ✓ Đơn vị của entropy là J/K.

Xét một chu trình không thuận nghịch biểu diễn bằng đường cong 1a2b1, với 1a2 là quá trình không thuận nghịch; 2b1 là quá trình thuận nghịch (hình 7.5). Áp



Hình 7.4

dụng (7.13), ta có

$$\oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0. \quad (7.20)$$

Tách tích phân trên thành hai tích phân thành phần và chú ý tới (7.18), ta suy ra

$$\Delta S > \int_{\text{ktn}} \frac{\delta Q}{T}. \quad (7.21)$$

Gộp hai biểu thức (7.18) và (7.21) ta được

$$\Delta S \geq \int_{12} \frac{\delta Q}{T}. \quad (7.22)$$

Biểu thức này cũng là biểu thức định lượng của nguyên lý II nhiệt động học.

2. Nguyên lý tăng entropy

Hệ cô lập, $\delta Q = 0$, thì

$$\Delta S \geq 0. \quad (7.23)$$

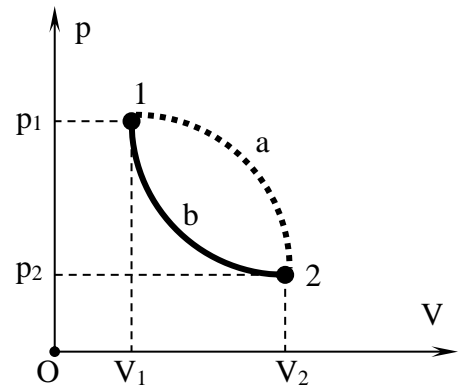
Vậy trong một hệ cô lập, nếu quá trình là thuận nghịch thì entropy của hệ không đổi, nếu quá trình là không thuận nghịch thì entropy của hệ tăng lên. Vì thế ta có nguyên lý tăng entropy: *Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, entropy của hệ luôn luôn tăng.* Nói cách khác entropy xác định chiều diễn biến của quá trình tự nhiên trong hệ cô lập. Nguyên lý này còn được gọi là “nguyên lý tiến hóa”.

Khi hệ ở trạng thái cân bằng rồi thì quá trình không thuận nghịch cũng kết thúc, lúc đó entropy không tăng nữa và đạt giá trị cực đại. Vậy *một hệ ở trạng thái cân bằng khi entropy của hệ cực đại.*

* Sai lầm của thuyết chết nhiệt vũ trụ

Khi mở rộng phạm vi ứng dụng của nguyên lý tăng entropy cho vũ trụ, Clausius và các nhà triết học duy tâm cho rằng vũ trụ sẽ tiến đến trạng thái cân bằng nhiệt. Lúc đó, trong vũ trụ không còn quá trình biến đổi năng lượng nào nữa và vũ trụ ở trong trạng thái bất động tuyệt đối. Con người và mọi sinh vật sẽ bị tiêu diệt vì không còn những quá trình trao đổi năng lượng để duy trì sự sống. Điều này được gọi là *thuyết chết nhiệt vũ trụ.*

Thuyết này mâu thuẫn với định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng: vận động của vật chất là vĩnh cửu, không tiêu diệt được mà chỉ có thể biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Vũ trụ là vô hạn nên không thể ở trạng thái cân bằng nhiệt động.



Hình 7.4

Trong thực tế, vũ trụ không ngừng biến đổi. Những quan sát thiên văn gần đây chứng tỏ luôn có những ngôi sao mới xuất hiện. Có nhiều cơ sở khoa học để nói rằng trong vũ trụ ngoài những quá trình biến đổi sang trạng thái cân bằng nhiệt động còn có những vùng có nhiệt độ cao, trong đó các quá trình biến đổi ứng với sự giảm của entropy. Sinh vật học cũng luôn phát hiện được các vi sinh vật mới và trong quá trình phát triển chúng chống lại sự tăng entropy.

3. Độ biến thiên entropy của khí lý tưởng

Xét quá trình biến đổi trạng thái của một khối khí lý tưởng từ trạng thái I (p_1, V_1, T_1) sang trạng thái II (p_2, V_2, T_2).

Nếu quá trình là đoạn nhiệt thì $\delta Q = 0 \rightarrow \Delta S = 0 \rightarrow S = \text{const}$.

