

## CHƯƠNG 6

## NGUYÊN LÝ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

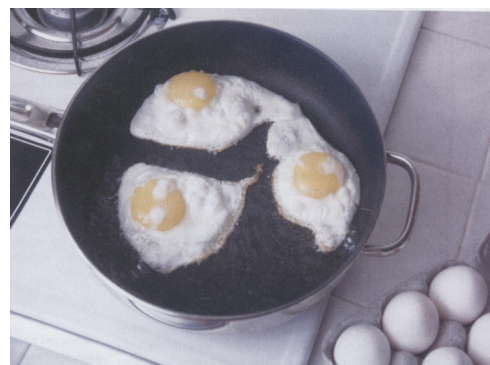
## 6.1. PHÁT BIỂU NGUYÊN LÝ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

## 6.1.1. Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất

Các hiện tượng xảy ra trong tự nhiên đều tuân theo nguyên lý thứ nhất. Tuy nhiên có một số hiện tượng về mặt lý thuyết có vẻ thoả mãn nguyên lý một nhưng lại không xảy ra trong thực tế.

**Thí dụ 1.** Trong một hệ, xảy ra quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh hoặc từ vật lạnh sang vật nóng; Nguyên lý thứ nhất không bị vi phạm nhưng thực tế quá trình truyền nhiệt từ vật lạnh sang vật nóng không thể tự động xảy ra.

Liệu nhiệt có thể tự động truyền ra khỏi những quả trứng rán này, như vậy không phải là “rán” chúng mà làm chúng lạnh hơn và nhiệt quay trở lại làm nóng chảo? Một quá trình như vậy năng lượng vẫn bảo toàn và được cho phép bởi định luật thứ nhất của nhiệt động học. Nhưng một quá trình như vậy thì không thể đạt được trong thực tế bởi vì nhiệt không thể tự động truyền từ một vật lạnh sang vật nóng hơn.



Hình 6-1

**Thí dụ 2.** Một hòn đá khối lượng  $m$  được nâng lên độ cao  $h$  thì thế năng là  $mgh$ , thế năng này giảm dần khi rơi xuống, còn động năng thì tăng dần. Khi hòn đá chạm đất, động năng của nó có giá trị  $mgh$ . Sau va chạm động năng này biến đi nhưng làm đất nóng lên. Hiện tượng xảy ra đúng theo nguyên lý một. Nếu ta hình dung ngược lại: hòn đá đang nằm yên trên mặt đất, tự thu lấy một nhiệt lượng đúng bằng nhiệt lượng nói trên để đưa nó lên độ cao  $h$ . Trong quá trình này nguyên lý một không bị vi phạm. Tuy nhiên trong thực tế không xảy ra. Như vậy nguyên lý một không cho ta biết chiều diễn biến của một quá trình thực tế xảy ra.

Nguyên lý một nêu lên sự khác nhau trong quá trình chuyển hoá giữa công và nhiệt. Theo nguyên lý một công và nhiệt tương đương nhau và có thể chuyển hoá lẫn nhau nhưng thực tế công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt nhưng ngược lại nhiệt chỉ có thể biến một phần thành công.

Nguyên lý một cũng không đề cập đến vấn đề hiệu suất truyền nhiệt. Trong thực tế quá trình truyền nhiệt từ môi trường có nhiệt độ cao sang môi trường có nhiệt độ thấp có hiệu suất cao hơn hiệu suất của quá trình ngược lại.

Nguyên lý hai sẽ bổ sung và khắc phục những hạn chế trên.

## 6.1.2. Nội dung nguyên lý hai

- Phát biểu của Clausius: Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn.
- Phát biểu của Thomson và Carnot: không thể chế tạo được động cơ nhiệt hoạt động tuần hoàn, liên tục biến nhiệt thành công mà môi trường xung quanh không chịu sự biến đổi nào.

## 6.1.3. Quá trình thuận nghịch và quá trình bất thuận nghịch

Một quá trình biến đổi của hệ nhiệt động từ trạng thái (1) sang trạng thái (2) được gọi là thuận nghịch nếu nó có thể tiến hành theo chiều ngược lại và ở lượt về hệ đi qua mọi trạng thái trung gian như ở lượt đi. Quá trình ngược lại là quá trình bất thuận nghịch.

Đối với quá trình thuận nghịch, nếu ở lượt đi hệ nhận công A thì ở lượt về hệ trả đúng công A cho môi trường.

Như vậy  $A=0, \Delta U=0, Q=0$ .

