

5.3. NGUYÊN LÝ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC - KHÁI NIỆM ENTROPY

5.3.1. Những hạn chế của nguyên lý một nhiệt động học

• Nguyên lý một nghiên cứu định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng. Tất cả các quá trình vĩ mô trong tự nhiên đều tuân theo nguyên lý một. Tuy nhiên có một số quá trình vĩ mô phù hợp với nguyên lý một có thể vẫn không xảy ra trong thực tế như:

- ✓ Một hệ cô lập gồm hai vật có nhiệt độ khác nhau. Khi đặt hai vật tiếp xúc với nhau thì chúng sẽ trao đổi nhiệt với nhau. Vật nào truyền nhiệt, vật nào thu nhiệt cũng đều thoả mãn nguyên lý một nhưng trong thực tế chỉ có vật nóng toả nhiệt còn vật lạnh thu nhiệt.
- ✓ Một hòn đá có khối lượng m được nâng lên độ cao Z trong **chân không**, thế năng của nó là mgZ . Nếu nó rơi xuống đất thế năng giảm dần còn động năng tăng dần. Tại đất động năng của nó đạt giá trị mgZ . Sau va chạm động năng này biến đi làm đất nóng lên thoả mãn nguyên lý một, nhưng hình dung ngược lại hòn đá đang nằm trên mặt đất và trở lại độ cao Z không vi phạm nguyên lý một nhưng trong thực tế lại không xảy ra.
- ✓ Theo nguyên lý một công và nhiệt là tương đương và có thể chuyển hoá lẫn nhau, trong khi thực tế công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt mà ngược lại nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công được .
- ✓ - Nguyên lý một cũng không đề cập đến chất lượng của nhiệt trong khi thực tế lấy nhiệt ở nguồn có nhiệt độ cao có chất lượng tốt hơn lấy nhiệt ở nguồn có nhiệt độ thấp.

Như vậy: Nguyên lý một không cho ta biết chiều diễn biến của các quá trình trong tự nhiên.

5.3.2. Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

Trạng thái cân bằng: Là trạng thái không biến đổi theo thời gian và tính bất biến đó không phụ thuộc các quá trình của ngoại vật.

Quá trình cân bằng: Là một quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng.

5.3.3. Quá trình thuận nghịch và bất thuận nghịch

Quá trình thuận nghịch: Một quá trình biến đổi hệ từ trạng thái A sang trạng thái B được gọi là thuận nghịch khi hệ đó có thể tiến hành theo chiều ngược lại, và trong quá trình ngược đó, hệ sẽ đi qua các trạng thái trung gian như quá trình thuận.

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

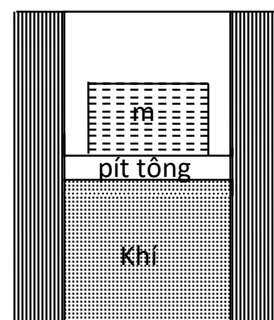
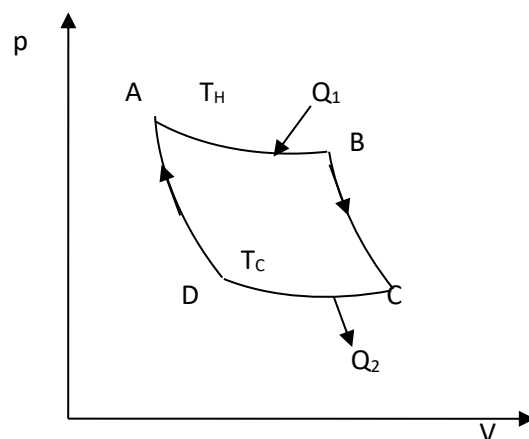
Ta có thể thấy quá trình thuận nghịch là quá trình lí tưởng và trong thực tế chỉ có các quá trình bất thuận nghịch. Trong quá trình bất thuận nghịch trong hai chiều diễn biến của một quá trình vĩ mô, chỉ có một chiều quá trình xảy ra một cách tự phát mà không cần tác dụng bên ngoài. Chiều diễn biến tự phát này đảm bảo cho hệ tiến tới trạng thái cân bằng. Và khi hệ đã ở trạng thái cân bằng thì trong hệ không thể tự phát xảy ra quá trình đưa hệ tới những trạng thái không cân bằng.