Nếu quá trình là đẳng nhiệt thì $\Delta S = Q/T$.

Nếu quá trình là bất kỳ, xét một biến đổi vô cùng bé, ta có

$$dU = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT \quad \text{và} \quad \delta A = -p dV = -\frac{m}{\mu} R T \frac{dV}{V}. \quad (7.24)$$

Độ biến thiên nhiệt lượng trong quá trình này là

$$\delta Q = dU - \delta A = \frac{m}{\mu} \left(\frac{i}{2} R dT + R T \frac{dV}{V} \right). \quad (7.25)$$

Vậy độ biến thiên entropy,

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \left(\int_{T_1}^{T_2} C_v \frac{dT}{T} + \int_{V_1}^{V_2} R \frac{dV}{V} \right). \quad (7.26)$$

Hay

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \left(C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right). \quad (7.27)$$

Từ phương trình trạng thái, ta lại có

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \frac{P_2}{P_1} + \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (7.28)$$

Suy ra

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \left(C_v \ln \frac{P_2}{P_1} + C_p \ln \frac{V_2}{V_1} \right). \quad (7.29)$$

Hoặc

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \left(C_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_1}{P_2} \right). \quad (7.30)$$

BÀI TẬP CHƯƠNG 7

1. Một động cơ nhiệt hoạt động với nguồn nóng và nguồn lạnh có nhiệt độ lần lượt là $t_1 = 227\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $t_2 = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hỏi động cơ sản ra một công cực đại là bao nhiêu khi nó nhận được của nguồn nóng một nhiệt lượng là $Q_1 = 1\text{ kcal}$.
Đáp án: 1,67 kJ.
2. Một động cơ nhiệt lý tưởng làm việc với nguồn nóng và nguồn lạnh có nhiệt độ tương ứng là $t_1 = 227\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $t_2 = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$, động cơ nhận từ nguồn nóng một nhiệt lượng 60 kJ. Tính:
 - a. Hiệu suất của động cơ nhiệt.
 - b. Nhiệt lượng mà tác nhân truyền cho nguồn lạnh.Đáp án: a. 40%. b. 36 kJ.
3. Khi thực hiện chu trình Carnot, khí nhận được nhiệt lượng 10 kcal và thực hiện công 15 kJ. Nhiệt độ của nguồn nóng là $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tìm nhiệt độ nguồn lạnh.
Đáp án: 239 K.
4. Một động cơ hoạt động theo chu trình Carnot thuận nghịch, nguồn lạnh hoạt động ở nhiệt độ $t_2 = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ và hiệu suất $\eta = 21\%$. Nếu giữ nguyên nhiệt độ nguồn nóng và muốn hiệu suất của động cơ tăng lên đến 25 % thì nhiệt độ của nguồn lạnh phải thay đổi như thế nào?
Đáp án: giảm $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Một động cơ nhiệt có công suất $P = 73600\text{ W}$ làm việc theo chu trình Carnot. Nhiệt độ của nguồn nóng là $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, nhiệt độ của nguồn lạnh là $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tính:
 - a. Hiệu suất của động cơ nhiệt.
 - b. Nhiệt lượng mà tác nhân nhận được của nguồn nóng trong 1 phút.
 - c. Nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh trong 1 phút.Đáp án: a. 27%. b. 16470 kJ. c. 12054 kJ.
6. Một máy hơi nước có công suất 14,7 kW tiêu thụ 8,1 kg than trong một giờ. Năng suất tỏa nhiệt của than là 7800 cal/kg. Nhiệt độ nguồn nóng là $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nhiệt độ nguồn lạnh là $58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tìm hiệu suất thực tế của máy. So sánh với hiệu suất lý tưởng của máy nhiệt làm việc theo chu trình Carnot với nguồn nhiệt kể trên.
Đáp án: 20%; 30%.
7. Một động cơ làm việc theo chu trình Carnot giữa hai nguồn nhiệt có nhiệt độ $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Trong mỗi chu kì, nguồn lạnh nhận được từ tác nhân nhiệt lượng 5,5 kcal.

Thời gian thực hiện một chu trình là 1,5 giây. Năng suất tỏa nhiệt của nhiên liệu là 4,6 kJ/kg. Tính khối lượng nhiên liệu cần tiêu thụ để chạy động cơ trong 2 giờ.

