

Nhiệt động lực học

1

1. Khí lý tưởng

- 1.1. Các đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng.
- 1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng
- 1.3. Thuyết động học phân tử.
- 1.4. Nội năng của khí lý tưởng

2

1.1. Các đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng.

1.1.1. Hệ nhiệt động:

- Hệ nhiệt động là một hệ vật lý bao gồm một số lớn các hạt – các nguyên tử và phân tử - Các hạt này luôn thực hiện chuyển động nhiệt hỗn loạn và trao đổi năng lượng cho nhau khi tương tác.
- Hệ cô lập: hệ không tương tác hoặc trao đổi công hay nhiệt với môi trường ngoài.
- Hệ không trao đổi nhiệt: hệ cô lập nhiệt
- Hệ không trao đổi công: hệ cô lập cơ

3

1.1. Các đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng.

1.1.2. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

- Thông số trạng thái: là các đại lượng vật lý đặc trưng cho tính chất vật lý của hệ, qua đó xác định được trạng thái của hệ. (p,V,T)
- Phương trình trạng thái: Phương trình biểu diễn mối liên hệ giữa các thông số trạng thái với nhau.

$$f(p,V,T) = \text{const}$$

4

1.1. Các đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng.

1.1.3. Áp suất và nhiệt độ

- **Áp suất:** là một đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$p = \frac{F_n}{S}$$

Trong hệ SI đơn vị áp suất là N/m² hoặc Pa. Ngoài ra người ta còn dùng một số đơn vị sau:

$$1 \text{at} = 736 \text{ mmHg} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{Ở điều kiện tiêu chuẩn: } p_0 = 1,01325 \text{at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

5

1.1. Các đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng.

- **Nhiệt độ:** Là đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn phân tử của các vật. (đặc trưng cho mức nóng lạnh của hệ)

Để đo nhiệt độ người ta dùng nhiệt kế và thường sử dụng hai thang nhiệt độ: Thang nhiệt độ bách phân (Cenxiuyt) - t (°C) và thang nhiệt độ tuyệt đối (Kelvin) - T (K).

$$T \text{ (K)} = t \text{ (}^\circ\text{C)} + 273$$

6

1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

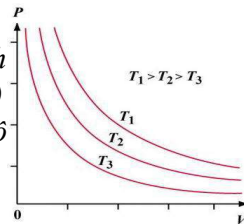
1.2.1. Các định luật thực nghiệm về chất khí

a. Định luật Bôilơ-Mariot

Bôilơ (1669) và Mariot (1676) đã nghiên cứu quá trình đẳng nhiệt của các chất khí, đã tìm ra những định luật như sau:

“Với một khối khí xác định, khi tích và áp suất của khối khí là một hằng số (T=const) thì tích và áp suất của khối khí là một hằng số”

$$p \cdot V = \text{const}$$



7

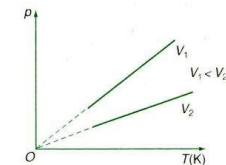
1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

b. Các định luật Gay-Luysac

Năm 1800, Gay-Luysac nghiên cứu quá trình đẳng tích và đẳng tích và tìm ra các định luật sau:

“Với một khối khí xác định, khi giữ cho thể tích V của khối khí không đổi (V=const) thì áp suất của khối khí tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối”

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$



8

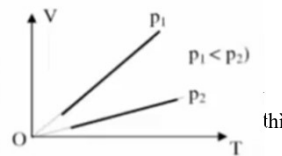
1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

b. Các định luật Gay-Luycac

“Với một khối khí xác định, khi giữ cho áp suất của khối khí không đổi ($p = \text{const}$) thì thể tích của khối khí tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối”

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

* Điều kiện áp dụng các định luật: Các định luật chỉ đúng khi chất khí ở nhiệt độ và áp suất thí nghiệm. Khi áp suất khối khí quá lớn hay các chất khí không tuân theo định luật đó nữa:



9

1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

1.2.2. Khí lý tưởng: là khí tuân theo hoàn toàn chính xác các định luật thực nghiệm về chất khí

Một chất khí được coi là lý tưởng nếu bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử và kích thước của chúng.