5.3.4. Độ biến thiên entropy

Đối với quá trình thuận nghịch: Chu trình Carnot

- **Quá trình giãn đẳng nhiệt(1-2):** Bắt đầu với xilanh ở nguồn nhiệt độ cao T_H sao cho hệ là chất khí lí tưởng ở trạng thái được biểu diễn bởi điểm 1 trên hình. Dần dần rút bớt tải trọng m ở pít tông, cho phép hệ giãn chậm tới điểm 2 ở nhiệt độ không đổi T_H . Trong quá trình này nhiệt lượng Q_H được hệ hấp thụ từ nguồn có nhiệt độ cao. Vì là quá trình đẳng nhiệt nên nội năng hệ không đổi và toàn bộ nhiệt lượng hệ hấp thụ được biến thành công dương do hệ thực hiện trong quá trình giãn

$$|Q_H| = nRT_H \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (1)$$



- *Quá trình giãn đoạn nhiệt(2-3):* Đặt xilanh lên giá cách nhiệt, tiếp tục bớt tải trọng khỏi pít tông để hệ tiếp tục giãn tới điểm 3. Hệ thực hiện công dương tiếp tục nâng pít tông lên cao do đó nhiệt độ của hệ giảm xuống T_C vì năng lượng thực hiện công phải lấy từ nội năng của hệ.

$$T_H \cdot V_2^{\gamma-1} = T_C \cdot V_3^{\gamma-1}. \quad (2)$$

- *Quá trình nén đẳng nhiệt(3-4):* Đặt xilanh lên nguồn nhiệt lạnh hơn.

Thêm dần tải trọng cho pít tông, nén khí chậm chạp tới điểm 4 ở nhiệt độ không đổi T_C . Trong quá trình này, nhiệt lượng Q_C được chuyển từ chất khí sang nguồn nhiệt. Vì quá trình nén khí là đẳng nhiệt nên Q_C bằng công âm thực hiện bởi chất khí khi pít tông cùng với tải trọng hạ xuống.

$$|Q_C| = nRT_C \ln \frac{V_3}{V_4}. \quad (3)$$

- *Quá trình nén đoạn nhiệt(4-1):* Đặt xilanh lên giá cách nhiệt, tăng dần tải trọng để nén khí từ từ trở về trạng thái ban đầu. Quá trình nén không có nhiệt ra hay vào hệ

$$T_H \cdot V_1^{\gamma-1} = T_C \cdot V_4^{\gamma-1}. \quad (4)$$

Kết hợp bốn phương trình (1), (2), (3), (4) trên ta có: $\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0. \quad (5)$

Tổng quát hơn giả sử chu trình Carnot gồm vô số các quá trình nén giãn như trên.

Ta có thể suy rộng ra biểu thức: $\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} = 0. \quad (6)$

Nếu chu trình là biến thiên liên tục mỗi quá trình tiếp xúc với nguồn nhiệt là một

quá trình vi phân suy rộng ra biểu thức: $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0. \quad (7)$

Đặt $dS = \frac{dQ}{T}$ trong đó S được gọi là entropy và có đơn vị là J/K.

Vậy độ biến thiên entropy của hệ bằng 0 trong quá trình thuận nghịch.

Đối với quá trình bất thuận nghịch:

Giả sử ta có hai khối kim loại khối lượng m, nhiệt dung riêng c đặt cách nhiệt với nhau trong một hộp cách nhiệt. Hai khối giống nhau về mọi phương diện chỉ trừ một điều là một khối có nhiệt độ cao hơn khối kia. Nếu ta bỏ tấm cách nhiệt giữa hai khối và cho chúng tiếp xúc nhiệt với nhau thì chúng phải đạt đến nhiệt độ chung T. Quá trình này là bất thuận nghịch vì chúng ta hoàn toàn không thể điều khiển được nó khi ta đặt hai khối tiếp xúc nhiệt với nhau.

Để tìm độ biến thiên entropy giữa trạng thái đầu và trạng thái cuối, ta lại phải một lần nữa tìm một quá trình thuận nghịch nối các trạng thái này và tính độ biến thiên entropy cho quá trình đó.

Ta có thể tiến hành một quá trình thuận nghịch bằng cách dùng một nguồn nhiệt độ có nhiệt dung lớn mà nhiệt độ có thể điều khiển được. Thoạt đầu điều chỉnh nhiệt độ của nguồn tới $T + \Delta T$ là nhiệt độ của khối kim loại nóng và đặt cho khối này tiếp xúc nhiệt với nguồn. Sau đó ta hạ rất chậm (thuận nghịch) nhiệt độ của nguồn từ $T + \Delta T$ tới T như thể ta rút nhiệt từ khối nóng. Vì lượng nhiệt thoát ra khỏi khối nên entropy của khối này giảm, và độ biến thiên entropy là:

$$\Delta S_n = \int_{T+\Delta T}^T mcdT = mc \ln \frac{T}{T + \Delta T}. \quad (8)$$

Để tiếp tục quá trình thuận nghịch ta điều chỉnh nguồn nhiệt tới nhiệt độ $T - \Delta T$ là nhiệt độ của khối lạnh và cho khối này tiếp xúc nhiệt với nguồn. Sau đó ta nâng từ từ (thuận nghịch) nhiệt độ của nguồn tới T. Vì nhiệt lượng được thêm vào nên entropy của khối lạnh tăng lên. Ta có:

$$\Delta S_C = mc \ln \frac{T}{T - \Delta T} \quad (9)$$

Cả hai khối bây giờ ở trạng thái cân bằng nhiệt cuối cùng và quá trình thuận nghịch hoàn thành. Độ biến thiên entropy của cả hệ là:

$$mc \ln \frac{T}{T + \Delta T} + mc \ln \frac{T}{T - \Delta T} \text{ hay } mc \ln \frac{T^2}{T^2 - \Delta T^2} > 0. \quad (10)$$

Đại lượng lấy loga trong biểu thức lớn hơn đơn vị do đó loga của nó là dương. Điều này chứng tỏ entropy của hệ tăng trong quá trình bất thuận nghịch.