Đáp án: 3,2 kg.

8. Một ô tô có công suất là 45 kW, hiệu suất của động cơ ô tô là 25 %, chuyển động với vận tốc 54 km/h. Hỏi ô tô đi được đoạn đường dài bao nhiêu khi tiêu thụ hết 60 lít xăng? Cho biết năng suất tỏa nhiệt của xăng là $46 \cdot 10^6$ J/kg, khối lượng riêng của xăng là 700 kg/m^3 .

Đáp án: 161 km.

9. Một chu trình Carnot thực hiện giữa hai nguồn nhiệt $t_1 = 400^\circ\text{C}$, $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Thời gian để thực hiện chu trình đó là $t = 1$ s. Tìm công suất làm việc của động cơ theo chu trình trên, biết tác nhân là 2 kg không khí, áp suất cuối quá trình giãn đẳng nhiệt bằng áp suất ở đầu quá trình nén đoạn nhiệt. Cho không khí có $\mu = 29 \text{ kg/kmol}$.

Đáp án: 634 kW.

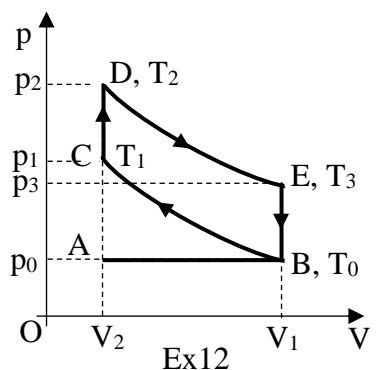
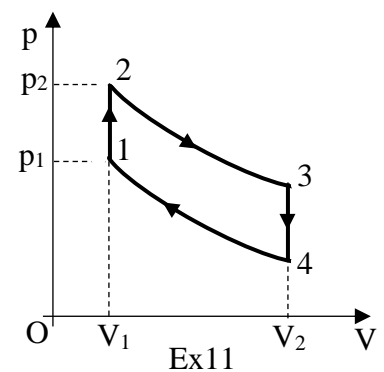
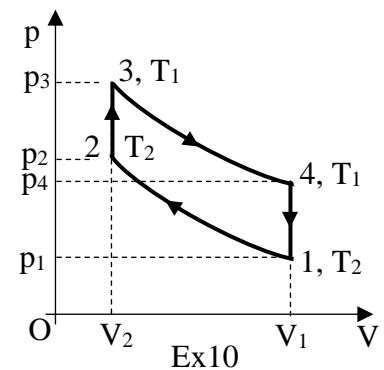
10. Một máy hơi nước chạy theo chu trình như hình Ex10, gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đẳng tích. Tính hiệu suất của chu trình này. So sánh với hiệu suất chu trình Carnot có cùng nhiệt độ của nguồn nóng và nguồn lạnh.

Đáp án: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{\frac{i(T_1 - T_2)}{2 \ln(V_2 / V_1)} + T_1}$, nhỏ hơn.

11. Một động cơ nhiệt thực hiện một chu trình như hình Ex11, trong đó các quá trình biến đổi từ trạng thái 2 đến trạng thái 3 và từ trạng thái 4 về trạng thái 1 là các quá trình đoạn nhiệt, cho biết $V_4 = 4V_1$, $P_2 = 3P_1$. Tìm hiệu suất của động cơ.

Đáp án: $\eta = 1 - 1/4^{2/i}$.

12. Hình Ex12 biểu thị giản đồ lý thuyết của động cơ đốt trong bốn kỳ. Trong quá trình đầu tiên, hỗn hợp cháy được nạp vào xi lanh, khi đó $p_0 = \text{const}$ và thể tích tăng từ V_2 tới V_1 (nhánh AB). Trong quá trình thứ hai (nhánh BC), hỗn hợp cháy được nén đoạn nhiệt từ thể tích V_1 tới V_2 . Khi đó nhiệt độ tăng từ T_0 đến T_1 và áp suất từ p_0 đến p_1 . Tiếp theo là



quá trình đốt cháy nhanh hỗn hợp cháy bằng tia lửa điện; khi đó áp suất tăng từ p_1 tới p_2 , thể tích không đổi và bằng V_2 (nhánh CD), nhiệt độ tăng tới T_2 . Tiếp theo là quá trình giãn đoạn nhiệt từ thể tích V_2 tới V_1 (nhánh DE), nhiệt độ giảm xuống T_3 . Tại điểm E, van mở, khí thoát ra ngoài, áp suất giảm nhanh tới p_0 , thể tích không đổi và bằng V_1 . (nhánh EB). Cuối cùng là quá trình nén đẳng áp ở áp suất p_0 (nhánh BA). Hãy tính hiệu suất của chu trình nếu hệ số nén $\varepsilon = V_1/V_2 = 5$ và hệ số đoạn nhiệt là $\gamma = 1,33$.