Vậy: Đối với quá trình thuận nghịch, sau khi thực hiện quá trình thuận và quá trình nghịch môi trường không bị thay đổi.

Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng (thực tế không xảy ra).

## 6.2. CHU TRÌNH CARNOT VÀ BIỂU THỨC NGUYÊN LÝ II

### 6.2.1. Hiệu suất của động cơ nhiệt. Định lý Carnot

Động cơ nhiệt là máy biến nhiệt thành công, gồm hai nguồn nhiệt (nguồn nóng  $T_1$  và nguồn lạnh  $T_2 < T_1$ ) và một môi trường nhiệt động làm nhiệm vụ biến nhiệt thành công gọi là tác nhân (chất môi). Khi động cơ hoạt động, nguồn nóng  $T_1$  truyền cho chất môi nhiệt lượng  $Q_1$ . Chất môi sẽ giãn nở và sinh công A rồi trả cho nguồn lạnh nhiệt lượng  $Q_2$ . Hiệu suất của

động cơ nhiệt là: 
$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}$$

$$\text{hay } \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} \quad (6.1)$$

Động cơ nhiệt hoạt động tuần hoàn theo các chu trình. Chu trình thuận nghịch có lợi nhất là chu trình Carnot gồm hai quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt:

1. Quá trình biến đổi đẳng nhiệt: hệ nhận nhiệt  $Q_1$  của nguồn nóng  $T_1$  để giãn khí từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) đồng thời cung cấp công  $A_1$  cho môi trường.

2. Quá trình giãn khí đoạn nhiệt: Hệ tiếp tục biến đổi đoạn nhiệt từ trạng thái có nhiệt độ  $T_1$  sang  $T_2$  và cung cấp công  $A_2$  cho môi trường ngoài.

3. Quá trình nén khí đẳng nhiệt: Hệ nhận công  $A_3$  nén khí từ trạng thái (3) về trạng thái (4) và trả nhiệt  $Q_2$  cho nguồn lạnh  $T_2$ .

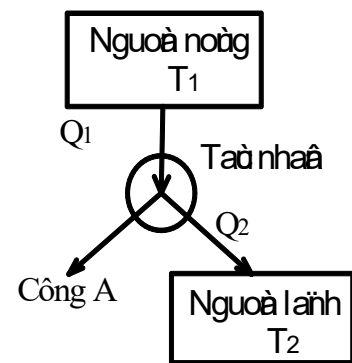
4. Quá trình nén khí đoạn nhiệt: hệ tiếp tục nhận công  $A_4$  nén khí từ trạng thái (4) về (1).

Với chu trình Carnot người ta chứng minh được:

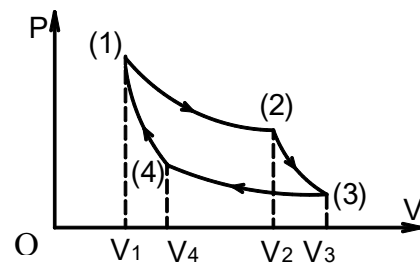
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

#### Định lý Carnot

Hiệu suất của các động cơ nhiệt chạy theo chu trình không thuận nghịch thì luôn luôn nhỏ hơn hiệu suất của động cơ nhiệt chạy theo chu trình thuận nghịch.



Hình 6-2



Hình 6-3

Hiệu suất động cơ nhiệt không phụ thuộc vào tác nhân, chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của các nguồn nhiệt theo biểu thức:  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$  (6.2)

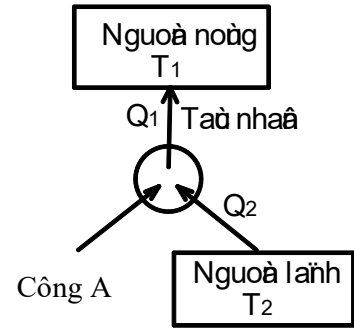
### 6.2.2. Hiệu suất máy làm lạnh

Máy làm lạnh là máy biến công thành nhiệt.

Đầu tiên tác nhân nhận một công  $A$  của môi trường ngoài để lấy đi một lượng nhiệt  $Q_2$  từ nguồn lạnh, sau đó toả lượng nhiệt  $Q_1$  cho nguồn nóng.