Tóm lại độ biến thiên entropy trong một quá trình:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \geq 0.$$

Hệ quả:

+ Trong thực tế thì mọi quá trình đều là bất thuận nghịch, và có xu hướng tiến tới trạng thái cân bằng. Khi hệ dừng lại ở trạng thái cân bằng thì entropy không đổi và đạt trị số cực đại.

+ Đối với một hệ cô lập, mọi quá trình diễn ra trong tự nhiên nếu theo chiều diễn biến nào đó có $\Delta S > 0$ thì tự xảy ra được, ngược lại nếu $\Delta S < 0$ thì không tự xảy ra.

5.3.5. Nguyên lý hai nhiệt động học

Trong một hệ cô lập, các quá trình bất thuận nghịch xảy ra trong hệ diễn biến theo chiều sao cho entropy của hệ tăng, còn trong quá trình thuận nghịch entropy của hệ là không đổi.

5.3.6. Các tính chất của entropy.

- Entropy đặc trưng cho mức độ hỗn loạn của hệ phức tạp, đồng thời cũng vẫn đóng vai trò là hàm của trạng thái, phép biểu diễn khác, nhà bác học Boltzmann đã đưa ra hàm số entropy S trong việc mô tả trạng thái.

Biểu thức hàm số entropy S : $S = k \cdot \ln W$. (11)

(k là hằng số Boltzmann, W là xác suất nhiệt động)

- S là một hàm số của trạng thái, nó không phụ thuộc vào quá trình đưa hệ từ trạng thái này qua trạng thái khác. Do vậy ta có thể thay thế việc tính độ biến thiên ΔS của hệ giữa hai trạng thái trong những quá trình bất thuận nghịch bằng việc tính độ biến thiên ΔS của hệ giữa hai trạng thái trong những quá trình thuận nghịch giữa cùng hai trạng thái đó.
- Entropy S là một đại lượng có tính chất cộng. Chứng minh tính chất này như sau:

Từ $S = k \cdot \ln W$ với $W_{\text{hệ}} = W_1 \cdot W_2 \cdot \dots \cdot W_n$,

thay vào : $S = k \cdot \ln W_1 \cdot W_2 \cdot \dots \cdot W_n = k \cdot \ln W_1 + k \cdot \ln W_2 + k \cdot \ln W_3 + \dots + k \cdot \ln W_n$.

Suy ra: $S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n = \sum_{i=1}^n S_i$ (12)

Về mặt định tính công thức độ biến thiên entropy cho ta biết: Nhiệt lượng Q của hệ nhận được sẽ làm tăng mức chuyển động nhiệt các phân tử, trạng thái hỗn loạn tăng lên, entropy của hệ sẽ tăng lên một lượng ΔS tỉ lệ với Q .

Nếu nhiệt độ của hệ cao thì nhiệt lượng Q của hệ nhận được sẽ ít làm thay đổi trạng thái hỗn loạn của hệ, xác suất nhiệt động W sẽ tăng ít, do đó ΔS của hệ nhỏ. Ngược lại nếu nhiệt độ của hệ thấp thì nhiệt lượng Q của hệ nhận được sẽ làm trạng thái hỗn loạn của hệ thay đổi nhiều, xác suất nhiệt động W sẽ tăng nhiều, do đó ΔS của hệ lớn.

Các ví dụ :

Bài 1: Tính độ biến thiên entropi khi hơi nóng đẳng áp 6,5g hiđrô, thể tích khí tăng gấp đôi.

Giải

Độ biến thiên entropy trong quá trình đẳng áp

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

Cả quá trình entropy biến thiên một lượng

$$\Delta S = \int dS = nC_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R \ln \frac{T_2}{T_1}$$

Mặt khác, quá trình đẳng áp nên

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

Với Hidrô $i=5$

$$S = \frac{6,5}{2} \cdot \frac{5+2}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln(2) = 65,52(J/K)$$

Bài 2: Tính độ tăng entropi khi biến đổi 1g nước ở 0°C thành hơi ở 100°C.