10

1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

1.2.3. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng.

Đối với một khối khí có khối lượng m:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

* Giá trị của hằng số R:

Nếu thể tích đo bằng m^3 và áp suất đo bằng N/m^2 thì: $R = 8,31 \text{ J/mol.K}$

11

1.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

- Khối lượng riêng của khí lý tưởng

$$\rho = \frac{\mu p}{RT}$$

12

1.3. Thuyết động học phân tử.

a. Cơ sở thực nghiệm

Cấu tạo phân tử của các chất.

Chuyển động phân tử.

b. Nội dung của thuyết động học phân tử:

- * Các chất cấu tạo gián đoạn và gồm một số rất lớn các phân tử.
- * Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng. Cường độ chuyển động phân tử biểu hiện nhiệt độ của hệ.
- * Kích thước của phân tử rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng.
- * Các phân tử không tương tác với nhau trừ lúc va chạm. Sự va chạm giữa các phân tử và giữa các phân tử với thành bình tuân theo những định luật va chạm đàn hồi của cơ học Newton.

13

1.3. Thuyết động học phân tử.

c. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử.

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W_d}$$

- Hệ quả:

* Động năng tịnh tiến trung bình và ý nghĩa của T: $\overline{W_d} = \frac{3}{2} kT$

* Vận tốc căn quân phương: $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$

* Mật độ phân tử: $n_0 = \frac{p}{kT}$

14

1.4. Nội năng của khí lý tưởng

1.4.1. Định nghĩa nội năng: là phần năng lượng tương ứng với các vận động bên trong của hệ. Bao gồm tổng động năng của phân tử và thế năng tương tác giữa các phân tử.

Nội năng của khí lý tưởng bằng tổng động năng của các phân tử.

1.4.2. Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do

- Bậc tự do:

+ bậc tự do của một vật là số tọa độ độc lập cần thiết để xác định vị trí của vật trong không gian.

15

1.4. Nội năng của khí lý tưởng

+ Bậc tự do của:

Phân tử đơn nguyên tử: $i=3$

Phân tử hai nguyên tử: $i=5$

Phân tử ba hay nhiều nguyên tử: $i=6$

+ Ý nghĩa của bậc tự do: Bậc tự do đặc trưng cho mức độ phức tạp của chuyển động của các phân tử.

- Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do: Động năng trung bình của phân tử phân bố đều cho các bậc tự do của phân tử.

16

1.4. Nội năng của khí lý tưởng

- Biểu thức nội năng của khí lý tưởng:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{iRT}{2}$$

- Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR\Delta T}{2}$$

17

2. Khái niệm năng lượng - Công và nhiệt

2.1. Năng lượng:

Năng lượng của hệ là một đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất.

Trong nhiệt động lực học ta giả thiết hệ không chuyển động và không đặt trong trường lực nào, do đó năng lượng của hệ đúng bằng nội năng của hệ.

18

2. Khái niệm năng lượng - Công và nhiệt

2.2. Công và nhiệt

Công là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động có hướng của toàn bộ hệ.

Nhiệt cũng là đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng nhưng thông qua chuyển động hỗn loạn của các phân tử.

Công và nhiệt là những đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng. Công và nhiệt không phải là hàm của trạng thái mà là hàm của quá trình.

19

3. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

3.1. Phát biểu

"Độ biến thiên nội năng của hệ nhiệt động trong một quá trình biến đổi có giá trị bằng tổng công A và nhiệt lượng Q mà hệ nhận được trong quá trình đó"

$$\Delta U = A + Q$$

Nếu $A > 0$ và $Q > 0$ thì $\Delta U > 0$.

Nếu $A < 0$ và $Q < 0$ thì $\Delta U < 0$.

Nếu $A = Q = 0$ thì $\Delta U = 0$, $U_1 = U_2$.

$A' = -A$ và $Q' = -Q$ là công và nhiệt mà hệ sinh ra.

