

Chương III. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC

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

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học đã cho ta biết tương quan về lượng giữa công và nhiệt sinh ra trong một quá trình biến đổi của hệ. Phân tích việc vận dụng nguyên lý thứ nhất vào thực tế người ta rút ra ba hạn chế của nguyên lý này.

Một là nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học không chỉ ra được chiều diễn biến của một quá trình, nghĩa là mọi quá trình xảy ra trong tự nhiên đều phù hợp với nguyên lý I, nhưng một quá trình nào đó phù hợp với nguyên lý I chưa chắc đã xảy ra trong tự nhiên.

Ví dụ: Nguyên lý I đã chỉ ra, trong một hệ cô lập gồm hai vật chỉ trao đổi nhiệt thì nhiệt lượng do vật này toả ra bằng nhiệt lượng do vật kia thu vào. Còn, nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh, hoặc ngược lại từ vật lạnh sang vật nóng đều không mâu thuẫn nguyên lý I. Tuy nhiên, thực tế ở đây nhiệt chỉ truyền từ vật nóng sang vật lạnh.

Một ví dụ khác, từ độ cao h ta thả một hòn đá khối lượng m . Như vậy thế năng ban đầu của hòn đá là mgh . Trong quá trình rơi xuống thế năng của hòn đá chuyển dần thành động năng. Khi chạm đất (thế năng trên mặt đất bằng không) thế năng của hòn đá biến hoàn toàn thành động năng:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

Giả sử hòn đá nằm trên mặt đất, khi đó toàn bộ động năng của hòn đá biến hoàn toàn thành nhiệt làm nóng mặt đất ở chỗ tiếp xúc và môi trường xung quanh.

Đó là quá trình thực tế xảy ra và phù hợp với nguyên lý I.

Bây giờ ta hãy tưởng tượng một quá trình ngược lại như sau:

Hòn đá thu lại nhiệt từ mặt đất và môi trường xung quanh để biến thành động năng $\frac{mv^2}{2}$ rồi bay ngược lên theo phương thẳng đứng đến độ cao h sao cho động năng $\frac{mv^2}{2}$ biến hoàn toàn thành thế năng mgh .

Rõ ràng quá trình như thế không vi phạm định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng tức là phù hợp nguyên lý I, nhưng trong thực tế thì không xảy ra.

Hai là nguyên lý I không chỉ ra được sự khác nhau trong sự chuyển hoá công và nhiệt.

Nguyên lý I chỉ ra rằng công và nhiệt có thể chuyển hoá lẫn nhau theo một tỉ lệ hoàn toàn xác định. Tuy nhiên lại không chỉ ra được rằng công có thể chuyển hoá hoàn toàn thành nhiệt, còn nhiệt lại không thể biến hoàn toàn thành công.

Ba là nguyên lý I không chỉ ra được tính không tương đương của những nhiệt lượng bằng nhau được lấy từ các nguồn có nhiệt độ khác nhau. Hay như người ta thường nói

vấn đề chất lượng nhiệt. Thực tế về động cơ nhiệt cho thấy nhiệt lượng được lấy từ những nguồn có nhiệt độ càng cao thì “chất lượng” càng cao.

Vì những lẽ trên người ta tìm cách xây dựng nguyên lí thứ hai nhiệt động học để khắc phục những hạn chế của nguyên lí thứ I và cùng với nó làm cơ sở để nghiên cứu các hiện tượng nhiệt.

§ 2. QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH VÀ QUÁ TRÌNH BẤT THUẬN NGHỊCH

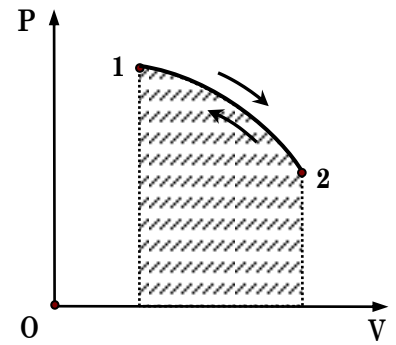
1. Định nghĩa

Một quá trình biến đổi hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 gọi là thuận nghịch khi có thể tiến hành theo chiều ngược lại và trong quá trình ngược lại đó hệ đi qua tất cả các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận.

Với định nghĩa nêu ở trên, quá trình thuận nghịch là quá trình cân bằng.

Thật vậy, giả sử hệ nhiệt động đang ở một trạng thái cân bằng. Nếu có một tác dụng bên ngoài đưa hệ ra khỏi trạng thái cân bằng, rồi tác dụng đó không còn nữa thì hệ sẽ tự nó trở về được trạng thái cân bằng mà nó vừa đi ra. Ngược lại, đối với trạng thái không cân bằng thì hệ không bao giờ hai lần đi qua cùng một trạng thái.

Theo định nghĩa của quá trình thuận nghịch, khi tiến hành theo chiều chiều ngược lại để đưa hệ từ trạng thái 2 về trạng thái 1 hệ phải đi qua tất cả các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận. Ta suy ngay ra rằng “tất cả các trạng thái trung gian” từ trạng thái 1 đến trạng thái 2 mà hệ đi qua phải là những trạng thái cân bằng, vì hệ đã hai lần đi qua cùng một trạng thái, không thể có trạng thái nào là không cân bằng. Nói cách khác, quá trình thuận nghịch là một quá trình cân bằng.



Hình: 3-1

Từ định nghĩa của quá trình thuận nghịch ta suy ra rằng, nếu biểu diễn quá trình thuận nghịch trên giản đồ (P, V) thì đường biểu diễn quá trình thuận và đường biểu diễn quá trình ngược chồng khít nhau (h. 3-1). Vì thế công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình thuận thì bằng về giá trị nhưng ngược dấu với công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình ngược. Kết quả là, trở về trạng thái ban đầu thì nội năng của hệ không đổi và do đó môi trường xung quanh không bị biến đổi.

Vậy, đối với quá trình thuận nghịch, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì nội năng của hệ không bị tiêu hao và môi trường xung quanh không xảy ra một biến đổi nào.

Tuy nhiên quá trình thuận nghịch (quá trình cân bằng) chỉ là một quá trình lý tưởng. Thực tế, trong các quá trình biến đổi hệ thường đi qua một số trạng thái không cân bằng, mà những trạng thái này thì thay đổi theo thời gian và không thể lặp lại được:

Quá trình bất thuận nghịch là một 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.

Đối với một quá trình bất thuận nghịch, công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình thuận không bằng công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình ngược, do đó nội năng của hệ thay đổi sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình ngược để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu.

Vậy, đối với quá trình bất thuận nghịch, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình ngược lại để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì nội năng của hệ thay đổi do đó môi trường xung quanh cũng bị biến đổi.