Đáp án: 41,2 %.

- 13.** Tính độ biến thiên entropy khi giãn đẳng nhiệt 6 g khí hiđrô từ áp suất 1 at đến áp suất 0,5 at.

Đáp án: 17,3 J/K.

- 14.** Một khối khí ôxi có khối lượng 10 g được đun nóng từ nhiệt độ $t_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ tới $t_2 = 150\text{ }^\circ\text{C}$. Tính độ biến thiên entropi nếu quá trình đun nóng là:

a. Đẳng tích.

b. Đẳng áp.

Đáp án: a. 1,75 J/K. b. 2,45 J/K.

- 15.** Tính độ biến thiên entropy khi chuyển 6 g hiđrô từ thể tích 20 lít dưới áp suất $1,5 \cdot 10^5\text{ N/m}^2$ đến thể tích 60 lít dưới áp suất 10^5 N/m^2 .

Đáp án: 70,6 J/K.

- 16.** Tính độ tăng entropy khi biến đổi 1g nước ở $0\text{ }^\circ\text{C}$ thành hơi ở $100\text{ }^\circ\text{C}$. Biết nhiệt dung riêng của nước $c = 4,18\text{ kJ/kg.K}$ và nhiệt hoá hơi của nước ở $100\text{ }^\circ\text{C}$ là $\lambda = 2253\text{ kJ/kg}$.

Đáp án: 7,3 J/K.

- 17.** Tính độ biến thiên entropy khi chuyển 100 g nước đá ở $-20\text{ }^\circ\text{C}$ thành hơi nước ở $100\text{ }^\circ\text{C}$. Biết nhiệt dung riêng của nước đá $c_1 = 2,1\text{ kJ/kg.K}$, nhiệt dung riêng của nước $c_2 = 4,18\text{ kJ/kg.K}$, nhiệt nóng chảy của nước đá ở $0\text{ }^\circ\text{C}$ là $\lambda_1 = 334,4\text{ kJ/kg}$ và nhiệt hoá hơi của nước ở $100\text{ }^\circ\text{C}$ là $\lambda_2 = 2253\text{ kJ/kg}$.

Đáp án: 870 J/K.

- 18.** Có hai bình khí, bình thứ nhất có thể tích $V_1 = 2\text{ lít}$ chứa khí Nitơ ở áp suất $p_1 = 1\text{ at}$, bình thứ hai có thể tích $V_2 = 3\text{ lít}$ chứa khí CO ở áp suất $p_2 = 5\text{ at}$. Cho hai bình thông với nhau và đặt chúng trong một vỏ cách nhiệt lý tưởng. Tính độ biến thiên entropy của hệ khi hai khí trộn lẫn vào nhau, biết nhiệt độ ban đầu trong hai bình

bằng nhau và bằng 27°C .

Đáp án: $3,1 \text{ J/K}$.

- 19.** 200 g sắt ở 100°C được bỏ vào một nhiệt lượng kế chứa 300 g nước ở 12°C . Biết nhiệt dung riêng của sắt là 460 J/kg.K và của nước là $4,18 \text{ kJ/kg.K}$. Hỏi entropy của hệ thay đổi như thế nào khi cân bằng nhiệt?

Đáp án: $3,3 \text{ J/K}$.

- 20.** Bỏ 100g nước đá ở 0°C vào 400g nước ở 30°C trong một bình có vỏ cách nhiệt lý tưởng. Tính độ biến thiên entropy của hệ trong quá trình trao đổi nhiệt. Cho biết nhiệt nóng chảy riêng của nước đá ở 0°C là 80 kcal/kg ; nhiệt dung riêng của nước là 1 kcal/kg.K .

Đáp án: 2 cal/K .