Đối với quá trình biến đổi vô cùng nhỏ: $dU = \delta A + \delta Q$

20

3. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

3.2. Hệ quả

a) Nếu hệ cô lập: $A=Q=0$ thì $\Delta U = U_2 - U_1 = A + Q = 0 \Rightarrow U_1 = U_2$. Nghĩa là nội năng của hệ cô lập được bảo toàn

Giả sử có hệ cô lập gồm 2 vật chỉ trao đổi nhiệt: Ta có $Q = Q_1 + Q_2 = 0$ hay $Q_1 = -Q_2 = Q'_2$ nghĩa là:

Vậy: Trong một hệ cô lập gồm 2 vật trao đổi nhiệt, nhiệt lượng do vật này sinh ra bằng nhiệt lượng do vật kia thu vào.

21

3. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

b) Giả sử hệ thực hiện một quá trình kín. Trong quá trình đó $U_1 = U_2$, vậy theo nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học ta có

$$A + Q = \Delta U = U_2 - U_1 = 0$$

$$\text{hay } A = -Q = Q'$$

Như vậy, trong một chu trình, công mà hệ nhận được có giá trị bằng nhiệt do hệ tỏa ra bên ngoài hay công do hệ sinh ra có giá trị bằng nhiệt mà hệ nhận vào từ bên ngoài.

22

3. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

Ý nghĩa của nguyên lý I:

Nguyên lý I là sự tổng quát hóa của định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng.

Nguyên lý I khẳng định không thể chế tạo động cơ vĩnh cửu loại một.

23

4. Ứng dụng Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

- 4.1. Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng
- 4.2. Công và nhiệt trong quá trình cân bằng
- 4.3. Khảo sát các quá trình cân bằng

24

4.1. Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

- Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái trong đó mọi thông số của hệ được hoàn toàn xác định và không thay đổi theo thời gian.
- Quá trình cân bằng là một quá trình biến đổi gồm một dãy liên tiếp các trạng thái cân bằng.

25

4.2. Công và nhiệt trong quá trình cân bằng

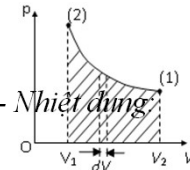
4.2.1. Công trong quá trình cân bằng:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} -pdV$$

4.2.2. Nhiệt trong quá trình cân bằng - Nhiệt dung:

$$\delta Q = m.c.dT$$

$$c = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}$$



Nhiệt dung riêng c của một chất là một đại lượng vật lý, về trị số bằng nhiệt lượng cần thiết cung cấp cho một đơn vị khối lượng để nhiệt độ của nó tăng thêm một độ.

Đơn vị của c : J/kg.K

26

4.3. Khảo sát các quá trình cân bằng

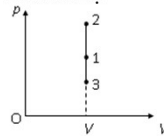
a) Quá trình đẳng tích

Đó là quá trình biến đổi trong đó thể tích của hệ không đổi. $V = \text{const}$

Công mà hệ nhận được: $A=0$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR\Delta T}{2}$$



Nhiệt lượng khối khí nhận được: $Q = \Delta U - A = \Delta U$

27

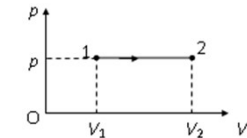
4.3. Khảo sát các quá trình cân bằng

b) Quá trình đẳng áp:

Đó là quá trình trong đó áp suất của khối khí không đổi ($p = \text{const}$).

* Công khối khí nhận được:

$$A = p \int_{V_1}^{V_2} -dV = -p(V_2 - V_1)$$



* Độ biến thiên nội năng: $\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR\Delta T}{2}$

* Nhiệt khối khí nhận được: $Q = \Delta U - A$

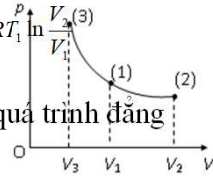
28

4.3. Khảo sát các quá trình cân bằng

c) *Quá trình đẳng nhiệt:*

- Công khối khí nhận được: $A = -\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$
- Độ biến thiên nội năng: $\Delta U = 0$
- * Nhiệt khối khí nhận được trong quá trình đẳng nhiệt:

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



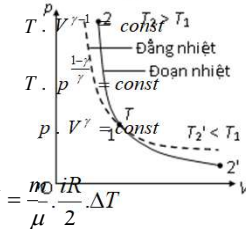
29

4.3. Khảo sát các quá trình cân bằng

d) *Quá trình đoạn nhiệt:*

Đó là quá trình biến đổi trong đó hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài $Q=0$.

