

CHƯƠNG 7. NGUYÊN LÝ II CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Giảng viên: Nguyễn Đức Cường

Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

Email: cuonghd93@gmail.com

Ngày 9 tháng 12 năm 2022

NỘI DUNG

- 1 NHỮNG HẠN CHẾ CỦA NGUYÊN LÝ I
- 2 QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH VÀ KHÔNG THUẬN NGHỊCH
- 3 NGUYÊN LÝ II CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC
- 4 CHU TRÌNH CARNOT VÀ ĐỊNH LÝ CARNOT
- 5 CHU TRÌNH OTTO VÀ ĐỘNG CƠ ĐỐT TRONG
- 6 ENTROPY

7.1. Những hạn chế của nguyên lý I

- Tất cả các quá trình vĩ mô trong tự nhiên đều phải tuân theo nguyên lý I. Ngược lại, một số quá trình vĩ mô phù hợp với nguyên lý I vẫn không thể xảy ra trong thực tế. Trong một hệ cô lập, sự truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh hay ngược lại đều không vi phạm nguyên lý I. Tuy nhiên, trong thực tế, trong hệ đó, quá trình truyền nhiệt từ vật lạnh sang vật nóng không thể xảy ra.
 - Viên đá (lạnh) và cốc nước: nước không thể tự ấm lên, viên nước đá không thể tự hình thành trong cốc.
 - Rơi tự do: Mặt đất không thể tự ngועi đi, truyền nhiệt cho viên bi dưới dạng động năng để nó có thể nhảy bật lên cao. . .
- Nguyên lý thứ I không cho biết chiều diễn biến của quá trình thực tế xảy ra.
- Theo nguyên lý I, công và nhiệt tương đương nhau và có thể chuyển hóa lẫn nhau. Tuy nhiên, thực tế chỉ rõ rằng công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt, nhưng nhiệt chỉ có thể biến một phần thành công.
- Nguyên lý I không đề cập đến chất lượng của nhiệt. Trong thực tế, nhiệt lượng Q lấy ở môi trường có nhiệt độ cao hơn thì có chất lượng cao hơn nhiệt lượng đó lấy ở môi trường có nhiệt độ thấp hơn.

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

7.2.1. Định nghĩa

- **Quá trình thuận nghịch** là quá trình biến đổi của hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 và ngược lại từ trạng thái 2 sang trạng thái 1 qua tất cả các trạng thái trung gian mà quá trình thuận đã đi qua.
- Trên giản đồ trạng thái, đồ thị của quá trình thuận và đồ thị của quá trình nghịch sẽ trùng nhau.
- Công và nhiệt hệ nhận được trong quá trình nghịch bằng công và nhiệt hệ cấp cho bên ngoài trong quá trình thuận.
- Quá trình thuận nghịch là quá trình cân bằng.
→ *Đối với quá trình thuận nghịch, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh không xảy ra một biến đổi nào.*
- Ví dụ: Con lắc dao động không ma sát, quá trình nén hoặc giãn khí vô cùng chậm trong một xi-lanh đặt trong vỏ cách nhiệt.

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

7.2.1. Định nghĩa

- Trong thực tế không có quá trình thuận nghịch lý tưởng.
- **Quá trình không thuận nghịch** là quá trình mà khi tiến hành theo chiều nghịch, hệ không qua đầy đủ các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận.
- Công và nhiệt hệ nhận được từ bên ngoài trong quá trình nghịch không bằng công và nhiệt hệ cấp cho bên ngoài trong quá trình thuận.
→ *Đối với quá trình không thuận nghịch, sau khi hệ thực hiện quá trình thuận và nghịch đưa hệ trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh bị biến đổi.*
- Ví dụ: các quá trình xảy ra có ma sát, quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh.

7.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

7.2.2. Ý nghĩa

- Chiều diễn biến tự nhiên như thế nào?

Chiều biến đổi của các quá trình tự nhiên là tiến tới trạng thái cân bằng. Khi hệ đã ở trạng thái cân bằng thì không thể tự phát xảy ra quá trình đưa hệ tới trạng thái không cân bằng.