Giải

Độ biến thiên entropy khi nước được làm nóng tới 100°C

$$dS = \frac{\delta Q}{T} = \frac{mC dT}{T} \rightarrow \Delta S_1 = \int dS = mC \int \frac{dT}{T} = mC \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$\Delta S_1 = 10^{-3} \cdot 4180 \cdot \ln \left(\frac{100 + 273}{0 + 273} \right) = 1,3(J/K)$$

Độ biến thiên entropy trong quá trình nước hóa hơi ở 100°C

$$\Delta S_2 = \int \frac{\delta Q}{T_2} = \frac{Lm}{T_2} = \frac{2,26 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3}}{373} \approx 6,1(J/K)$$

Độ biến thiên entropy trong cả quá trình

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 \approx 7,4(J/K)$$

Bài 3: Tính độ biến thiên entropi khi giãn đẳng nhiệt 10,5g khí Nitơ từ thể tích 2l tới thể tích 5l.

Giải

Ta có

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{m}{\mu} R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{10,5}{28} \cdot 8,31 \cdot \ln(5/2) \approx 2,9 (\text{J / K})$$

Bài 4: 10g ôxy được đun nóng từ $t_1=50^\circ\text{C}$ tới $t_2=150^\circ\text{C}$. Tính độ biến thiên entropi nếu quá trình đun nóng là:

- a. Đẳng tích; b. đẳng áp.

Giải

- a. Quá trình đẳng tích

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = \int \frac{\delta A + dU}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \int \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = \frac{10}{32} \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln \left(\frac{150+273}{50+273} \right) \approx 1,7 (\text{J / K})$$

- b. Đẳng áp

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{m}{\mu} C_p \int \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$\Delta S = \frac{10}{32} \frac{5+2}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln \left(\frac{150+273}{50+273} \right) \approx 2,4 (\text{J / K})$$

Bài 5: Tính độ biến thiên entropi khi biến đổi 6g khí hydro từ thể tích 20lít, áp suất 1,5at đến thể tích 60lít, áp suất 1at.

Giải

Vì độ biến thiên entropy chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối nên ta có thể chọn cho khí một cách biến đổi bất kỳ mà không ảnh hưởng tới kết quả. Chẳng hạn, cho khí biến đổi đẳng tích tới áp suất 1at, sau đó giãn đẳng áp tới thể tích 60l.

Với quá trình thứ nhất (quá trình đẳng tích):

$$\Delta S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} = nC_v \int \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{m}{\mu} C_v \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

+ Với quá trình thứ hai (quá trình đẳng áp):

$$\Delta S_2 = \int \frac{\delta Q}{T} = nC_p \int \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{m}{\mu} C_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Độ biến thiên entropy của cả quá trình

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{m}{\mu} \left(C_p \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + C_v \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right)$$

$$\Delta S = \frac{6}{2} \left(\frac{5+2}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln\left(\frac{60}{20}\right) + \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln\left(\frac{1}{1,5}\right) \right) \approx 71 \text{ (J / K)}$$

Bài 6: Một kilômol khí lưỡng nguyên tử được đun nóng, nhiệt độ tuyệt đối của nó được tăng lên 1,5 lần. Tính độ biến thiên entropi nếu quá trình đun nóng là:

- a. Đẳng tích; b. Đẳng áp

Giải

a. Quá trình đẳng tích

$$\Delta S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} = nC_v \int \frac{dT}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\Delta S_1 = 10^3 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln(1,5) \approx 8,4 \cdot 10^3 \text{ (J / K)}$$

b. Quá trình đẳng áp

$$\Delta S_2 = \int \frac{\delta Q}{T} = nC_p \int \frac{dT}{T} = nC_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = n \frac{i+2}{2} R \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$\Delta S_2 = 10^3 \cdot \frac{5+2}{2} \cdot 8,31 \cdot \ln(1,5) \approx 11,8 \cdot 10^3 \text{ (J / K)}$$

Bài 7: 22g khí nitơ được đun nóng, nhiệt độ tuyệt đối của nó tăng gấp 2,1 lần và entropi tăng lên 4,19cal/K. Xét xem quá trình đun nóng là đẳng tích hay đẳng áp?

Giải

Giả sử nhiệt dung của quá trình biến đổi là C, khi đó

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = nC \int \frac{dT}{T} = \frac{n}{\mu} C \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

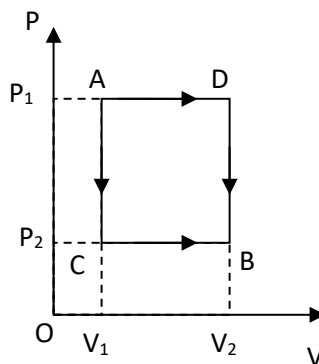
$$\rightarrow C = \frac{\mu \Delta S}{n \ln(T_2 / T_1)} = \frac{28.4,19}{22. \ln(2,1)} \approx 7(\text{cal} / \text{K}) \approx 29(\text{J} / \text{K})$$