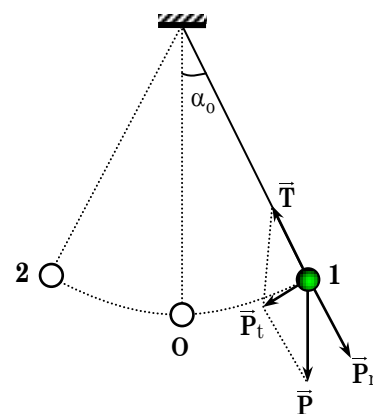
2. Ví dụ

a. Về quá trình thuận nghịch

Xét con lắc đơn dao động không ma sát và nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ môi trường xung quanh. Do các điều kiện ấy nên không có sự trao đổi nhiệt giữa con lắc và môi trường.

Kéo con lắc lệch khỏi vị trí cân bằng một góc α_0 rồi buông nhẹ, con lắc sẽ dao động điều hoà. Từ vị trí cao nhất, vị trí 1 về vị trí cân bằng O trọng lực sinh công phát động.

Từ vị trí cân bằng O đến vị trí 2, trọng lực sinh công cản. Hai vị trí 1 và 2 đối xứng đối với vị trí cân bằng, vì thế công của trọng lực sinh ra trong quá trình 1-O-2 bằng không. Tương tự trong quá trình ngược lại từ 2 trở về 1 công của trọng lực sinh ra cũng bằng không.



Hình: 3-2

Kết quả là sau quá trình thuận 1-2 và quá trình ngược 2-1 để đưa con lắc về trạng thái ban đầu (1) độ biến thiên nội năng của hệ bằng không, môi trường xung quanh không bị biến đổi. Đó là quá trình thuận nghịch.

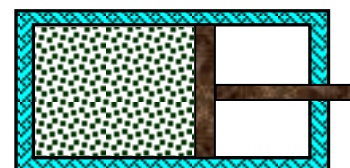
Xét một khối khí trong một xylanh có vỏ cách nhiệt lí tưởng. Thực hiện một quá trình dẫn khí vô cùng chậm từ thể tích V_1 đến thể tích V_2 sao cho đó là quá trình cân bằng. Tiếp theo, thực hiện quá trình ngược lại: nén khí vô cùng chậm từ V_2 đến V_1 để sao cho quá trình này cũng là quá trình cân bằng. Trong quá trình nén cân bằng hệ sẽ đi qua các trạng thái cân bằng trung gian như trong quá trình thuận (dãn). Công mà khối khí nhận được trong quá trình ngược (nén) bằng về giá trị với công mà hệ sinh ra trong quá trình dẫn. Kết quả là sau khi trở về trạng thái ban đầu tổng công mà hệ sinh ra trong quá trình thuận và ngược bằng không. Do có vỏ cách nhiệt lí tưởng hệ cũng không trao đổi nhiệt với môi trường. Do đó môi trường xung quanh không bị biến đổi. Quá trình ta xét là một quá trình thuận nghịch.

Qua hai ví dụ về các quá trình thuận nghịch có thể thấy rằng mọi quá trình không có ma sát và không có sự truyền nhiệt là những quá trình thuận nghịch.

b. Về quá trình bất thuận nghịch

Bây giờ ta tính đến ma sát trong dao động của lắc đơn và trong quá trình dẫn và nén khí của xylanh trong hai ví dụ trên.

Do có ma sát, trong quá trình thuận một phần công biến thành nhiệt, nếu tiến hành quá trình ngược lại thì một phần công nữa lại biến thành nhiệt. Kết quả là sau hai quá trình thuận và nghịch có một phần công đã biến thành nhiệt. Và thực nghiệm xác nhận rằng nhiệt đó chỉ làm nóng môi trường xung quanh chứ không thể biến thành công. Do đó sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình ngược để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh đã bị thay đổi.



Hình: 3-3

Vậy các quá trình có ma sát là quá trình bất thuận nghịch.

Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh cũng là quá trình bất thuận nghịch. Quá trình này xảy ra tự phát, không cần một tác dụng nào từ bên ngoài. Quá trình sẽ kết thúc khi nhiệt độ hai vật bằng nhau. Trạng thái của hệ hai vật lúc đó là trạng thái cân bằng. Bây giờ muốn đưa hệ hai vật trở về trạng thái nhiệt độ chênh lệch lúc đầu thì phải thực hiện một quá trình ngược lại, lấy nhiệt từ vật lạnh truyền trả lại cho vật nóng. Muốn thực hiện quá trình này chỉ có cách tác dụng từ môi trường lên hệ. Chẳng hạn trong các máy làm lạnh, mô-tơ điện (môi trường bên ngoài) đã sinh công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng.

Kết quả sau khi vật nóng truyền nhiệt cho vật lạnh và nhận công từ bên ngoài để lấy nhiệt từ vật lạnh trả lại cho vật nóng để hai vật trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh bị biến đổi.

3. Ý nghĩa của việc nghiên cứu quá trình thuận và bất thuận nghịch

Từ việc nghiên cứu quá trình thuận nghịch và bất thuận nghịch ta rút ra nhận xét thứ nhất là các quá trình thuận nghịch là những quá trình có lợi nhất về mặt năng lượng. Bởi vì sau khi tiến hành các quá trình thuận và quá trình ngược để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì nội năng của hệ không thay đổi – hệ không mất một chút năng lượng nào. Còn trong các quá trình bất thuận nghịch hệ phải sinh công và toả nhiệt cho môi trường. Kết quả năng lượng của hệ bị tiêu hao và môi trường bị thay đổi.

Nhưng quá trình thuận nghịch chỉ là quá trình lí tưởng, không có trong thực tế. Vì vậy người ta chỉ có thể cố gắng làm sao cho các quá trình càng gần với thuận nghịch càng tốt. Muốn vậy phải hạn chế ma sát và ngăn không cho nhiệt truyền từ vật nóng sang vật lạnh. Vì đây là hai nguyên nhân làm tiêu hao năng lượng một cách vô ích.

Khi nghiên cứu các quá trình bất thuận nghịch ta thấy rằng trong hai chiều diễn biến của một quá trình vĩ mô chỉ có một chiều tự phát xảy ra. Chiều tự phát ấy bảo đảm đưa hệ tới trạng thái cân bằng. Và khi hệ đã ở trạng thái cân bằng rồi thì nó không thể tự phá vỡ trạng thái cân bằng ấy. Điều nhận xét này có một ý nghĩa hết sức quan trọng trong việc phát biểu nguyên lí thứ hai của nhiệt động học.

§ 3. MÁY NHIỆT

Để xây dựng được nguyên lí thứ hai của nhiệt động học người ta đã có hai hướng nghiên cứu. Hướng thứ nhất, nghiên cứu các quá trình thuận nghịch và bất thuận nghịch mà chúng ta vừa mô tả ở trên. Trong tiết này chúng ta sẽ trình bày hướng thứ hai nghiên cứu về máy nhiệt.