- Các quá trình thuận nghịch rất quan trọng trong kỹ thuật chế tạo máy để nó hoạt động theo các quá trình càng gần với quá trình thuận nghịch sẽ có hiệu suất càng cao.

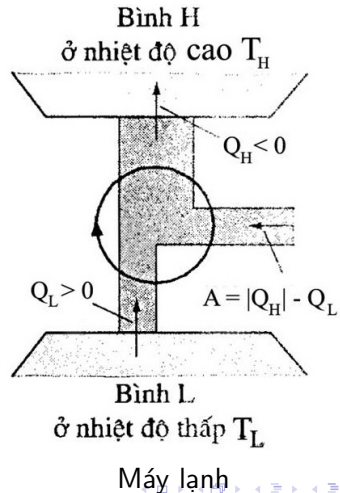
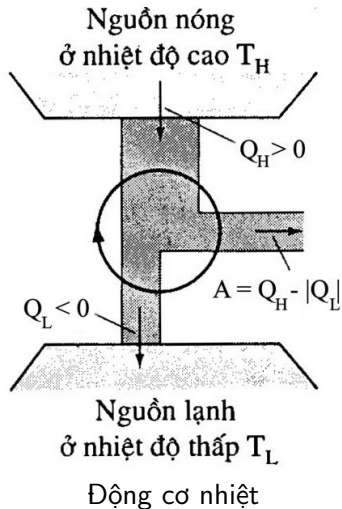
7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.1. Máy nhiệt

- Thiết bị hoạt động tuần hoàn có chức năng biến nhiệt thành công hoặc ngược lại gọi là máy nhiệt.
- Cấu tạo của máy nhiệt gồm 2 bộ phận chính:
 - Tác nhân: Chất vận chuyển làm nhiệm vụ biến đổi nhiệt thành công và ngược lại.
 - Nguồn nhiệt: Việc trao đổi nhiệt xảy ra với các vật có nhiệt độ khác nhau gọi là các nguồn nhiệt (nguồn nóng T_H và nguồn lạnh T_L)
- Có hai loại máy nhiệt là động cơ nhiệt và máy lạnh.

7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.1. Máy nhiệt



7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.2. Động cơ nhiệt và cách phát biểu nguyên lý II của Kelvin-Planck

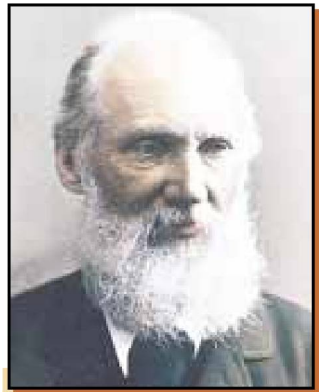
- Hiệu suất của động cơ:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} = 1 - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

- Phát biểu của Kelvin-Planck:

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

Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại 2 (tức là động cơ có hiệu suất 100%)



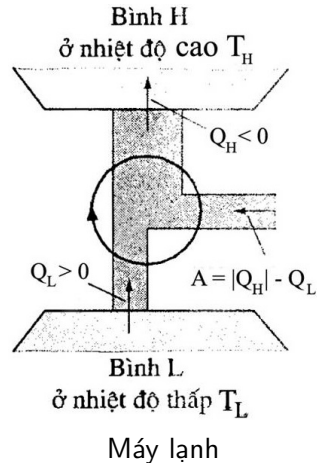
**Kelvin William
Thomson (1824-1907)**

7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.3. Máy lạnh và cách phát biểu nguyên lý II của Clausius

- Loại máy nhiệt tiêu thụ công để rút nhiệt bên trong nó nhằm đạt được hoặc giữ được nhiệt độ thấp hơn ở bên trong (ví dụ: tủ lạnh, điều hòa, v.v).
- Q_L là nhiệt lượng tác nhân lấy đi từ nguồn lạnh ($Q_L > 0$).
- Q_H là nhiệt lượng tác nhân nhận được từ nguồn nóng (trong thực tế tác nhân **xả nhiệt** cho nguồn nóng nên $Q_H < 0$).
- Công máy lạnh tiêu thụ:

$$A = |Q_H| - Q_L$$



7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.3. Máy lạnh và cách phát biểu nguyên lý II của Clausius