Đối với Nitơ

$$C_v = \frac{iR}{2} \approx 21(\text{J} / \text{mol}); C_p = \frac{(i + 2)R}{2} \approx 29(\text{J} / \text{mol})$$

Vậy quá trình hơ nóng là quá trình đẳng áp

Bài 8: Tính độ biến thiên entropi của một chất khí lý tưởng khi trạng thái của nó thay đổi từ A tới B (hình 9-5) theo:



b. Đường ACB

c. Đường ADB

Cho biết: $V_1=3\text{l}$; $p_1=8,31.10^5\text{N/m}^2$; $V_2=4,5\text{l}$; $t_1=27^\circ\text{C}$, $p_2=6.10^5\text{N/m}^2$

Giải

Độ biến thiên entropy không phụ thuộc vào quá trình biến đổi như thế nào, mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối, nên:

$$\Delta S = \Delta S_{AC} + \Delta S_{CB} = nC_v \int_A^C \frac{dT}{T} + nC_p \int_C^B \frac{dT}{T} = nC_v \ln \left(\frac{T_C}{T_A} \right) + nC_p \ln \left(\frac{T_B}{T_C} \right)$$

A - C và C - B đẳng áp nên

$$\frac{T_C}{T_A} = \frac{p_2}{p_1}; \quad \frac{T_B}{T_C} = \frac{V_2}{V_1}$$

Do đó

$$\Delta S = n \frac{i}{2} R \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) + n \frac{i+2}{2} R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{p_1 V_1}{T_1} \left(\frac{i}{2} \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) + \frac{i+2}{2} \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right)$$

$$\Delta S = \frac{8,31 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{(27 + 273)} \left(\frac{6}{2} \ln \left(\frac{6 \cdot 10^5}{8,31 \cdot 10^5} \right) + \frac{6+2}{2} \ln \left(\frac{4,5}{3} \right) \right) \approx 5,4 \text{ (J / K)}$$

Bài 9 : Có hai bình khí, bình thứ nhất có thể tích $V_1=2\text{l}$ chứa khí Nitơ ở áp suất $p_1=1\text{at}$, bình thứ hai có thể tích $V_2=3\text{l}$ 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 entropi của hệ khi hai khí trộn lẫn vào nhau, biết nhiệt độ ban đầu trong hai bình bằng nhau và bằng 27°C .

Giải

Khi giãn nở vào nhau các chất khí không sinh công, nhiệt lại bị cách nên quá trình đạt được trạng thái cuối cùng có nhiệt độ không đổi (lưu ý, đây không phải là quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch). Entropy thay đổi một lượng (tính bằng con đường đẳng nhiệt)

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \int_1 \frac{\delta Q}{T} + \int_2 \frac{\delta Q}{T}$$

Quá trình đẳng nhiệt

$$Q = A = pV \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = \frac{p_1 V_1}{T} \ln \left(\frac{V_1 + V_2}{V_1} \right) + \frac{p_2 V_2}{T} \ln \left(\frac{V_1 + V_2}{V_2} \right)$$

$$\Delta S = \frac{9,8 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{273 + 27} \ln \left(\frac{2+3}{2} \right) + \frac{5,9,8 \cdot 10^4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{273 + 27} \ln \left(\frac{2+3}{3} \right) \approx 3,1 \text{ (J / K)}$$

5.3.7. Ứng dụng nguyên lý thứ hai nhiệt động học

- **Máy nhiệt:** Là máy biến công thành nhiệt, hoặc biến nhiệt thành công.

Trong máy nhiệt có chất vận chuyển nhiệt gọi là tác nhân làm nhiệm vụ trao đổi nhiệt giữa các vật có nhiệt độ khác nhau gọi là các nguồn nhiệt. Các nguồn nhiệt được coi như nguồn có nhiệt độ không thay đổi, sự trao đổi nhiệt giữa các vật không làm thay đổi tới nhiệt độ của nó, nguồn có nhiệt độ cao được gọi là nguồn nóng, nguồn có nhiệt độ thấp được gọi là nguồn lạnh. Quá trình hoạt động của máy nhiệt, tác nhân trong máy nhiệt được vận hành một cách tuần hoàn (hay theo một chu trình).

- **Phân loại:**

+ **Động cơ nhiệt:** Là loại máy biến nhiệt thành công. Nó gồm ba phần là nguồn nóng, nguồn lạnh, chất vận chuyển.