1. Nguyên tắc hoạt động của máy nhiệt

Máy nhiệt là một hệ làm nhiệm vụ biến nhiệt thành công hoặc biến công thành nhiệt.

Trong các máy nhiệt có các chất vận chuyển thực hiện việc biến nhiệt thành công hoặc ngược lại. Chúng được gọi là tác nhân.

Khi máy hoạt động tác nhân trao đổi nhiệt với hai nguồn nhiệt có nhiệt độ khác nhau là nguồn nóng và nguồn lạnh. Nhiệt độ của hai nguồn được xem là không

đổi và sự trao đổi nhiệt giữa tác nhân với nguồn không ảnh hưởng tới nhiệt độ của nó. Tất cả các máy nhiệt đều hoạt động tuần hoàn do đó tác nhân biến đổi theo chu trình.

2. Động cơ nhiệt

Động cơ nhiệt là loại máy nhiệt biến nhiệt thành công.

Ví dụ máy hơi nước, các loại động cơ đốt trong. Trong máy hơi nước, tác nhân là hơi nước, nguồn nóng là nồi súp-de, nguồn lạnh là bình ngưng. Trong các động cơ đốt trong, tác nhân có thể là hơi đốt, xăng, dầu..., nguồn nóng là buồng đốt, nguồn lạnh là ống xả. Tác nhân trong động cơ nhiệt biến đổi theo chu trình thuận (chu trình sinh công), nghĩa là chiều diễn biến của chu trình cùng chiều quay của kim đồng hồ.

Nếu trong một chu trình tác nhân nhận của nguồn nóng một nhiệt lượng Q_1 , nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng Q_2' và sinh công A' thì người ta định nghĩa hiệu suất η của động cơ nhiệt là tỉ số giữa công sinh ra A' và nhiệt nhận vào Q_1 :

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

(3-1)

Theo nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học thì trong một chu trình công do tác nhân sinh ra bằng nhiệt mà nó thực sự nó nhận vào, nghĩa là

$$A' = Q_1 - Q_2'$$

Vì vậy hiệu suất của chu trình tính theo biểu thức sau:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}$$

(3-2)

3. Máy lạnh

Máy lạnh là một loại máy nhiệt tiêu thụ công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng. Tác nhân trong máy lạnh là các loại hơi như amôniac hoặc anhychicsunfuro (thường gọi là gas). Chu trình làm việc của tác nhân là chu trình ngược, nghĩa là chiều diễn biến của chu trình ngược với chiều quay của kim đồng hồ. Đó là chu trình nhận công.

Nếu trong một chu trình tác nhân tiêu thụ công A và lấy một nhiệt lượng Q_2 từ nguồn lạnh thì hệ số làm lạnh của máy được định nghĩa bằng tỉ số:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}$$

(3-3)

§ 4. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC

Từ việc nghiên cứu các quá trình thuận nghịch và bất thuận nghịch cũng như việc nghiên cứu về các loại máy nhiệt người ta đã đưa ra nhiều cách phát biểu nguyên lí thứ hai. Những cách phát biểu đó về thực chất tương đương với hai cách phát biểu sau đây.

1. Phát biểu của Claodiut:

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

2. Phát biểu của Thomson:

Không thể chế tạo được một máy nhiệt hoạt động tuần hoàn liên tục biến đổi nhiệt thành công nhờ làm lạnh một vật mà môi trường xung quanh không chịu một sự thay đổi nào.

Những máy như thế gọi là động cơ vĩnh cửu loại hai. Vậy có thể phát biểu theo cách của Thomson như sau:

Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại hai.

Hai cách phát biểu trên thực ra hoàn toàn tương đương nhau. Ta có thể chứng minh điều này.

Giả sử có một vật sinh công A' bằng cách lấy nhiệt từ nguồn có nhiệt độ T_2 (vi phạm cách phát biểu của Thomson). Có thể đem công A' cung cấp cho một vật có nhiệt độ $T_1 > T_2$ bằng một quá trình ma sát. Quá trình này làm cho công A' biến hoàn toàn thành nhiệt Q. Cuối cùng, kết quả duy nhất của dãy quá trình trên là đã truyền được năng lượng dưới dạng nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn. Điều này vi phạm cách phát biểu của Claodius.

§ 5. CHU TRÌNH CÁC NÔ VÀ ĐỊNH LÝ CÁC NÔ

Chu trình Các nô đóng một vai trò quan trọng trong sự phát triển nhiệt động học và kỹ thuật nhiệt vì nó cho phép lập nên biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai và phân tích hiệu suất của các máy nhiệt. Về mặt năng lượng chu trình Các nô là chu trình có lợi nhất.

1. Chu trình Các nô thuận nghịch

Chu trình Các nô thuận nghịch (thường nói ngắn gọn là chu trình Các nô) là một chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch.

Chu trình Các nô thuận nghịch có chiều thuận (chu trình sinh công) gọi là chu trình Các nô thuận (H. 3-4).

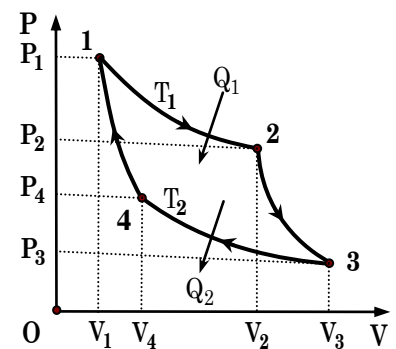
Mô tả hoạt động của chu trình Các nô thuận:

Quá trình 1-2 là quá trình giãn đẳng nhiệt. Trong quá trình này tác nhân tiếp xúc với nguồn nóng có nhiệt độ T_1 , nhận của nó một nhiệt lượng Q_1 , dẫn từ $V_1 \rightarrow V_2$, áp suất giảm $P_1 \rightarrow P_2$

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Quá trình 2-3 là quá trình giãn đoạn nhiệt. Trong quá trình này tác nhân cách nhiệt với nguồn, dẫn từ $V_2 \rightarrow V_3$, áp suất giảm từ $P_2 \rightarrow P_3$.

Quá trình 3-4 là quá trình nén đẳng nhiệt. Trong quá trình này tác nhân tiếp xúc với nguồn lạnh có nhiệt độ T_2 , nhả cho nó một nhiệt lượng $Q'_2 = -Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$. Quá trình 4-1 là quá trình nén đoạn nhiệt. Tác nhân cách



Hình: 3-4

hiệu suất của chu trình Carnot thuận

Theo (3-2), hiệu suất của chu trình Carnot là

$$\eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

Mặt khác trong quá trình đoạn nhiệt 2-3 và 4-1, liên hệ giữa nhiệt độ và thể tích biểu diễn bởi:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

Chia 2 phương trình cho nhau, được:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

thay vào biểu thức hiệu suất ở trên ta được:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(3-4)

Hiệu suất của chu trình Carnot thuận đối với tác nhân là khí lí tưởng chỉ phụ thuộc nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh.