- Hệ số làm lạnh:

$$K = \frac{Q_L}{A}$$

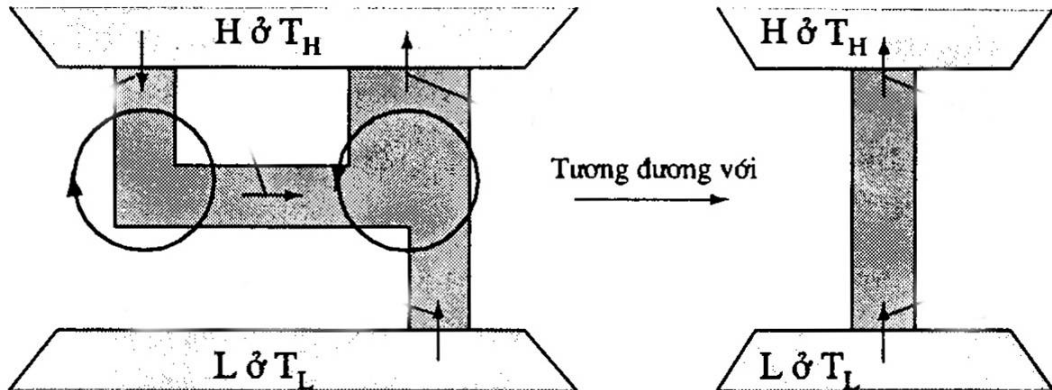
- Hệ số làm lạnh có thể lớn hơn 1 nhưng không vô hạn.

- Phát biểu của Clausius:

→ *Không thể có quá trình mà kết quả cuối cùng duy nhất là truyền nhiệt từ vật có nhiệt độ thấp hơn sang vật có nhiệt độ cao hơn.*

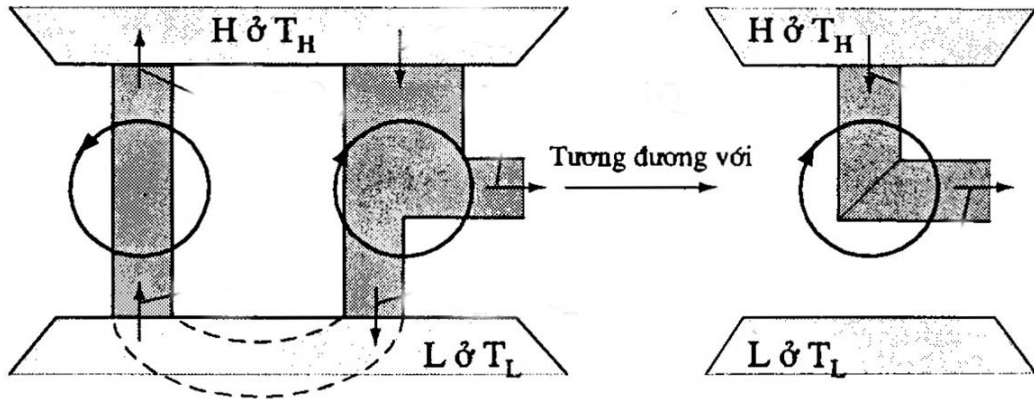
7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

7.3.4. Sự tương đương của hai cách phát biểu



7.3. Nguyên lý II của nhiệt động lực học

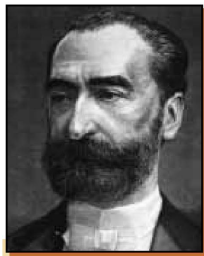
7.3.4. Sự tương đương của hai cách phát biểu



7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.1. Các nhận xét

- Hiệu suất của động cơ nhiệt luôn luôn nhỏ hơn 1.
- Hệ số làm lạnh của máy lạnh không thể vô hạn.
- Ma sát và hiệu ứng truyền nhiệt do chênh lệch nhiệt độ làm giảm hiệu suất.
- Máy nhiệt hoạt động theo các quá trình thuận nghịch sẽ có hiệu quả nhất do không gây biến đổi môi trường xung quanh.