Hiệu suất của động cơ: Cho biết tỉ lệ công đã biến thành nhiệt

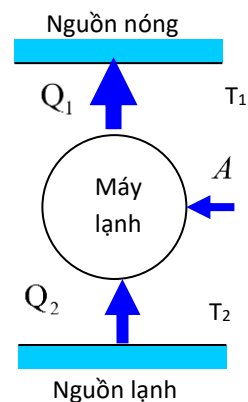
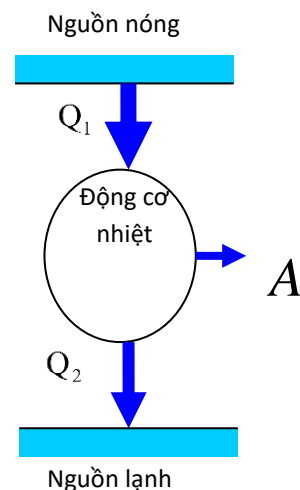
$$\eta = \frac{A}{Q_1}, \text{ trong đó } A \text{ là công sinh ra, } Q_1 \text{ là}$$

nhiệt lượng nguồn nóng toả ra, Q_2 là nhiệt lượng nguồn lạnh thu vào.

Theo nguyên lý thứ nhất: $A = Q_1 - Q_2$,

$$\text{thay vào ta được: } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (13)$$

+ **Máy làm lạnh:** Máy tiêu thụ công để nhận nhiệt từ nguồn lạnh và nhả nhiệt cho nguồn nóng. Nó gồm có nguồn sinh công A và chất vận chuyển. Đối với máy lạnh người ta định nghĩa hệ số làm lạnh:



$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A}, \quad (14)$$

trong đó Q_2 là nhiệt nhận được từ nguồn lạnh, A là công mà chất vận chuyển tiêu thụ.

Hiệu suất của động cơ nhiệt

✓ **Hiệu suất của chu trình thuận nghịch:**

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (15)$$

Vì chu trình là thuận nghịch nên: $\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$.

Vậy hiệu suất của máy có thể viết lại: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$.

Nhận xét: Dù chu trình có là thuận nghịch (lí tưởng) thì hiệu suất của máy vẫn nhỏ hơn 1.

✓ **Hiệu suất của chu trình bất thuận nghịch:**

$$\text{Khi đó } \Delta S < 0. \text{ Ta có: } \frac{Q_1}{T_1} < \frac{Q_2}{T_2} \text{ nên } \frac{Q_2}{Q_1} > \frac{T_2}{T_1}. \quad (16)$$

$$\text{Vậy hiệu suất của máy có thể viết lại: } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (17)$$

$$\text{Tổng quát: } \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (18)$$

Nhận xét: Đối với chu trình bất thuận nghịch hiệu suất nhỏ hơn chu trình thuận nghịch và tất nhiên luôn luôn nhỏ hơn 1.

Các ví dụ

Bài 1: Một máy hơi nước có công suất 14,7kW, tiêu thụ 8,1kg than trong một giờ. Năng suất tỏa nhiệt của than là 7800kcal/kg. Nhiệt độ của nguồn nóng 200°C, nhiệt độ của

nguồn lạnh là 58°C . Tìm hiệu suất thực tế của máy. So sánh hiệu suất đó với hiệu suất lý tưởng của máy nhiệt làm việc theo chu trình Cárnot với những nguồn nhiệt kể trên.

Giải

Hiệu suất thực tế của máy

$$h = \frac{Q_{\text{coich}}}{Q_{\text{toanphan}}} 100\% = \frac{14,7.3600}{8,1.7800.4,18} 100\% \approx 20\%$$

Hiệu suất lý tưởng theo chu trình Cárnot

$$h_{\text{lt}} = \frac{T_n - T_l}{T_n} 100\% = \frac{200 - 58}{200 + 273} 100\% \approx 30\%$$

Hay

$$h = \frac{2}{3} h_{\text{lt}}$$

Bài 2: Các ngoại lực trong máy làm lạnh lý tưởng thực hiện một công bằng bao nhiêu để lấy đi một nhiệt lượng 10^5J từ buồng làm lạnh, nếu nhiệt độ của buồng là 263K , còn nhiệt độ của nước làm lạnh là 285K .

Giải

Hệ số làm lạnh của động cơ

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

Nếu máy chạy theo chu trình Cárnot ngược thì:

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Suy ra

$$\rightarrow A = \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) Q_2 = \left(\frac{285}{263} - 1 \right) 10^5 \approx 8365(\text{J})$$

Bài 3: Một động cơ nhiệt lý tưởng chạy theo chu trình Cánhô, nhả cho nguồn lạnh 80% nhiệt lượng mà nó thu được của nguồn nóng. Nhiệt lượng thu được trong một chu trình là 1,5kcal. Tìm:

- d. Hiệu suất động cơ.
- e. Công mà động cơ sinh ra trong một chu trình

Giải

- a. Hiệu suất của động cơ

$$\eta = \frac{A}{Q_1} 100\% = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) 100\% = (1 - 0,8) 100\% = 20\%$$

- f. Công mà động cơ sinh ra trong một chu trình

$$A = \eta Q_1 = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ kcal} = 12,54 \text{ kJ}$$

Bài 4: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Cánhô, sau mỗi chu trình sinh một công $A = 7,35 \cdot 10^4 \text{ J}$. Nhiệt độ của nguồn nóng là 100°C , nhiệt độ của nguồn lạnh là 0°C . Tìm:

- g. Hiệu suất động cơ.
- h. Nhiệt lượng nhận được của nguồn nóng sau một chu trình.
- i. Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.