2. Định lí Carnot

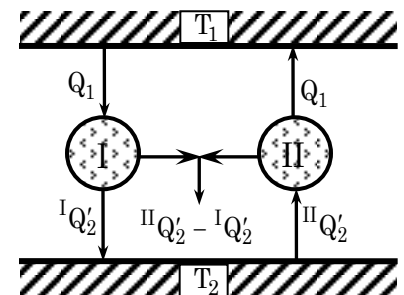
Hiệu suất của tất cả các động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau, không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

Chứng minh định lí Carnot

Giả sử có hai động cơ thuận nghịch I và II chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng T_1 và nguồn lạnh T_2 . Nếu nhiệt chúng lấy ở nguồn nóng đều là Q_1 và nhiệt cho nguồn lạnh đối với động cơ I là $^I Q_2'$ và đối với động cơ II là $^{II} Q_2'$ thì hiệu suất của chúng lần lượt là:

$$\eta_I = 1 - \frac{^I Q_2'}{Q_1}$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{^{II} Q_2'}{Q_1}$$



Hình: 3-5

Hiệu suất η_I và η_{II} sẽ khác nhau nếu $^I Q'_2$ và $^{II} Q'_2$ khác nhau

Giả sử $^I Q'_2 < ^{II} Q'_2$ ta suy ra $\eta_I > \eta_{II}$

Ta sẽ chứng minh rằng điều này không xảy ra. Vì hai động cơ đều là thuận nghịch nên ta có thể ghép chúng thành một động cơ. Trong đó động cơ I chạy theo chu trình thuận, còn động cơ II chạy theo chu trình ngược. Trong một chu trình động cơ I lấy của nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 , nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng $^I Q'_2$ và sinh công có giá trị bằng $Q_1 - ^I Q'_2$, động cơ II lấy của nguồn lạnh nhiệt lượng $^{II} Q'_2$ và nhả cho nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 và sinh công có giá trị $^{II} Q'_2 - Q_1$. Kết quả sau một chu trình động cơ này không trao đổi nhiệt với nguồn nóng, nhận của nguồn lạnh nhiệt lượng $^{II} Q'_2 - ^I Q'_2 > 0$ và sinh công tổng cộng bằng

$$(Q_1 - ^I Q'_2) + (^{II} Q'_2 - Q_1) = ^{II} Q'_2 - ^I Q'_2 > 0$$

Nội năng của cả hai động cơ không thay đổi vì chúng hoạt động theo những chu trình.

Như vậy động cơ ghép không vi phạm nguyên lí thứ nhất. Sau một chu trình toàn bộ nhiệt nhận được đều biến thành công. Nhưng nó vi phạm nguyên lí thứ hai, vì nó sinh công bằng cách chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn. Do đó không thể có động cơ này, nghĩa là không xảy ra trường hợp $\eta_I > \eta_{II}$ như giả thiết. Ngược lại, nếu ta lại giả thiết $\eta_I < \eta_{II}$, lí luận hoàn toàn tương tự như trên, nhưng trong trường hợp này ta cho động cơ I chạy theo chu trình ngược, động cơ II chạy theo chu trình thuận, ta cũng lại chứng tỏ được rằng không thể có bất đẳng thức $\eta_I < \eta_{II}$.

Vậy chỉ có thể có $\eta_I = \eta_{II}$.

Từ định lí Căcnô ta suy ra hiệu suất của chu trình Căcnô thuận với bất kỳ tác nhân nào cũng bằng

$$\eta_{TN} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(3-5)

Bây giờ ta chứng minh rằng hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

Giả sử có hai động cơ hoạt động theo chu trình Căcnô có cùng nguồn nóng nhiệt độ T_1 và cùng nguồn lạnh nhiệt độ T_2 , trong đó một động cơ là thuận nghịch, một động cơ là bất thuận nghịch.

Trong một chu trình cả hai động cơ đều nhận của nguồn nóng một nhiệt lượng Q_1 ; động cơ thuận nghịch nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng Q'_2 nên hiệu suất của nó là

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

Đối với động cơ bất thuận nghịch ngoài phần nhiệt nhả cho nguồn lạnh tác nhân còn mất năng lượng do toả nhiệt cho các vật khác vì ma sát nên công có ích sinh ra sẽ nhỏ hơn trong chu trình thuận nghịch. Như vậy

$$\eta_{bTN} < \eta_{TN}$$

Định lí được chứng minh.

Kết hợp với (3-4) suy ra hiệu suất của chu trình Căcnô với tác nhân là một chất bất kỳ là.

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(3-6)

Ở đây dấu (=) ứng với chu trình Căcnô thuận nghịch.

dấu (<) ứng với chu trình Căcnô bất thuận nghịch.

Vài kết luận

Từ biểu thức toán học của định lí Căcnô (3-6) ta suy ra vài kết luận quan trọng.

Trong (3-6), T_1 là nhiệt độ nguồn nóng không thể lớn vô cùng; T_2 là nhiệt độ nguồn lạnh không thể bằng không. Do đó hiệu suất lớn nhất là hiệu suất của động cơ thuận nghịch cũng vẫn nhỏ hơn 1.

$$\eta_{TN} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$$

Mặt khác theo định nghĩa thì

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} \quad \text{suy ra} \quad \frac{A'}{Q_1} < 1 \quad \text{hay} \quad A' < Q_1$$

A' là công hữu ích được sinh ra do tác nhân nhận được nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nóng. Do đó có kết luận:

Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.

Để tăng được hiệu suất có thể tăng nhiệt độ T_1 hoặc giảm nhiệt độ T_2 , hoặc thực hiện cả hai giải pháp. Tuy nhiên về mặt kĩ thuật, tăng nhiệt độ nguồn nóng sẽ dễ thực hiện hơn việc giảm nhiệt độ nguồn lạnh. Chính vì vậy, để tăng hiệu suất động cơ người ta chọn giải pháp tăng nhiệt độ của nguồn nóng.

Hai động cơ làm việc theo chu trình Căcnô có nhiệt độ nguồn lạnh bằng nhau, nhưng nhiệt độ nguồn nóng khác nhau. Động cơ nào có nhiệt độ nguồn nóng cao hơn sẽ có hiệu suất lớn hơn, nghĩa là nhiệt lượng nhận Q_1 có khả năng sinh công hữu ích nhiều hơn. Ta đi đến kết luận rằng: Nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ cao có chất lượng nhiệt cao hơn nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ thấp hơn.

Đến đây có thể thấy rằng, với định lí Căcnô, nguyên lí thứ hai đã khác phục được hai hạn chế của nguyên lí thứ nhất.