Sadi Carnot
(1796-1832)

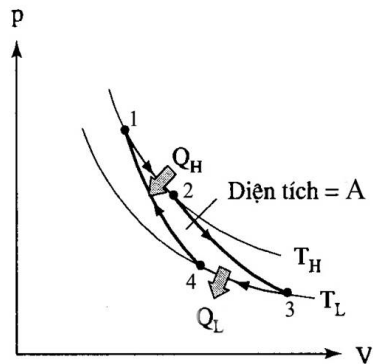
7.4.2. Lý do ta cần quan tâm đến chu trình Carnot

- 1 Vì các máy nhiệt đều hoạt động theo những chu trình nào đó. Chu trình có lợi nhất là chu trình Carnot.
- 2 Nó cho phép ta lập ra biểu thức định lượng của nguyên lý II.

7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.3. Chu trình Carnot thuận nghịch

- Giãn nở đẳng nhiệt (1-2) ở T_H : Hệ nhận nhiệt Q_H từ nguồn nóng.
- Giãn nở đoạn nhiệt (2-3), giảm nhiệt độ từ T_H đến T_L .
- Nén đẳng nhiệt (3-4) ở T_L : Hệ tỏa nhiệt $|Q_L|$ cho nguồn lạnh.
- Nén đoạn nhiệt (4-1) để khép kín chu trình, hệ tăng nhiệt độ từ T_L đến T_H .



Chu trình động cơ Carnot đối với khí lý tưởng

7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.4. Hiệu suất của chu trình Carnot

Xét động cơ hoạt động theo chu trình Carnot (thuận) với nhiệt độ nguồn nóng T_H và nhiệt độ nguồn lạnh T_L .

- Hiệu suất của động cơ:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q'_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q'_L}{Q_H}$$

- Nhiệt nhận từ nguồn nóng:

$$Q_H = -A_{12} = \frac{m}{\mu} R T_H \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

- Nhiệt tỏa ra nguồn lạnh:

$$Q'_L = -Q_L = -A_{34} = \frac{m}{\mu} R T_L \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)$$

7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.4. Hiệu suất của chu trình Carnot

- Hiệu suất của động cơ theo chu trình thuận:

$$\eta = 1 - \frac{Q'_L}{Q_H} = 1 - \frac{nRT_L \ln \left(\frac{V_3}{V_4} \right)}{nRT_H \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

- Hệ số làm lạnh của chu trình ngược:

$$K = \frac{Q_L}{A} = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

→ *Hiệu suất của chu trình Carnot chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ các nguồn nhiệt.*

7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.5. Định lý Carnot

Phát biểu định lý 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 và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy.

Chứng minh định lý Carnot

- Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch (KTN) nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch (TN). Với động cơ thuận nghịch:

$$\eta_{TN} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.5. Định lý Carnot

Chứng minh định lý Carnot (tiếp)

- Giả sử cả hai động cơ này cùng lấy ở nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 . Động cơ KTN nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng Q'_2 . Hiệu suất đạt được:

$$\eta_{\text{KTN}} = 1 - \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1}$$

- Trong chu trình KTN, có mất mát năng lượng và chống lại ma sát nên $Q'_2 > Q_2$, do đó:

$$\eta_{\text{KTN}} < \eta_{\text{TN}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

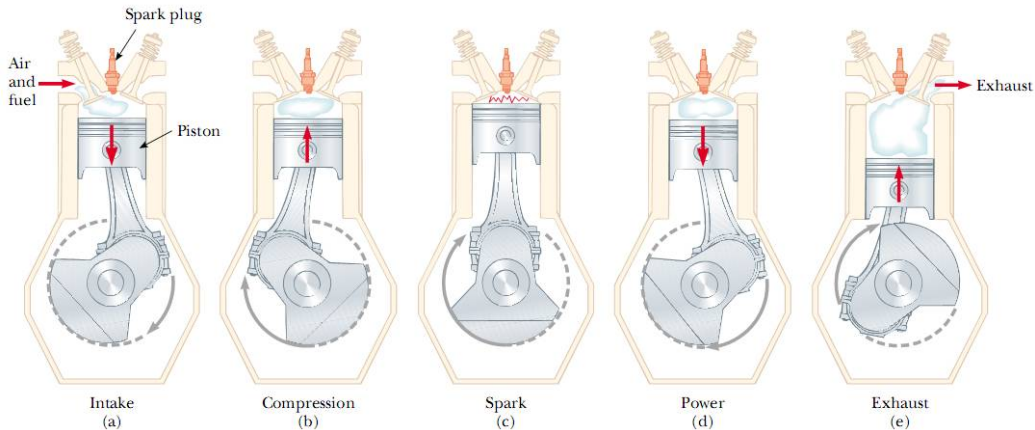
7.4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