Hiệu suất làm lạnh:

$$\eta = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_1 - A}{A} = \frac{Q_1}{A} - 1 \quad (6.3)$$



Hình 6-4

Động cơ nhiệt tuân theo chu trình Carnot thuận, thì máy lạnh cũng tuân theo chu trình ấy. Chu trình Carnot thuận nghịch cũng gồm 4 giai đoạn:

1. Hệ nhận công  $A_1$  để nén khí đoạn nhiệt từ trạng thái (1) sang (2).
2. Hệ tiếp tục nhận công  $A_2$  để nén khí đẳng nhiệt từ trạng thái (2) sang trạng thái (3) đồng thời trả nhiệt  $Q_1$  cho nguồn nóng.
3. Giãn khí đoạn nhiệt từ trạng thái (3) sang trạng thái (4).
4. Giãn khí đẳng nhiệt từ trạng thái (4) sang trạng thái (1).

Đối với máy lạnh chạy theo chu trình Carnot hiệu suất của máy lạnh không phụ thuộc vào tác nhân mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng  $T_1$  và nguồn lạnh  $T_2$ .

### 6.2.3. Biểu thức định lượng của nguyên lý hai

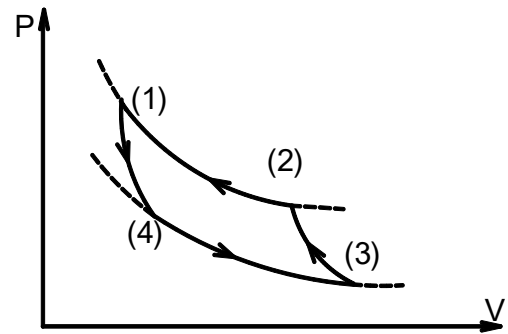
Hiệu suất của động cơ nhiệt :

$$\eta = 1 + \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = -\frac{T_2}{T_1} \quad \text{hay} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

Gọi  $\frac{Q}{T}$  là nhiệt lượng rút gọn, ta có:

$$\sum \frac{Q_i}{T_i} = 0$$



Hình 6-5

Đối với động cơ bất thuận nghịch thì hiệu suất luôn nhỏ hơn động cơ thuận nghịch, tức là:

$$1 + \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} < -\frac{T_2}{T_1} \quad \text{hay} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0 \quad \text{hay} \quad \sum \frac{Q_i}{T_i} < 0.$$

Đối với một chu trình bất kỳ ta có thể coi hệ tiếp xúc với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ  $T$  biến thiên liên tục. Mỗi quá trình tiếp xúc với một nguồn nhiệt là một quá trình vi phân, hệ nhận nhiệt  $\delta Q$  ta có:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (6.4)$$

Đây là bất đẳng thức Clausius là biểu thức định lượng của nguyên lý hai, trong đó dấu “=” ứng với chu trình thuận nghịch.

### 6.3. ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPY

Định luật thứ hai của nhiệt động học, như chúng ta đã phát biểu có dạng khác khá nhiều so với dạng phát biểu của các định luật vật lý khác. Nó không phải là một phương trình hay một mối quan hệ mà ở dưới dạng những điều không thể được. Tuy nhiên định luật thứ hai của nhiệt động học có thể được phát biểu dưới dạng quan hệ định lượng với khái niệm **Entropy**, đó là đề tài chính của mục này.

Chúng ta đã từng nói về một vài quá trình xảy ra một cách tự nhiên trong đó sự hỗn loạn của hệ tăng lên. Dòng nhiệt không thuận nghịch làm tăng sự hỗn loạn bởi vì các phân tử lúc đầu được sắp xếp trong các vùng nóng hoặc lạnh hơn, sự sắp xếp này bị phá vỡ khi hệ tiến đến trạng thái cân bằng nhiệt. Việc thêm nhiệt vào cho một vật làm tăng sự hỗn loạn của nó bởi vì nhiệt làm tăng tốc độ chuyển động trung bình của các phân tử và bởi vậy tăng sự ngẫu nhiên trong chuyển động phân tử. Sự giãn nở tự do của một chất khí làm tăng sự hỗn loạn của nó bởi vì sự ngẫu nhiên của vị trí sau khi giãn nở lớn hơn trước khi giãn nở.