§ 6. BIỂU THỨC ĐỊNH LƯỢNG CỦA NGUYÊN LÝ THỨ HAI

Hiệu suất của động cơ nhiệt theo định nghĩa

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

Theo định lý Căcnô, hiệu suất của động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Căcnô

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Kết hợp lại ta được:
$$\frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

(3-7)

Đây là dạng đơn giản nhất của biểu thức định lượng của nguyên lý II.

Từ (3-6) suy ra
$$\frac{Q'_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$$

(3-8)

Trong đó Q'_2 là nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh. Nếu gọi Q_2 là nhiệt mà tác nhân (hệ) nhận từ nguồn lạnh thì $Q_2 = -Q'_2$.

Ta viết lại được (3-8) như sau:

$$-\frac{Q_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1} \quad \text{hay} \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

(3-9)

Đây là biểu thức định lượng của nguyên lý hai được thiết lập cho hệ biến đổi theo một chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt.

Giả sử hệ biến đổi theo một chu trình gồm rất nhiều quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt. Trong mỗi quá trình đẳng nhiệt hệ tiếp xúc với một nguồn nhiệt có nhiệt độ T_i và nhận của nguồn ấy một nhiệt lượng Q_i . Khi đó (3-9) mở rộng thành:

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

(3-10)

Xét trường hợp tổng quát nhất.

Giả sử trong một chu trình hệ tiếp xúc với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ gần nhau và biến thiên liên tục. Mỗi quá trình tiếp xúc với một nguồn nhiệt là một quá trình vi phân, trong đó hệ nhận một nhiệt lượng δQ . Khi đó tổng (3-10) trở thành tích phân

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

(3-11)

Tích phân ở vế trái của bất đẳng thức thường được gọi là tích phân nhiệt rút gọn

dấu (=) ứng với chu trình Căcnô thuận nghịch.

dấu (<) ứng với chu trình Căcnô bất thuận nghịch.

Biểu thức (3-11) là biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý hai:

Tích phân nhiệt rút gọn trong một chu trình nhỏ hơn hoặc bằng không.

§ 7. HÀM ENTROPI VÀ NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPI

1. Hàm entropi

Xét một hệ biến đổi theo một chu trình thuận nghịch gồm hai quá trình, 1a2 và 2b1 đều là những quá trình thuận nghịch (h. 3-6).

Theo (3-10), biểu thức định lượng của nguyên lý hai áp dụng cho chu trình này cho bởi

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

Thực hiện phân đoạn tích phân trên

$$\oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

hay

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = - \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T}$$

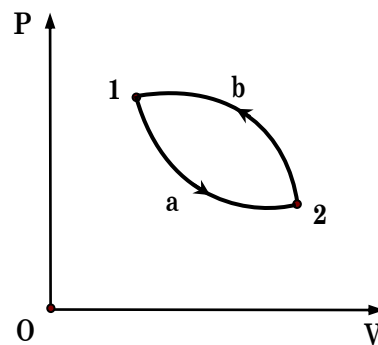
Quá trình 2b1 là quá trình thuận nghịch, nên có thể biến đổi theo chiều ngược lại $1 \rightarrow b \rightarrow 2$ sao cho trong quá trình ngược lại này hệ đi qua tất cả các trạng thái trung gian như trong quá trình $2 \rightarrow b \rightarrow 1$. Tương ứng về mặt toán học, khi đổi cận tính tích phân thì

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

Do đó

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} \quad (3-$$

12)



Hình: 3-6

Nghĩa là tích phân nhiệt rút gọn theo các quá trình thuận nghịch từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) không phụ thuộc quá trình mà chỉ phụ thuộc trạng thái đầu và trạng thái cuối.

Trong chương 2, khi nghiên cứu nguyên lý thứ nhất ta đã thấy rằng độ biến thiên nội năng của một hệ trong quá trình biến đổi hệ từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) không phụ thuộc vào quá trình biến đổi mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối nên nội năng là một hàm trạng thái.

Vậy trong trường hợp này, phương trình (3-12) gợi ý cho ta thấy rằng tích phân nhiệt rút gọn theo một quá trình thuận nghịch từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) là độ biến thiên của một hàm trạng thái. Ta gọi hàm trạng thái đó là hàm entropi S và hàm entropi được định nghĩa bởi:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \quad (3-13)$$

13)

Độ biến thiên của hàm entropi giữa hai trạng thái (1) và trạng thái (2) bằng tích phân nhiệt rút gọn từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) theo một quá trình thuận nghịch.

Trong quá trình biến đổi vi phân ta có

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (3-14)$$

14)

Tính chất của hàm entropi

- S là một hàm trạng thái, vì độ biến thiên ΔS không phụ thuộc vào quá trình mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối.
- S có tính cộng được, nghĩa là entropi của một hệ cân bằng bằng tổng entropi của từng phần riêng biệt.
- Từ (3-13) ta suy ra rằng entropi được xác định sai khác một hằng số cộng

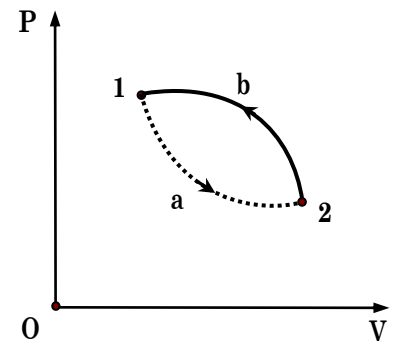
$$S = S_0 - \int \frac{\delta Q}{T} \quad (3-15)$$

trong đó S_0 là giá trị entropi được chọn làm gốc. Thông thường người ta chọn $S_0 = 0$ ở trạng thái có nhiệt độ $T = 0K$, khi đó S sẽ đơn trị. Trong hệ đơn vị SI, đơn vị của S là J/K.

2. Biểu thức định lượng của nguyên lý hai với hàm entropi

Xét một hệ thực hiện một chu trình bất thuận nghịch $1a2b1$, trong đó $1a2$ là quá trình bất thuận nghịch còn $2b1$ là quá trình thuận nghịch (h. 3-7).

Biểu thức định lượng của nguyên lý hai đối với chu trình này được viết là



Hình: 3-7

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

hay

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

hay

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

Quá trình 2b1 là quá trình thuận nghịch, nên có thể tiến hành theo chiều ngược lại mà trong quá trình ngược lại đó hệ đi qua tất cả các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận. Do đó có thể đổi cận tính tích phân:

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

Do đó

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} < \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} \quad (3-16)$$

Tích phân nhiệt rút gọn trong một quá trình bất thuận nghịch nhỏ hơn tích phân nhiệt rút gọn trong quá trình thuận nghịch có cùng trạng thái đầu và trạng thái cuối.