7.4.6. Nhận xét

- Nhiệt không thể biến đổi hoàn toàn thành công (công mà hệ sinh ra luôn nhỏ hơn nhiệt lượng mà nó nhận vào)
- Nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ cao có “chất lượng” cao hơn nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ thấp hơn.
- Muốn tăng hiệu suất động cơ nhiệt phải chế tạo sao cho nó càng gần thuận nghịch càng tốt. Muốn vậy phải giảm mất mát do truyền nhiệt và ma sát trong hệ.

7.5. Chu trình Otto và động cơ đốt trong

7.5.1. Mô tả



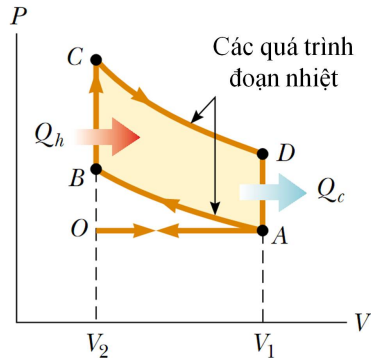
Chu trình bao gồm 4 kỳ của động cơ đốt trong (xăng, dầu)

7.5. Chu trình Otto và động cơ đốt trong

7.5.2. Giải đồ p - V

- Quá trình hút $O \rightarrow A$ (Hình a), pít-tông đi xuống và hỗn hợp nhiên liệu-không khí được đưa vào xi-lanh. Thể tích tăng từ V_2 lên V_1 . Sự truyền năng lượng này được gọi là truyền khối.
- Quá trình nén đoạn nhiệt $A \rightarrow B$ (Hình b), thể tích giảm từ V_1 xuống V_2 , nhiệt độ tăng từ T_A đến T_B . Công của khí:

$$A'_{AB} = -\frac{p_B V_2 - p_A V_1}{\gamma - 1} < 0, \text{ khí nhận công}$$



Chu trình Otto, mô tả gần đúng các quá trình xảy ra trong động cơ đốt trong

7.5. Chu trình Otto và động cơ đốt trong

7.5.2. Giải đồ p - V

- Trong quá trình nổ $B \rightarrow C$ (Hình c), nhiên liệu-không khí được đốt cháy trong thời gian rất ngắn nên không được coi là một kỳ của chu trình. Năng lượng được chuyển từ nội năng trữ trong liên kết hóa học của nhiên liệu thành nội năng gắn với chuyển động của phân tử (tức nhiệt độ). Cả áp suất và nhiệt độ đều tăng rất nhanh, với nhiệt độ tăng từ T_B đến T_C . Công sinh ra bởi khí = 0 do không có sự thay đổi thể tích. Nhiệt nhận bởi khí là $Q_h = Q_{BC} = \Delta U_{BC}$.
- Quá trình sinh công $C \rightarrow D$ (Hình d), khí sau nổ giãn đoạn nhiệt từ thể tích V_2 đến V_1 và làm nhiệt độ giảm từ T_C xuống T_D . Công của khí:

$$A'_{CD} = -\frac{p_D V_1 - p_C V_2}{\gamma - 1} > 0, \text{ khí sinh công}$$

- Quá trình $D \rightarrow A$ (không có trên hình mô tả), van xả mở khi pít-tông ở vị trí thấp nhất khiến áp suất giảm đột ngột trong thời gian rất ngắn, trong khi thể tích xi-lanh gần như không đổi.