#### 6.3.1. Entropy và sự hỗn loạn

**Entropy** đưa ra một thước đo định lượng của sự hỗn loạn. Để giới thiệu khái niệm này, chúng ta hãy xem xét một sự giãn nở vi phân của một khí lý tưởng. Chúng ta thêm nhiệt lượng  $dQ$  cho chất khí giãn nở vừa đủ để giữ cho nhiệt độ không đổi. Vì nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nên nội năng cũng không đổi, như vậy từ định luật thứ nhất, công thực hiện bởi chất khí  $dW$  bằng với nhiệt được thêm vào. Đó là

$$dQ = dW = pdV = \frac{nRT}{V} dV, \text{ vì vậy } \frac{dV}{V} = \frac{dQ}{nRT}$$

Chất khí sau khi giãn nở sẽ ở trong trạng thái hỗn loạn hơn so với trước khi giãn nở vì các phân tử chuyển động trong một thể tích lớn hơn và có sự ngẫu nhiên lớn hơn trong vị trí. Như vậy sự thay đổi thể tích tương đối  $dV/V$  là một đơn vị đo sự tăng của sự hỗn loạn và phương trình trên chỉ ra rằng nó tỷ lệ thuận với đại lượng  $dQ/T$ . Chúng ta dùng ký hiệu  $S$  để chỉ entropy của hệ, và chúng ta định nghĩa sự biến thiên vi phân  $dS$  của entropy trong một quá trình thuận nghịch vô cùng nhỏ tại nhiệt độ tuyệt đối  $T$  là

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (\text{Quá trình thuận nghịch vi phân}) \quad (6.5)$$

Nếu tổng nhiệt lượng thêm vào là  $Q$  trong quá trình đẳng nhiệt tại nhiệt độ tuyệt đối  $T$ , sự biến thiên tổng entropy  $\Delta S = S_2 - S_1$  được cho bởi

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \quad (\text{Quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch})$$

Entropy có đơn vị bằng đơn vị của năng lượng chia cho đơn vị của nhiệt độ.

Chúng ta có thể thấy thương số  $Q/T$  liên quan đến sự hỗn loạn như thế nào. Nhiệt độ tăng lên thì sự chuyển động ngẫu nhiên càng tăng lên. Nếu lúc đầu vật chất lạnh, với một số ít phân tử chuyển động, nhiệt lượng  $Q$  thêm vào là nguyên nhân làm tăng sự chuyển động và sự ngẫu nhiên của các phân tử. Nếu vật chất đã nóng thì ta chỉ cần thêm một lượng nhỏ nhiệt cũng làm thay đổi một lượng lớn trong sự chuyển động của các phân tử. Vì vậy thương số

$Q/T$  là một sự mô tả thích hợp của việc tăng sự ngẫu nhiên hay sự hỗn loạn khi dòng nhiệt chảy vào một hệ.

### 6.3.2. Entropy trong những quá trình không thuận nghịch

Trong trường hợp lý tưởng, quá trình thuận nghịch chỉ bao gồm các trạng thái cân bằng, sự biến thiên entropy tổng cộng của hệ và của môi trường xung quanh là bằng không. Nhưng tất cả các quá trình không thuận nghịch luôn kéo theo sự tăng entropy. Không giống năng lượng, entropy không được bảo toàn. Entropy của một hệ cô lập có thể thay đổi, nhưng như chúng ta sẽ thấy, nó không bao giờ giảm. Sự giãn nở tự do của chất khí là một quá trình không thuận nghịch trong một hệ cô lập, ở đó có sự tăng của entropy.

#### Entropy và định luật thứ hai

Dòng nhiệt từ vật có nhiệt độ cao truyền sang vật có nhiệt độ thấp hơn hoặc sự pha trộn của vật chất ở các nhiệt độ khác nhau là đặc trưng của tự nhiên, đó là các quá trình không thuận nghịch. Khi chúng ta tính đến sự biến thiên entropy của tất cả hệ tham gia vào quá trình thì sự tăng của entropy luôn lớn hơn sự giảm. Trong trường hợp đặc biệt, khi quá trình là thuận nghịch thì sự tăng và sự giảm là cân bằng. Vì vậy chúng ta có thể phát biểu một cách tổng quát: **Khi tính đến sự biến thiên entropy của tất cả hệ tham gia vào quá trình thì entropy tổng cộng không đổi hoặc tăng lên.** Nói cách khác không có quá trình nào có thể làm tổng của entropy giảm đi khi tính đến tất cả các hệ trong quá trình. Đây là cách phát biểu thay thế của định luật hai nhiệt động học trong thuật ngữ của entropy. Như vậy nó là tương đương với cách phát biểu kiểu “động cơ” và “máy lạnh” mà chúng ta đã thảo luận trước đó.