Nhưng tích phân vế phải của (3-16) chính là độ biến thiên entropi của hệ, vì thế (3-16) có dạng mới là

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

Từ đó rút ra:

$$\Delta S \geq \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \quad (3-17)$$

dấu (=) ứng với chu trình Căcnô thuận nghịch.

dấu (<) ứng với chu trình Căcnô bất thuận nghịch.

(3-17) chính là biểu thức định lượng của nguyên lý hai viết theo hàm entropi. Dưới dạng vi phân biểu thức định lượng nguyên lý hai được viết là:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (3-18)$$

3. Nguyên lý tăng entropi

3. Nguyên lý tăng entropi

Biểu thức (3-17) đúng cho mọi hệ, dù là hệ là cô lập hay không.

Với hệ không cô lập thì tùy thuộc dấu và giá trị của nhiệt nhận vào trong quá trình ΔS có thể có giá trị dương, âm hoặc bằng không, nghĩa là entropi của hệ có thể tăng hoặc giảm hoặc không đổi.

Nhưng đối với hệ cô lập, vì hệ không trao đổi nhiệt với môi trường, $\delta Q = 0$, nên

$$\Delta S \geq 0 \quad (3-19)$$

Theo (3-18), nếu quá trình là thuận nghịch thì $\Delta S = 0$; còn nếu quá trình là bất thuận nghịch thì $\Delta S > 0$.

Nhưng trong thực tế mọi quá trình nhiệt động đều là quá trình bất thuận nghịch, nên ta có nguyên lý tăng entropi trong một hệ cô lập:

Mọi quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập phải diễn biến theo chiều sao cho entropi của hệ tăng.

Và biểu thức toán học của nguyên lý đó là

$$\Delta S > 0 \quad (3-20)$$

4. Ý nghĩa thống kê của entropi

Chúng ta đã định nghĩa hàm entropi chỉ đơn giản là dựa trên hình thức toán học. Tuy nhiên, biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai với hàm entropi lại cho ta biết được chiều của mọi quá trình nhiệt động. Đó là chiều mà entropi của một hệ cô lập không thể giảm.

Mặt khác ta lại có thể xem entropi như một thông số độc lập, mô tả trạng thái của hệ nhưng không có dụng cụ đo trực tiếp với độ chính xác một hằng số cộng. Vậy bản chất entropi là gì?

Để hiểu bản chất entropi ta phải đi vào cấu trúc vi mô của hệ, nghĩa là đứng trên quan điểm động học phân tử, trong đó phương pháp thống kê được sử dụng.

Theo quan điểm động học thì entropi là thước đo mức độ hỗn loạn của các phân tử trong hệ. Điều này cho kết quả phù hợp với cả hai nguyên lý của nhiệt động học.

Hãy xét quá trình làm lạnh đẳng tích một khối khí. Trong quá trình này hệ liên tục toả nhiệt, $Q < 0$, do đó entropi giảm. Tương ứng, mức độ hỗn loạn chuyển động của các phân tử khí cũng giảm. Tiếp tục hạ nhiệt độ để khí hoá lỏng. Trong pha lỏng mức độ hỗn loạn của chuyển động phân tử giảm nhảy bậc so với pha khí. Tương ứng, entropi của hệ giảm nhảy bậc. Tiếp tục hạ nhiệt độ của chất lỏng thì entropi của hệ cũng giảm theo.

Khi chất lỏng đông đặc, các phân tử chất rắn chiếm các vị trí hoàn toàn xác định, tính hỗn loạn giảm nhảy bậc và còn rất ít. Tương ứng với điều đó, entropi của hệ giảm nhảy bậc.

Mức độ hỗn loạn trong chuyển động phân tử của hệ vĩ mô được định lượng bởi một đại lượng gọi là xác suất nhiệt động.

Để tìm hiểu về đại lượng này ta hãy xét sự phân bố các phân tử khí theo thể tích. Giả sử chỉ có một phân tử khí lí tưởng trong bình thể tích V được chia thành hai ngăn.

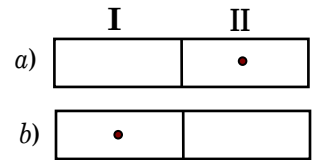
Do tính chuyển động hỗn loạn nên xác suất để phân tử trong mỗi ngăn là như nhau và đều bằng $\frac{1}{2}$.

$$P_a = P_b = \frac{1}{2}$$

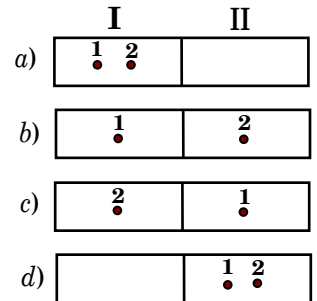
Xét hệ gồm 2 phân tử khí lí tưởng 1 và 2. Do tính chuyển động hỗn loạn, có thể xảy ra nhưng cách sắp xếp 2 phân tử khí trong hai ngăn như sau: Xem hình 3-9. Tuy nhiên vì các phân tử khí là đồng nhất, nghĩa là ta không thể phân biệt được hai phân tử khí khác nhau, nên cách sắp xếp (b) và (c) là không phân biệt. Do đó xác suất các cách sắp xếp 2 phân tử khí vào trong bình là:

$$P_a = \frac{1}{4}; \quad P_{bc} = \frac{2}{4} \quad \text{và} \quad P_d = \frac{1}{4}$$

Giả sử hệ gồm 4 phân tử khí lí tưởng. Các cách sắp xếp 4 phân tử đó vào hai ngăn của bình được mô tả như hình dưới đây:



Hình: 3-8



Hình: 3-9

Bảng 3-10

	I	II	Xác suất nhiệt động	Số vĩ thái	Xác suất của vĩ thái	Tính chất của phân bố
a/	1 2 3 4		1	1	1/16	Không đều (bên có, bên không)
b/		1 2 3 4	1	1	1/16	Không đều (bên có, bên không)
c/	1 2 3	4	4		4/16	Gần đều (bên 3, bên 1)
	1 2 4	3				
	1 3 4	2				
	2 3 4	1				
d/	4	1 2 3	4	1	4/16	Gần đều (bên 1, bên 3)
	3	1 2 4				
	2	1 3 4				
	1	2 3 4				
e/	1 2	3 4	6	1	6/16	Đều
	1 3	2 4				
	1 4	2 3				
	2 3	1 4				
	2 4	1 3				
	3 4	1 2				
Tổng cộng			16	5		

Người ta đã chụp ảnh vị trí của 40 hạt trong bình thể tích V chia làm hai ngăn. Tám ảnh chụp được trong một thời gian dài cho kết quả như sau:

21 – 19	19 – 21
18 – 22	16 – 24
20 – 20	18 – 22
20 – 20	17 – 23

Từ những kết quả trên ta rút ra một số nhận xét:

- Phân bố không đều có xác suất nhỏ nhất, nghĩa là ít có khả năng xảy ra nhất.
- Phân bố đều có xác suất lớn nhất, nghĩa là dễ xảy ra nhất.
- Phân bố gần đều có xác suất tương đối lớn nghĩa là dễ xảy ra hơn so với phân bố không đều.