7.5. Chu trình Otto và động cơ đốt trong

7.5.2. Giải đồ p - V

- Quá trình xả $A \rightarrow O$ (cuối cùng) (Hình e), pít-tông di chuyển lên trong khi van xả vẫn mở. Khí thải được thoát ra khỏi xi-lanh tại áp suất khí quyển, và thể tích giảm từ V_1 xuống V_2 . Chu trình được lặp lại.
- Nếu hỗn hợp nhiên liệu-không khí được coi là một khí lý tưởng thì hiệu suất của chu trình là:

$$\eta = \frac{A'_{\text{tổng}}}{Q_h}$$

trong đó:

$$A'_{\text{tổng}} = A'_{CD} + A'_{AB} = \frac{(p_C - p_B)V_2 - (p_D - p_A)V_1}{\gamma - 1}$$
$$Q_h = \Delta U_{BC} = \frac{i}{2}R\Delta T_{BC} = \frac{1}{\gamma - 1}(p_C - p_B)V_2$$

7.5. Chu trình Otto và động cơ đốt trong

7.5.2. Giải đồ p - V

- Từ hệ thức của quá trình đoạn nhiệt:

$$\begin{aligned}p_D V_1^\gamma &= p_C V_2^\gamma \text{ và } p_A V_1^\gamma = p_B V_2^\gamma \\&\rightarrow \frac{p_D - p_A}{p_C - p_B} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma \\&\rightarrow A'_{\text{tổng}} = \frac{(p_C - p_B) V_2}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}\right]\end{aligned}$$

- Suy ra:

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{(V_1/V_2)^{\gamma-1}}$$

với $\gamma = C_p/C_V$ đối với hỗn hợp nhiên liệu-không khí và V_1/V_2 là hệ số nén. Với $V_1/V_2 = 8$ và $\gamma = 1.4$, hiệu suất lý thuyết của một động cơ hoạt động theo chu trình Otto lý tưởng là 56%. Trong thực tế, động cơ đốt trong có hiệu suất từ 15% đến 20%.

7.5. Entropy

7.5.1. Biểu thức định lượng của nguyên lý II

- Hiệu suất của động cơ bất kỳ:

$$\eta = 1 - \frac{Q'_L}{Q_H} \leq 1 - \frac{T_L}{T_H} \rightarrow \frac{Q'_L}{Q_H} \geq \frac{T_L}{T_H}$$
$$\rightarrow \frac{-Q_L}{Q_H} \geq \frac{T_L}{T_H} \text{ hay } \frac{Q_L}{T_L} + \frac{Q_H}{T_H} \leq 0$$

- Tổng quát, đối với một chu trình bất kỳ:

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

Ở đây tích phân được thực hiện dọc theo chu trình, với nhiệt lượng trao đổi vi phân δQ ứng với từng nhiệt độ tuyệt đối T . Dấu “=” ứng với chu trình thuận nghịch.

7.5. Entropy

7.5.2. Hàm entropy

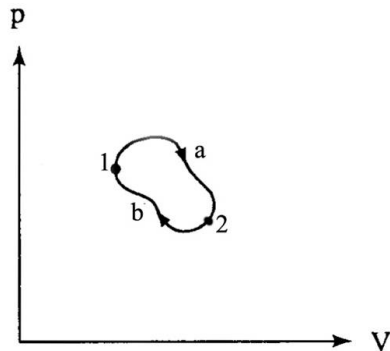
- Xét chu trình thuận nghịch:

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

- Do đó:

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

→ Tích phân $\int \frac{\delta Q}{T}$ không phụ thuộc quá trình



7.5. Entropy

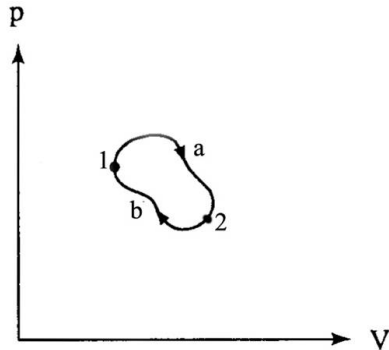
7.5.2. Hàm entropy

- Hàm S gọi là Entropy của hệ, được định nghĩa sao cho:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

- Do đó:

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



- Entropy S là đại lượng mà sự thay đổi của nó dS bằng nhiệt năng phát tán, hấp thụ δQ chia cho nhiệt độ tuyệt đối T khi một hệ vật lý chuyển trạng thái *một cách thuận nghịch* tại nhiệt độ đó.