Giải

- a. Hiệu suất của động cơ

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) 100\% = \left(1 - \frac{273}{100 + 273}\right) 100\% \approx 26,8\%$$

- b. Nhiệt lượng nhận được của nguồn nóng sau một chu trình

$$Q_1 = A / \eta = 7,35 \cdot 10^4 / 0,268 \approx 27,42 \cdot 10^4 \text{ (J)}$$

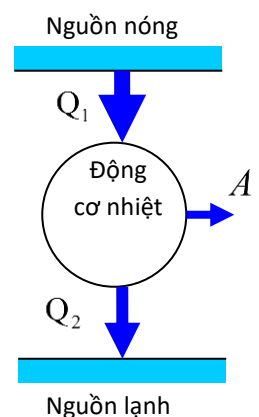
- c. Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.

$$Q_2 = Q_1 - A = 27,42 \cdot 10^4 - 7,35 \cdot 10^4 = 20,07 \cdot 10^4 \text{ (J)}$$

Bài 5: Nhiệt độ của hơi nước từ lò hơi vào máy hơi nước là $t_1 = 227^\circ \text{C}$, nhiệt độ của bình ngưng là $t_2 = 27^\circ \text{C}$. Hơi khi tốn một nhiệt lượng $Q = 1 \text{ kcal}$ thì thu được một công cực đại theo lý thuyết bằng bao nhiêu?

Giải

Công cực đại theo lý thuyết thu được khi động cơ làm việc theo chu trình Cánhô thuận nghịch với hiệu suất lý tưởng



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

Mặt khác

$$\eta = \frac{A}{Q} \rightarrow A = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) Q = \left(1 - \frac{27 + 273}{227 + 273}\right) 1 = 0,4(\text{kcal}) = 1,672(\text{kJ})$$

Bài 6: Một máy làm lạnh làm việc theo chu trình Cacbô nghịch, tiêu thụ công suất 36800W. Nhiệt độ của nguồn lạnh là -10°C , nhiệt độ nguồn nóng là 17°C . Tính:

- Hệ số làm lạnh của máy.
- Nhiệt lượng lấy được của nguồn lạnh trong 1s.
- Nhiệt lượng nhả cho nguồn nóng trong 1 giây.

Giải

- Hệ số làm lạnh của máy

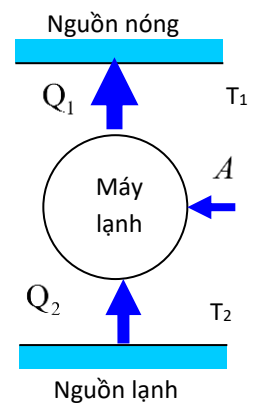
$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{-10 + 273}{17 - (-10)} = 9,74$$

- Nhiệt lượng lấy được của nguồn lạnh trong 1s

$$Q'_2 = \varepsilon A = \varepsilon Pt = 9,74 \cdot 36800 \cdot 1 \approx 3,6 \cdot 10^5 (\text{J}) \approx 86000 \text{cal}$$

- Nhiệt lượng nhả cho nguồn nóng trong 1 giây

$$Q_1 = A + Q'_2 = (\varepsilon + 1)Pt = (9,74 + 1)36800 \cdot 1 \approx 4 \cdot 10^5 \text{J} \approx 9,5 \cdot 10^4 \text{cal}$$



- 9-2.** Khi thực hiện chu trình Cacbô, khí sinh công 8600J và nhả nhiệt 2,5kcal cho nguồn lạnh. Tính hiệu suất của chu trình.

Giải

Hiệu suất của chu trình

$$\eta = \frac{A}{Q_1} 100\% = \frac{A}{A + Q_2} 100\% = \frac{8600}{8600 + 2,5 \cdot 10^3 \cdot 4,18} 100\% \approx 45\%$$

Bài 7: Một máy nhiệt lý tưởng, chạy theo chu trình Cacbô, có nguồn nóng ở nhiệt độ 117°C và nguồn lạnh ở nhiệt độ 27°C . Máy nhận của nguồn nóng là 63000cal/s. Tính:

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

Giải

- Hiệu suất của máy là hiệu suất của chu trình Cárnot

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{27 + 273}{117 + 273} \approx 23\%$$

- Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh trong một giây là Q_2

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \rightarrow Q_2 = \frac{T_2}{T_1} Q_1 = \frac{27 + 273}{117 + 273} 63000 \approx 48000 \text{ cal/s}$$

- Công suất máy là P bằng công máy sinh ra trong một giây

$$P = \frac{A}{\tau} = \frac{Q_1 - Q_2}{\tau} = \frac{63000 - 48000}{1} 4,18 \approx 63 \text{ kW}$$

BÀI TẬP

Bài 1. Một bình khí chứa 14g khí N_2 ở áp suất 1at và nhiệt độ 27°C . Sau khi hơi nóng, áp suất khí trong bình lên tới 5at. Hỏi

- Nhiệt độ của khí sau khi hơi nóng.
- Thể tích của bình.
- Độ tăng nội năng của khí.