Sự tăng của entropy trong mọi quá trình không thuận nghịch tự nhiên đo được sự tăng của độ hỗn loạn hoặc sự ngẫu nhiên trong vũ trụ. Trong ví dụ trộn nước nóng với nước lạnh, chúng ta đã sử dụng nước nóng và nước lạnh như các nguồn nóng và nguồn lạnh của một động cơ nhiệt. Trong khi loại bỏ nhiệt từ nước nóng và truyền đến cho nước lạnh, chúng ta có thể đã thu được một cơ năng nào đó. Nhưng nước nóng và nước lạnh được trộn với nhau để tạo thành một nhiệt độ đồng nhất thì cơ hội chuyển nhiệt thành công đã bị mất hoàn toàn. Nước ấm không bao giờ tự phân chia thành nước nóng hơn và nước lạnh hơn. Không có sự giảm năng lượng trong việc pha trộn nước nóng vào nước lạnh. Cái bị mất trong sự pha trộn này không phải là năng lượng mà là cơ hội chuyển đổi một phần nhiệt từ nước nóng thành công cơ học. Như vậy khi entropy tăng, năng lượng trở nên ít *sẵn có* hơn và vũ trụ trở nên ngẫu nhiên hơn.

### 6.3.3. Sự thể hiện vi mô của entropy

Theo nguyên tắc, để tính nội năng của một hệ ta lấy tổng của tất cả các động năng của các hạt và thế năng tương tác giữa các hạt trong hệ. Điều này được gọi là các tính toán vi mô của nội năng. Chúng ta cũng làm một phép tính vi mô cho entropy  $S$  của một hệ. Không giống như năng lượng, entropy không phải là một cái gì đó thuộc về mỗi hạt hoặc cặp hạt trong hệ. Đúng hơn, entropy là thước đo của sự hỗn loạn của hệ. Để thấy được các tính toán vi mô của entropy, trước tiên chúng ta phải giới thiệu khái niệm trạng thái vĩ mô và trạng thái vi mô.

Giả sử bạn ném  $N$  đồng tiền giống nhau lên sàn nhà và một nửa trong số đó xuất hiện mặt ngửa, một nửa xuất hiện mặt sấp. Điều này mô tả quy mô lớn hay trạng thái vĩ mô của hệ  $N$  đồng tiền. Sự mô tả trạng thái vi mô của hệ bao gồm thông tin về mỗi đồng tiền riêng biệt:

Đồng tiền 1 là ngửa, đồng tiền 2 là sấp, đồng tiền 3 là sấp.... Có thể có nhiều trạng thái vi mô tương ứng với sự mô tả vĩ mô giống như vậy. Ví dụ, với  $N = 4$  đồng tiền có 6 trạng thái có thể xảy ra trong đó một nửa là sấp, một nửa là ngửa (Hình 6-6). Số trạng thái vi mô tăng lên nhanh chóng cùng với sự tăng của  $N$ , với  $N = 100$ , có tới  $2^{100} = 1,27 \cdot 10^{30}$  trạng thái vi mô.

Những kết quả ít có thể nhất của việc tung đồng tiền lên là những trạng thái mà tất cả đều cùng sấp hoặc ngửa. Chắc chắn là bạn có thể ném 100 mặt ngửa lên cùng một hàng nhưng đừng đánh cuộc điều này vì xác suất của kết quả này chỉ là 1 trên  $1,27 \cdot 10^{30}$ . Kết quả có thể nhất của việc tung 100 đồng tiền là một nửa trong số đó sấp, nửa còn lại ngửa. Lý do là trạng thái vĩ mô này có số trạng thái vi mô nhiều nhất, như đã chỉ ra trên hình 6-6.


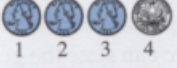
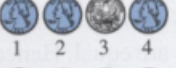




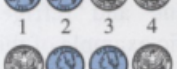
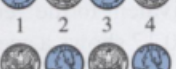
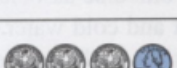

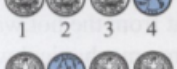
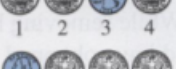
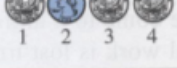
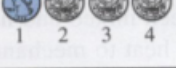

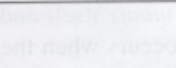
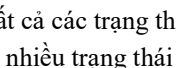
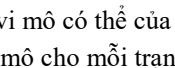
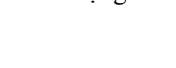





Để kết nối đến khái niệm của entropy chúng ta ghi nhớ rằng  $N$  đồng tiền mà tất cả đều ngửa cấu thành một trạng thái vĩ mô có trật tự hoàn chỉnh, sự mô tả “tất cả đều ngửa” chỉ rõ tình trạng của mỗi đồng tiền trong số  $N$  đồng tiền. Cũng giống như vậy nếu tất cả các đồng tiền đều sấp. Nhưng trạng thái vĩ mô được mô tả là “nửa sấp, nửa ngửa”, tự nó nói với bạn rất ít về trạng thái “sấp, ngửa” của mỗi đồng tiền riêng biệt. Chúng ta nói rằng hệ bị mất trật tự bởi vì chúng ta biết quá ít về trạng thái vi mô của nó. So sánh với trạng thái “tất cả sấp” hay “tất cả ngửa” thì trạng thái “nửa sấp, nửa ngửa” có số trạng thái vi mô có thể lớn hơn nhiều, mức độ hỗn độn lớn hơn nhiều và vì vậy entropy (một thước đo định lượng của sự hỗn loạn) cũng lớn hơn nhiều.