7.5. Entropy

7.5.2. Hàm Entropy

- Hàm Entropy là một thông số trạng thái của hệ. Mỗi trạng thái của hệ ứng với một giá trị xác định của entropy.
- Entropy là đại lượng có tính cộng được: Entropy của hệ cân bằng bằng tổng các Entropy của từng phần riêng biệt.
- Entropy sai khác hằng số cộng, thường chọn: $S_0 = 0$ ở 0 K .
- Đơn vị của Entropy: J/K .
- Trong cơ học thống kê, Entropy được định nghĩa như là một đại lượng đo "sự lộn xộn" hay "tính bừa bãi" của một hệ vật lý. Hành vi của một chất được mô tả bằng hành vi thống kê của các nguyên tử và phân tử của nó. Một trong những kết quả chính của phương pháp mô tả này là các hệ cô lập có xu hướng trở nên mất trật tự và Entropy là thước đo của sự mất trật tự này.

7.5. Entropy

7.5.2. Hàm Entropy

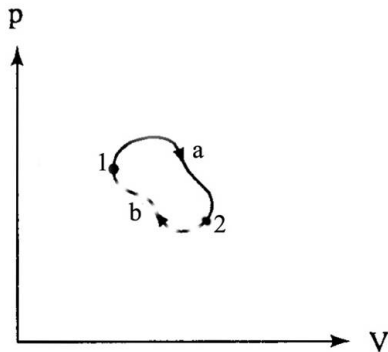
- Xét chu trình không thuận nghịch:

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

- Do đó:

$$-\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{2a1} \frac{\delta Q}{T} > \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T}$$

$$\Delta S_{21} > \int \frac{\delta Q}{T}$$



7.5. Entropy

7.5.2. Hàm Entropy

- Đối với quá trình thuận nghịch:

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T}$$

- Đối với quá trình không thuận nghịch:

$$\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$$

- Tổng quát:

$$\Delta S_{21} \geq \int \frac{\delta Q}{T}$$

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

7.5. Entropy

7.5.3. Nguyên lý tăng Entropy (nguyên lý tiến hóa)

- Đối với hệ cô lập (không có trao đổi nhiệt):

$$\Delta S \geq 0$$

- Dấu “=” ứng với quá trình thuận nghịch.
- Dấu “>” ứng với quá trình không thuận nghịch.
- Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, Entropy của hệ luôn luôn tăng.
 - Hệ cô lập không thể hai lần đi qua cùng một trạng thái.
 - Hệ ở trạng thái cân bằng khi Entropy đạt giá trị cực đại.
- Tất cả các quá trình vật lý xảy ra trong hệ đều dẫn đến sự tăng số lượng các trạng thái vĩ mô khả dĩ bên trong hệ và môi trường xung quanh, điều này ứng với sự mất trật tự cao hơn. Nếu xét cho toàn bộ Vũ trụ thì Entropy của Vũ trụ luôn luôn tăng ở tất cả các quá trình thực tế.

7.5. Entropy

7.5.4. Tính Entropy

- 1) Entropy của quá trình đoạn nhiệt
- 2) Entropy của quá trình đẳng nhiệt
- 3) Entropy của quá trình bất kỳ

Ví dụ 1

Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot, có công suất $P = 73600 \text{ W}$. Nhiệt độ của nguồn nóng là 100°C , nhiệt độ nguồn lạnh là 0°C .

- a) Tính hiệu suất động cơ.
- b) Nhiệt mà tác nhân nhận được của nguồn nóng trong 1 phút.
- c) Nhiệt mà tác nhân xả ra nguồn lạnh trong 1 phút.

Ví dụ 2

Một máy lạnh 9000 Btu/h tiêu thụ điện với công suất 1 kW . Tính hệ số làm lạnh của máy.
Cho $1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J}$.

The End