* Phương trình của quá trình:



* Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{iR}{2} \cdot \Delta T$$

* Công mà hệ nhận được:

$$A = \Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{iR}{2} \cdot \Delta T = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$$

30

5. Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

- Nguyên lý thứ nhất chưa chỉ rõ chiều hướng diễn biến của một quá trình tự nhiên.
- Theo nguyên lý I công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt và nhiệt có thể biến hoàn toàn thành công, điều này không hẳn đúng trong thực tế.

31

6. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

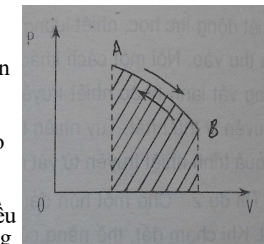
1. *Quá trình thuận nghịch:*

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

Tính chất:

- Quá trình thuận nghịch là một quá trình cân bằng.
- Công và nhiệt mà hệ nhận trong quá trình nghịch bằng công và nhiệt mà hệ cung cấp cho bên ngoài trong quá trình thuận

Kết quả: Đối với quá trình thuận nghịch, sau khi tiến hành theo chiều thuận và theo chiều nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì xung quanh không xảy ra bất kỳ biến đổi nào.



32

6. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

2. Quá trình không thuận nghịch.

- *Định nghĩa*: qtktn là quá trình khi tiến hành theo chiều ngược hệ không đi qua các trạng thái trung gian như quá trình thuận.
- *Tính chất*: công và nhiệt mà hệ nhận trong quá trình nghịch không bằng công và nhiệt mà hệ cung cấp cho bên ngoài trong quá trình thuận.
- *Kết quả*: Đối với quá trình không thuận nghịch, sau khi tiến hành theo chiều thuận và theo chiều nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì xung quanh bị biến đổi.

33

6. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

3. Ví dụ về quá trình thuận nghịch:

- Dao động không ma sát của con lắc có nhiệt độ bằng nhiệt độ bên ngoài.
- Quá trình dẫn khí đoạn nhiệt vô cùng chậm.

34

6. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

4. Ví dụ về quá trình không thuận nghịch:

- Các quá trình có ma sát.
- Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh.
- Quá trình dẫn khí trong chân không.

35

7. Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

1. Động cơ nhiệt

- Động cơ nhiệt là một máy biến nhiệt thành công.
- Ví dụ: động cơ đốt trong, máy hơi nước.
- Thông thường động cơ nhiệt hoạt động với hai nguồn nhiệt (nguồn nóng và nguồn lạnh) và tác nhân (chất vận chuyển: hơi nước, khí, ...).

36

7. Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

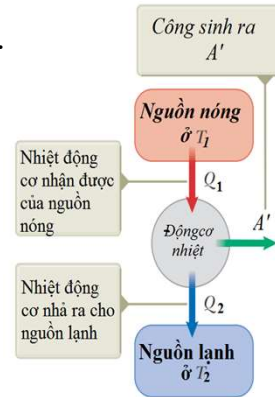
Hiệu suất của động cơ nhiệt.

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

Mà $\Delta U = -A' + Q_1 - Q_2' = 0$

Suy ra: $A' = Q_1 - Q_2'$

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



37

7. Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

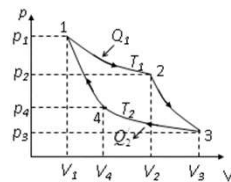
2. Phát biểu nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học.

- Phát biểu của Clausius: Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn.
- Phát biểu của Thompson: Một động cơ nhiệt không thể sinh công nếu nó chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt duy nhất. (Không thể chế tạo động cơ vĩnh cửu loại hai).

38

8. Chu trình Carnot

- Chu trình Carnot thuận nghịch.
 - Quá trình giãn đẳng nhiệt 1-2.
 - Quá trình giãn đoạn nhiệt 2-3.
 - Quá trình nén đẳng nhiệt 3-4.
 - Quá trình nén đoạn nhiệt 4-1.



39

8. Chu trình Carnot

2. Hiệu suất của chu trình Carnot

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

Kết luận: hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch với tác nhân là khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng và nguồn lạnh.