Bây giờ thay vì xét  $N$  đồng tiền, chúng ta nhắc lại một mol của chất khí chứa số phân tử là  $N_A$  (số Avogadro). Trạng thái vĩ mô của chất khí này được cho bởi các thông số trạng thái là: áp suất  $p$ , thể tích  $V$  và nhiệt độ  $T$ , chất khí có thể ở trong bất cứ trạng thái vi mô nào trong số vô cùng lớn các trạng thái vi mô, phụ thuộc vào vị trí và vận tốc của  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  phân tử của nó. Nếu chất khí trải qua một quá trình dẫn nở tự do thành một thể tích lớn hơn,

phạm vi có thể của vị trí tăng lên nên số trạng thái vi mô có thể tăng lên do đó entropy tăng lên.

Chúng ta có thể đưa ra kết luận chung như sau: Với một hệ bất kỳ, trạng thái vĩ mô có thể nhất là trạng thái với số lớn nhất của các trạng thái vi mô tương ứng, đó chính là trạng thái vĩ mô có sự hỗn loạn lớn nhất và entropy là lớn nhất.

Chúng ta dùng ký hiệu  $w$  để đại diện cho số trạng thái vi mô

| Macroscopic state      | Corresponding microscopic states  |   |   |   |
|------------------------|---|---|---|---|
| Four heads             |  |   |   |   |
| Three heads, one tails |  |  |  |  |
|                        |  |  |  |  |
| Two heads, two tails   |  |  |  |  |
|                        |  |  |  |  |
| One head, three tails  |  |  |  |  |
|                        |  |  |  |  |
| Four tails             |  |   |   |   |

Hình 6-6. Tất cả các trạng thái vi mô có thể của bốn đồng tiền.  
Có thể có nhiều trạng thái vi mô cho mỗi trạng thái vĩ mô

có thể của một trạng thái vĩ mô được đưa ra (Với ví dụ 4 đồng tiền, trạng thái 4 đồng ngửa có  $w = 1$ , trạng thái ba ngửa một sấp có  $w = 4...$ ). Entropy  $S$  của một trạng thái vĩ mô có thể được chỉ ra như sau

$$S = k \ln w \quad (\text{biểu thức vĩ mô của entropy}) \quad (6.6)$$

Trong đó  $k = R/N_A$  là hằng số Boltzmann (hằng số khí trên một phân tử). Như biểu thức chỉ ra, việc tăng số trạng thái vĩ mô có thể  $w$  làm cho entropy  $S$  tăng lên.

Trong một quá trình nhiệt động không có giá trị cụ thể của entropy  $S$  nhưng có sự khác nhau của entropy giữa trạng thái đầu và trạng thái cuối. Vì vậy ta có thể đưa ra một định nghĩa tiện lợi của entropy là  $S = k \ln w + C$ , trong đó  $C$  là một hằng số,  $C$  sẽ triệt tiêu trong các tính toán về sự biến thiên entropy giữa hai trạng thái. Nhưng sẽ tiện lợi hơn khi chúng ta đặt hằng số này bằng không và sử dụng phương trình (6.6). Với cách chọn này, từ giá trị có thể nhỏ nhất của  $w$  bằng đơn vị, giá trị nhỏ nhất có thể của entropy của hệ là  $S = k \ln w = 0$ . Entropy không bao giờ âm.

Đối với một hệ cô lập gồm một số lớn phân tử, quá trình tự phát (quá trình không thuận nghịch) đi từ trạng thái ít có khả năng tồn tại hơn đến trạng thái có nhiều khả năng tồn tại hơn (trạng thái cân bằng), tức là theo chiều tăng số trạng thái vĩ mô có thể  $w$ , dẫn đến entropy của một hệ cô lập luôn tăng, do đó ta có:

$$\Delta S \geq 0 \quad (6.7)$$

Đây chính là nguyên lý tăng entropy hay nguyên lý II của nhiệt động học đối với các hệ cô lập.