Bài 2. 160 gam khí oxy được nung nóng từ nhiệt độ 50°C đến nhiệt độ 60°C . Tìm nhiệt lượng mà khí nhận được và độ biến thiên nội năng của khối khí trong hai quá trình

- Đẳng tích.
- Đẳng áp.

Bài 4. Nén đẳng tích 3 lít không khí ở áp suất 1at. Tìm nhiệt tỏa ra biết rằng thể tích cuối cùng bằng $1/10$ thể tích ban đầu.

Bài 5. Một bình kín thể tích 5 lít đựng 32 gam khí oxy ở nhiệt độ 20°C . Sau khi hơi nóng áp suất khí trong bình lên tới 10^5 mmHg. Tìm nhiệt lượng mà khối khí nhận được, biết rằng bình giãn nở kém.

Bài 2. Tìm nhiệt dung riêng đẳng áp của một chất khí, biết rằng khối lượng của 1kmol khí đó là $\mu=30\text{kg/kmol}$. Hệ số Poisson $\gamma=1,4$.

Bài 6. Một khối khí oxy ở áp suất 3at và thể tích 10 lít, được giãn nở tới thể tích 20 lít. Tìm áp suất cuối cùng và công do khí sinh ra nếu giãn nở đó là

- a. Đẳng áp.
- b. Đẳng nhiệt.
- c. Đoạn nhiệt.

Bài 6. 1kg không khí ở nhiệt độ 30°C và áp suất 1,5at được giãn đoạn nhiệt đến áp suất 1at. Hỏi:

- a. Thể tích của không khí tăng lên mấy lần.
- b. Nhiệt độ không khí sau khi giãn.
- c. Công do khối khí sinh ra sau khi giãn nở.

Bài 7. Tính độ biến thiên entropy khi biến đổi 10 gam nước đá từ nhiệt độ -20°C hoàn toàn thành hơi nước ở 100°C . Biết nhiệt dung riêng của nước đá $C_1=0,5\text{kcal/kg. K}$.

nhiệt nóng chảy của nước đá $\lambda=80\text{kcal/kg}$.

nhiệt hoá hơi của nước $L= 539 \text{ kcal/kg}$.

nhiệt dung riêng của nước $C_2= 1 \text{ kcal/kg. K}$.

Bài 8. Tính độ tăng entropy khi đun nóng 1 gam nước ở nhiệt độ 0°C hoàn toàn thành hơi nước ở 100°C . Cho biết: Nhiệt hoá hơi của nước $L= 539 \text{ kcal/kg}$, nhiệt dung riêng của nước $C = 1 \text{ kcal/kg. K}$.

Bài 9. Tính độ biến thiên entropy khi hơi nóng đẳng áp 2g khí hydro, thể tích khí được tăng gấp 3 lần.

Bài 10. Tính độ biến thiên entropy nếu 32g khí oxy được giãn đẳng nhiệt từ 20°C lên tới 300°C .

Bài 11. Tính độ biến thiên entropy nếu 32g khí oxy được biến đổi từ thể tích 20 lít, áp suất 2at đến thể tích 60 lít và áp suất 1at.

Bài 12. Bỏ 100g nước đá ở 0°C vào 200g nước ở 30°C vào trong một vỏ bình cách nhiệt. Tính độ biến thiên entropy của hệ trong quá trình trao đổi nhiệt. Từ đó suy ra nhiệt chỉ được truyền từ vật nóng sang vật lạnh. Cho biết nhiệt nóng chảy của nước đá $\lambda=80\text{kcal/kg}$ và nhiệt dung riêng của nước $C_2= 1 \text{ kcal/kg. K}$.

Bài 13. Một động cơ nhiệt lý tưởng làm việc theo chu trình Carnot, trong một chu trình thu được của nguồn nóng là 600 cal, nhiệt độ của nguồn nóng $T_1= 400^{\circ}\text{K}$, nhiệt độ của nguồn lạnh $T_2= 300^{\circ}\text{K}$. Tính:

- Công của động cơ sinh ra trong chu trình.
- Nhiệt lượng động cơ nhả cho nguồn lạnh trong một chu trình.

Bài 14. Một máy nhiệt lý tưởng làm việc theo chu trình Carnot có công suất là 736000W. Nhiệt độ của nguồn nóng 100°C , nhiệt độ của nguồn lạnh 0°C . Hãy tính:

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