Phân bố đều ứng với trạng thái vĩ mô của hệ ổn định nhất (tính trật tự vĩ mô cao nhất) nhưng mức độ hỗn loạn trong chuyển động của các phân tử lại cao nhất (mức trật tự vĩ mô thấp nhất) phân bố không đều ứng với trạng thái vĩ mô của hệ không ổn định nhất (tính trật tự vĩ mô thấp nhất. Trong trạng thái này mật độ, áp suất... trong các phần khác nhau của hệ rất khác nhau). Tuy nhiên, tính trật tự vĩ mô lại cao nhất. Các phân tử ngoan ngoãn tìm về một phần trong toàn bộ không gian của hệ. Rõ ràng trạng thái như thế có rất ít khả năng xảy ra với một hệ khí lí tưởng (và cả đối với khí thực).

Do các phân tử khí là đồng nhất nên ta không thể phân biệt được các trạng thái vĩ mô có phân bố giống nhau (4 phân bố vĩ mô trong phân bố (c) và (d); 6 phân bố vĩ mô trong phân bố e).

Mỗi phân bố vĩ mô ứng với một vĩ thái – trạng thái vĩ mô.

Các trạng thái vĩ mô giống nhau mà ta không phân biệt được lập thành một trạng thái vĩ mô, gọi là vĩ thái.

Xem bảng 3 – 10.

Số vĩ thái có trong một vĩ thái gọi là xác suất nhiệt động học

Trong bảng 3 – 10

Vĩ thái (1), tính từ trên xuống, có một vĩ thái, xác suất nhiệt động $w = 1$.

vĩ thái (2) có 1 vĩ thái $w = 1$

vĩ thái (3) có 4 vĩ thái $w = 4$

vĩ thái (4) có 4 vĩ thái $w = 4$

vĩ thái (5) có 6 vĩ thái $w = 6$

Với 5 vĩ thái ta có tất cả 16 vĩ thái. nghĩa là có 16 cách sắp xếp vĩ mô trong 5 cách sắp xếp vĩ mô.

Rõ ràng là khi tính hỗn loạn vĩ mô càng cao thì xác suất nhiệt động càng tăng. Khi tính hỗn loạn vĩ mô cao nhất, các phân tử phân bố đều trong hệ, thì xác suất nhiệt động có giá trị cực đại.

Vì vậy có thể coi xác suất nhiệt động học w là thước đo mức độ hỗn loạn chuyển động nhiệt của các phân tử.

Vận dụng lí thuyết xác suất, người ta đã xây dựng được biểu thức liên hệ giữa entropi của hệ với xác suất nhiệt động học:

$$S = k \ln w \quad (3-21)$$

21)

Trong đó k là hằng số Bôn-zơ-man.

Biểu thức (3-10) cho thấy ý nghĩa thông kê của entropi.

Cuối cùng ta hãy so sánh hai đại lượng: nội năng và entropi của hệ.

Hai đại lượng này đều là những hàm trạng thái, cùng đo mức độ của chuyển động nhiệt. Nhưng khác với nội năng U ; entropi S còn chỉ ra chiều diễn biến của mọi quá trình thực tế xảy ra.

BÀI TẬP VÍ DỤ

Ví dụ 1: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Căcnô có công suất $P = 73600W$. Nhiệt độ của nguồn nóng là $100^\circ C$, nhiệt độ của nguồn lạnh là $0^\circ C$. Tính:

- Hiệu suất của động cơ.
- Nhiệt lượng mà tác nhân nhận được của nguồn nóng trong một phút.
- Nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh trong 1 phút.

Giải

- Hiệu suất của động cơ

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{với} \quad \left. \begin{array}{l} T_1 = 100 + 273 = 373K \\ T_2 = 0 + 273 = 273K \end{array} \right\} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{273}{373} = 27\%$$

- Công suất $P = 73600W$, nghĩa là trong một giây động cơ sinh công $A' = 73600J$, nó nhận ở nguồn nóng nhiệt lượng

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

Trong một phút động cơ nhận của nguồn nóng nhiệt lượng

$$Q_{1p} = 60Q_1 = 60 \cdot \frac{73600}{0,27} \approx 16470kJ$$

- Trong một giây tác nhân nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng

$$Q'_2 = Q_1 - A$$

Trong một phút tác nhân nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng bằng

$$Q'_{2p} = 60Q'_2 = 60 \cdot (Q_1 - A)$$

$$Q'_{2p} = Q_{1p} - 60A' = 12054kJ$$

Ví dụ 2: Có 0,08mol khí lí tưởng nguyên tử thực hiện một chu trình như hình vẽ. Từ trạng thái (1) có thể tích 1 lít biến đổi đẳng tích đến trạng thái (2) có áp suất 10 at, sau đó dẫn đoạn nhiệt đến trạng thái (3) có thể tích 3 lít và áp suất ban đầu. Cuối cùng nén đẳng áp về trạng thái ban đầu.

- Tính công sinh ra trong một chu trình.
- Tính hiệu suất của chu trình.

Giải

- Công sinh ra trong một chu trình:

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$$

$A_{12} = 0$ vì quá trình $1 \rightarrow 2$ là quá trình đẳng tích.

Quá trình $2 \rightarrow 3$ là quá trình đoạn nhiệt, nên

$$A_{23} = \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{\gamma - 1} \quad (*)$$

với khí lưỡng nguyên tử

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{5+2}{5} = 1,4$$

V_2, V_3 là thể tích ở trạng thái (2) và (3)

$$V_2 = 1\text{lít} = 10^{-3} m^3$$

$$V_3 = 3\text{lít} = 3 \cdot 10^{-3} m^3$$

P_2, P_3 là áp suất khí ở trạng thái (2) và (3)

$$P_2 = 10\text{at} = 10 \cdot 10^5 N/m^2$$

Ta phải tính P_3

Phương trình của quá trình $2 \rightarrow 3$

$$P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma$$

$$\rightarrow P_3 = P_2 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^\gamma = 10 \cdot \left(\frac{1}{3} \right)^{1,4} = 2,15\text{at} = 2,15 \cdot 10^5 N/m^2$$

Thay vào (*) suy ra

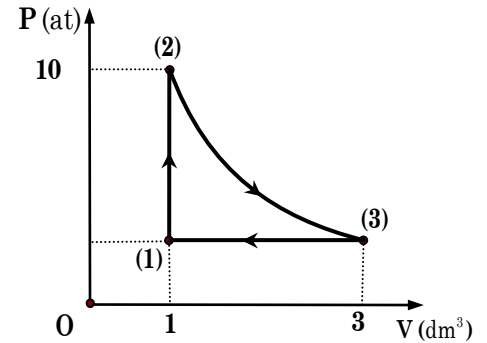
$$A_{23} = \frac{2,15 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{1,4 - 1} = -887 J$$