#### 6.3.4. Định lý Nernst

Định lý Nernst còn gọi là nguyên lý thứ ba của nhiệt động học, phát biểu như sau: Khi nhiệt độ tuyệt đối tiến tới 0 K, entropy của bất kỳ vật nào cũng tiến tới không:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0 \quad (6.8)$$

Do đó entropy của một hệ bất kỳ ở nhiệt độ  $T$  bằng

$$S = \int_0^T \frac{\partial Q}{T} \quad (6.9)$$

## HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 6

### I. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

1. Hiểu được những hạn chế của nguyên lý I. Hiểu được nội dung và ý nghĩa của nguyên lý II.
2. Vận dụng nguyên lý II để nghiên cứu động cơ nhiệt, nắm được định lý Carnot về hiệu suất của động cơ.
3. Hiểu được ý nghĩa của hàm entropy và nguyên lý tăng entropy.

### II. TÓM TẮT NỘI DUNG

Hiệu suất động cơ nhiệt:  $\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ ,  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Hiệu suất máy làm lạnh:

$$\eta = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_1}{A} - 1 \rightarrow \eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Entropy là một đại lượng đo mức độ hỗn loạn của một hệ. Sự biến thiên entropy trong một quá trình thuận nghịch nào đó phụ thuộc vào số lượng của luồng nhiệt và nhiệt độ tuyệt đối  $T$ . Entropy chỉ phụ thuộc vào trạng thái của hệ, sự biến thiên entropy giữa trạng thái đầu và trạng thái cuối là giống nhau cho mọi đường dẫn từ trạng thái này tới trạng thái kia. Thực tế này có thể được sử dụng để tìm sự biến thiên entropy cho một quá trình không thuận nghịch.

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (\text{Quá trình thuận nghịch})$$

Một cách phát biểu quan trọng của định luật thứ hai của nhiệt động lực học là entropy của một hệ cô lập có thể tăng nhưng không bao giờ giảm. Khi một hệ tương tác với môi trường xung quanh nó thì sự biến thiên entropy tổng cộng của hệ và môi trường không bao giờ giảm. Khi sự tương tác chỉ bao gồm các quá trình thuận nghịch thì tổng entropy là không đổi và  $\Delta S = 0$ , khi có một quá trình không thuận nghịch bất kỳ thì entropy tăng  $\Delta S > 0$ .

Khi một hệ trong một trạng thái vĩ mô, các hạt tạo nên hệ có thể ở trong một trạng thái vi mô có thể  $w$ , nếu  $w$  càng lớn thì entropy càng lớn.

$$S = k \ln w$$

### III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Trình bày hạn chế của nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học.
2. Phát biểu và viết biểu thức của nguyên lý thứ hai của nhiệt động học.
3. Nêu nội dung của định lý Carnot.
4. Nêu ý nghĩa của hàm entropy và phát biểu nguyên lý tăng entropy.

### IV. BÀI TẬP

**Thí dụ 1:** Một động cơ ô tô có hiệu suất nhiệt 22% . Trong mỗi giây nó hoạt động 95 chu trình và thực hiện công 120 mã lực. Hãy tính trong một chu trình động cơ này:

- a) Thực hiện một công bằng bao nhiêu?
- b) Hấp thụ nhiệt lượng bao nhiêu từ nguồn nóng?
- c) Thải ra nhiệt lượng bao nhiêu cho nguồn lạnh?



**Giải:**

a) Công thực hiện trong 1 giây:

$$A_0 = 120 \times 746 = 89520 \text{ J}$$

Công thực hiện trong mỗi chu trình

$$A = \frac{A_0}{95} = \frac{89520}{95} = 942,3 \text{ J}$$

b) Hiệu suất  $\eta = \frac{A}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = \frac{A}{\eta}$

$$Q_1 = \frac{942,3}{0,22} = 4283 \text{ J},$$

vậy nhiệt lấy từ nguồn nóng  $Q_1 = 4283 \text{ J}$

c) Nhiệt thải cho nguồn lạnh

$$Q_2 = Q_1 - A = 4283 - 942,3 = 3340,7 \text{ J}.$$

**Thí dụ 2:** Một động cơ nhiệt hoạt động theo chu trình Carnot có công suất  $P = 73600 \text{ W}$ , nhiệt độ của nguồn nóng  $T_1 = 100^\circ \text{C}$  nhiệt độ của nguồn lạnh  $T_2 = 0^\circ \text{C}$ .