40

8. Chu trình Carnot

3. Định lý Carnot.

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

41

8. Chu trình Carnot

- Hiệu suất cực đại của động cơ nhiệt.

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

- Kết luận:
 - Hiệu suất cực đại luôn nhỏ hơn 1.
 - Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.
 - Phương hướng nâng cao hiệu suất của động cơ nhiệt: tăng nhiệt độ nguồn nóng, hạ nhiệt độ nguồn lạnh, chế tạo động cơ càng gần thuận nghịch càng tốt.
 - Chất lượng của nhiệt: nhiệt lượng lấy ở nhiệt độ cao có chất lượng cao hơn nhiệt lượng lấy ở nhiệt độ thấp.

42

9. Biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

1. Đối với chu trình Carnot hai nguồn nhiệt

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

2. Đối với chu trình nhiều nguồn:

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

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

Tích phân Clausius đối với mọi chu trình không thể lớn hơn không.

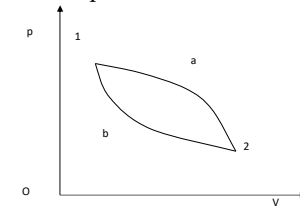
43

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

1. Tính chất của tích phân Clausius theo quá trình thuận nghịch. Hàm entropi

- Ta có: $\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0$

- Suy ra: $\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = - \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}$



- Kết luận: “Nhiệt thu gọn của một quá trình thuận nghịch diễn biến giữa hai trạng thái không phụ thuộc vào quá trình diễn biến mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối”.

44

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

* Hàm entropi:

- Định nghĩa: “Hiệu Entropy giữa hai trạng thái vĩ mô có giá trị bằng nhiệt thu gọn của một quá trình thuận nghịch giữa hai trạng thái đó”.

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

- Tính chất:

+ Giá trị của Entropi của một trạng thái phụ thuộc vào việc chọn mốc tính Entropi.

+ Khi đã chọn gốc, Entropi của hệ ở một trạng thái nào đó có giá trị hoàn toàn xác định.

+ Entropi là đại lượng có tính chất cộng được.

- Đơn vị: J/K

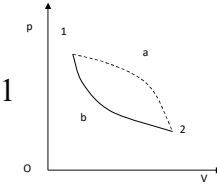
45

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

2. Nguyên lý tăng Entropi

Xét quá trình gồm 1a2 là quá trình không thuận nghịch và 2b1 là quá trình thuận nghịch.

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



Vì quá trình 2b1 là thuận nghịch, nên:

$$\text{Suy ra: } \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = S_1 - S_2$$

46

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

• Nếu hệ cô lập về nhiệt thì $\delta Q=0$ nên: $S_2 - S_1 > 0$ hay $S_2 > S_1$.

• Nguyên lý tăng entropi:

“Trong một hệ cô lập, các quá trình thực xảy ra theo chiều tăng của Entropy”.

47

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

3. Tính độ biến thiên entropi của khí lý tưởng.

- Quá trình đoạn nhiệt: $\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = 0$

- Quá trình đẳng nhiệt: $\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int_{(1)}^{(2)} \delta Q = \frac{Q}{T}$

- Quá trình bất kỳ: $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}$

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

48

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

- Vậy với quá trình đẳng áp:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}$$

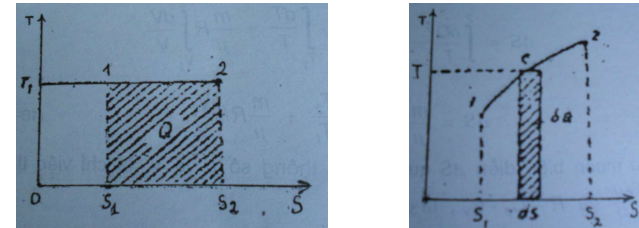
- Với quá trình đẳng tích:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1}$$

49

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

- Đồ thị entropi và phép tính nhiệt lượng.



50

10. Hàm entropi và nguyên lý tăng entropi

- Ý nghĩa của entropi và nguyên lý thứ hai.

Theo quan điểm của nhiệt động lực học, thì entropi đặc trưng cho mức độ hỗn loạn của các phân tử trong hệ.

51