Quá trình $3 \rightarrow 1$ là quá trình đẳng áp, nên

$$A_{31} = -P_3 (V_1 - V_3) = -2,15 \cdot 10^5 (1 - 3) \cdot 10^{-3} = 430 J$$

$$\text{Vậy } A = 0 - 887 + 430 = -457(J)$$

Công sinh ra trong một chu trình là 457(J).



b. Tính hiệu suất của chu trình

Để tính hiệu suất của chu trình ta dùng công thức

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{A}{Q_{12}}$$

Vì trong chu trình đã cho tác nhân nhận nhiệt trong quá trình $1 \rightarrow 2$.

$$Q_{12} = nC_V(T_2 - T_1)$$

Cần phải tính T_1 và T_2 .

$$P_1 V_1 = nRT_1 \rightarrow T_1 = \frac{P_1 V_1}{nR} = \frac{P_3 V_1}{nR}$$

$$T_1 = \frac{2,15 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 10^3} = 323,4 K$$

Phương trình của quá trình đẳng tích $1 \rightarrow 2$:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{P_2}{P_1} T_1$$

$$T_2 = \frac{10}{2,15} \cdot 323,4 = 1500,2 K$$

$$n = 0,08 mol = 0,08 \cdot 10^{-3} kmol$$

$$C_V = \frac{i}{2} R = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot 10^3 J / kmol \cdot K$$

Do đó

$$Q_{12} = 0,08 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (1500,2 - 323,4) = 1962,4 J$$

Vậy hiệu suất của động cơ bằng

$$\eta = \frac{A}{Q_{12}} \approx \frac{457}{1962} = 23\%$$

Ví dụ 3: Tính độ biến thiên entropi khi hơi nóng đẳng áp 10g khí hydro để thể tích tăng gấp 2 lần.

Giải

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

trong đó $\delta Q = nC_P dT$

$$\text{với } n = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{2} = 5 \cdot 10^{-3} kmol$$

$$C_P = C_V + R = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R = \frac{5+2}{2} \cdot 8,31 \cdot 10^3 = \frac{7}{2} \cdot 8,31 \cdot 10^3$$

Tính ΔS

$$\Delta S = nC_P \int_{(1)}^{(2)} \frac{dT}{T} = nC_P \ln \frac{T_2}{T_1}$$

phương trình đẳng áp

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 2$$

do đó

$$\Delta S = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7}{2} 8,31 \cdot 10^3 \ln 2 = 100,8 J/K$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

Bài 1. Một động cơ nhiệt lí tưởng làm việc theo chu trình Căcnô, khi đó 80% nhiệt lượng thu được của nguồn nóng nhả cho nguồn lạnh. Biết nhiệt lượng thu được của nguồn nóng trong một chu trình là 1,5kcal.

- Tính hiệu suất của chu trình Căcnô trên.
- Công mà động cơ sinh ra trong một chu trình.

Đáp số: a. $\eta = 20\%$; b. $A' = 12,54 kJ$

Bài 2: Một khối khí lí tưởng lưỡng nguyên tử thực hiện một chu trình Căcnô. Biết rằng khí nén đoạn nhiệt, công tiêu tốn trên 1 kmol bằng $2 \cdot 10^6 J$ và nhiệt độ nguồn nóng là $127^\circ C$. Hãy tính hiệu suất của chu trình.

Đáp số: $\eta = 24\%$

Bài 3. Có 1 kmol không khí thực hiện một chu trình Căcnô có nhiệt độ nguồn nóng $327^\circ C$ và nhiệt độ nguồn lạnh $27^\circ C$. Biết tỉ số giữa áp suất lớn nhất và áp suất nhỏ nhất của chu trình bằng 20. Tính:

- Hiệu suất của chu trình.
- Nhiệt lượng nhận được của nguồn nóng sau một chu trình.
- Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.
- Công mà khối khí sinh ra trong một chu trình.

Đáp số: a. $\eta = 50\%$; b. $Q_1 = 2,8 \cdot 10^6 J$

c. $Q_2' = (1 - \eta)Q_1 = 1,4 \cdot 10^6 J$

d. $A' = \eta Q_1 = 1,4 \cdot 10^6 J$

Bài 4. Một động cơ nhiệt lí tưởng chạy theo chu trình Căcnô có nguồn nóng ở nhiệt độ $117^\circ C$ và nguồn lạnh ở $27^\circ C$. Máy nhận của nguồn nóng $63000 cal/s$. Tính:

- Hiệu suất của máy.
- Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh trong một giây.
- Công suất của máy.

Đáp số: a. $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 0,25 = 25\%$

$$b. Q' = (1 - \eta)Q_1 = 47250 \text{ cal/s}$$

$$d. P = \frac{A'}{t} = \frac{Q_1 - Q_2}{t} = 65835 \text{ W}$$

Bài 5. Một kilomol khí lí tưởng lưỡng nguyên tử thực hiện một chu trình sinh công gồm 2 quá trình đẳng tích và 2 quá trình đẳng áp. Khi đó thể tích của khí thay đổi từ $V_1 = 0,5 \text{ m}^3$ đến $V_2 = 1 \text{ m}^3$ và áp suất từ $P_1 = 1 \text{ at}$ đến $P_2 = 2 \text{ at}$.

- Hãy vẽ đồ thị của chu trình.
- Tính công do khối khí sinh ra trong một chu trình.
- Tính hiệu suất của chu trình.

Đáp số: b. $A' = 49 \text{ kJ}$; b. $\eta = 10,5\%$

Bài 6. Một chất khí lí tưởng lưỡng nguyên tử thực hiện một chu trình gồm hai quá trình đẳng tích và hai quá trình đoạn nhiệt. Biết rằng tại các giới hạn của chu trình thể tích khí thay đổi 10 lần. Tìm hiệu suất của chu trình.

Đáp số: b. $\eta = 1 - n^{1-\gamma} = 60\%$

Bài 7. Tính độ biến thiên entropi của 1 mol khí cacbon khi nhiệt độ tuyệt đối của khí tăng gấp 2 lần, nếu quá trình nung nóng đó là:

- Đẳng tích.
- Đẳng áp.

Đáp số: a. $\Delta S_1 = 19 \text{ J/K}$; b. $\Delta S_2 = 25 \text{ J/K}$

Bài 8. Tính độ biến thiên entropi khi giãn nở 28g khí nitơ từ thể tích 1,5lít đến thể tích 4,5lít, nếu quá trình giãn nở đó là:

- Đẳng áp.
- Đẳng nhiệt.

Đáp số: a. $\Delta S_1 = 31 \text{ J/K}$; b. $\Delta S_2 = 9,1 \text{ J/K}$