Tính: a) Hiệu suất của động cơ,

b) Nhiệt lượng mà tác nhân nhận được trong 1 phút,

c) Nhiệt lượng mà tác nhân thải cho nguồn lạnh trong 1 phút .

**Giải:**

a) Hiệu suất động cơ:  $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} = 0,27$  hay  $\eta = 27\%$

b) Trong 1s động cơ sinh công  $A_0 = 73600 \text{ J}$ , nhiệt lượng tác nhân nhận được trong 1s là:

$$\eta = \frac{A_0}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = \frac{A_0}{\eta}$$

Nhiệt lượng nhận trong 1 phút:

$$Q'_1 = 60 \cdot Q_1 = 60 \cdot \frac{73600}{0,27} = 16470 \text{ KJ}$$

c) Nhiệt lượng thải cho nguồn lạnh trong 1 giây:

$$Q_2 = Q_1 - A_0$$

Nhiệt lượng thải trong 1 phút:

$$\begin{aligned} Q'_2 &= 60 \cdot Q_2 = 60(Q_1 - A_0) = 60 \cdot Q_1 - 60 \cdot A_0 = Q'_1 - 60 \cdot A_0 \\ &= 16470 - 60 \cdot 73,6 = 12054 \text{ KJ} \end{aligned}$$

**Thí dụ 3:** Một tủ lạnh có hiệu suất 4,7 rút nhiệt từ buồng lạnh với tốc độ 250 J trong mỗi chu kỳ. Vậy trong mỗi chu kỳ tủ lạnh này đã:

a) Nhận bao nhiêu công để hoạt động?

b) Nhả ra bao nhiêu nhiệt lượng cho căn phòng?

**Giải:**

a) Công nhận vào:  $A = \frac{Q_2}{\eta} = \frac{250}{4,7} \approx 53 \text{ J}$

Công này được chuyển vào hệ, ta nói công thực hiện trên tủ lạnh là +53 J hoặc công do hệ thực hiện được là -53 J

b) Nhiệt toả ra:  $Q_1 = A + Q_2 = 53 + 250 = 303 \text{ J}$

**Bài tập tự giải:**

1. Một động cơ nhiệt lý tưởng chạy theo chu trình Carnot nhả cho nguồn lạnh 80% nhiệt lượng mà nó thu được của nguồn nóng. Nhiệt lượng thu được trong một chu trình là 1,5 Kcal. Tìm:

a) Hiệu suất của chu trình Carnot nói trên.

b) Công mà động cơ sinh ra trong 1 chu trình.

**Đáp số**

a)  $\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$  với  $Q_2 = 80\%Q_1$

Tính được  $\eta = 20\%$

b)  $A = \eta Q_1 = 0,3 \text{ Kcal} = 1,254 \text{ KJ}$

2. Nhiệt độ của hơi nước từ lò hơi vào máy hơi là  $t_1 = 227^\circ\text{C}$ , nhiệt độ của bình ngưng là  $t_2 = 27^\circ\text{C}$ . Hơi khi tốn một lượng nhiệt  $Q = 1 \text{ Kcal}$  thì ta thu được một công cực đại là bao nhiêu?

**Đáp số**

$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow A = 1,7 \text{ KJ}$

3. Một máy làm lạnh tiêu thụ công suất 36800w nhiệt độ của nguồn lạnh là  $-10^\circ\text{C}$ , nhiệt độ của nguồn nóng là  $17^\circ\text{C}$ . Tính:

a) Hiệu suất làm lạnh.

b) Nhiệt lượng lấy được từ nguồn lạnh trong 1 giây.

c) Nhiệt lượng nhả cho nguồn nóng trong một giây.

**Đáp số**

a)  $\eta = \frac{Q_2}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \approx 9,74$

b)  $Q_2 = \eta A = \eta Pt \approx 86000 \text{ Cal}$

c)  $Q_1 = Q_2 + A \approx 94800 \text{ Cal}$

4. Khi thực hiện chu trình carnot, khí sinh công 8600J và nhả nhiệt 2,5 Kcal cho nguồn lạnh. Tính hiệu suất của chu trình.

**Đáp số**

$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{A}{Q + A} = 45\%$

5. Khi thực hiện chu trình carnot hệ nhận được nhiệt lượng 10Kcal từ nguồn nóng và thực hiện công 15KJ. Nhiệt độ của nguồn nóng là  $100^\circ\text{C}$ . Tính nhiệt độ của nguồn lạnh.

**Đáp số**

$\eta = \frac{A}{Q_1} = 0,36; \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow T_2 \approx 239 \text{ K}$