

Chương 9

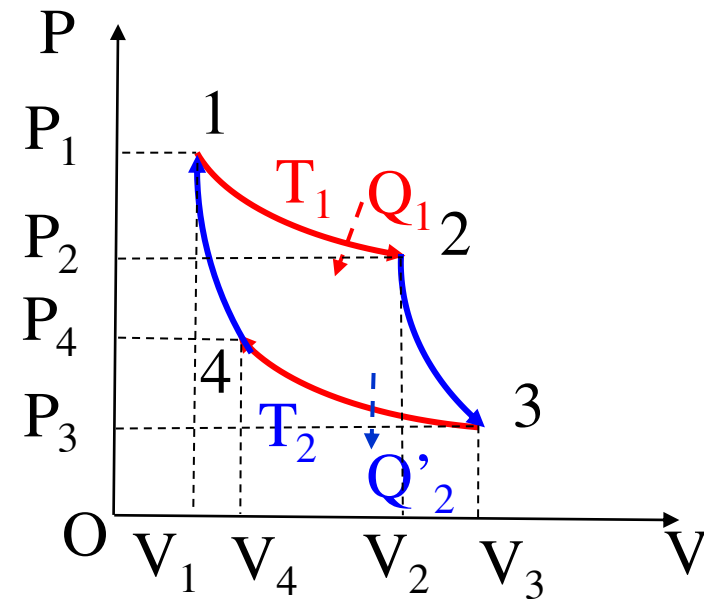
Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học (tiếp)

§4. Chu trình Carnot và định lý Carnot

I. Chu Trình Carnot thuận nghịch

1. Định nghĩa: là chu trình gồm 2 QT đẳng nhiệt TN và 2 QT đoạn nhiệt TN.

- $1 \rightarrow 2$: Giãn đẳng nhiệt ở nhiệt độ T_1 , nhận Q_1 từ nguồn nóng.
- $2 \rightarrow 3$: Giãn đoạn nhiệt.
Nhiệt độ giảm từ $T_1 \rightarrow T_2$
- $3 \rightarrow 4$: Nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ T_2 , tác nhân tỏa nhiệt Q'_2
- $4 \rightarrow 1$: Nén đoạn nhiệt, nhiệt độ tăng từ $T_2 \rightarrow T_1$



Chu trình Carnot TN theo chiều thuận gọi là chu trình Carnot thuận

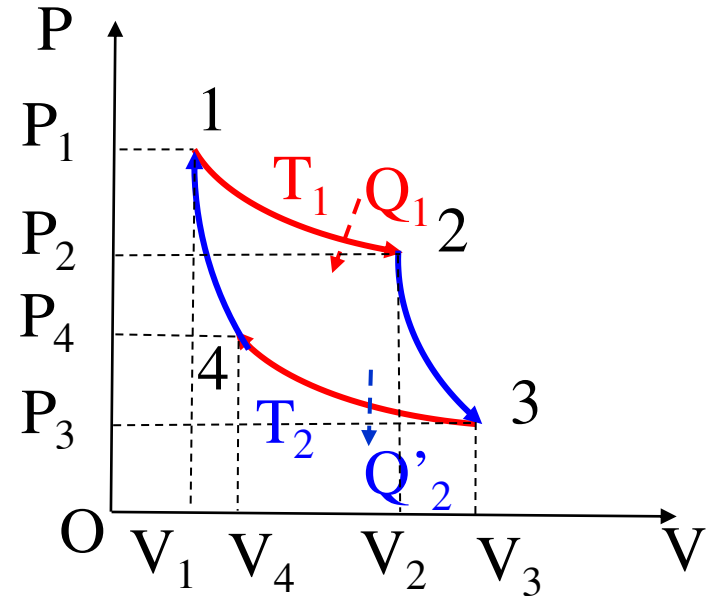
2. Hiệu suất η_c của chu trình Carnot thuận với tác nhân là khí lý tưởng

$$\eta_c = 1 - \frac{Q'_2}{Q_1}$$

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

$$Q_2 = \frac{M}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

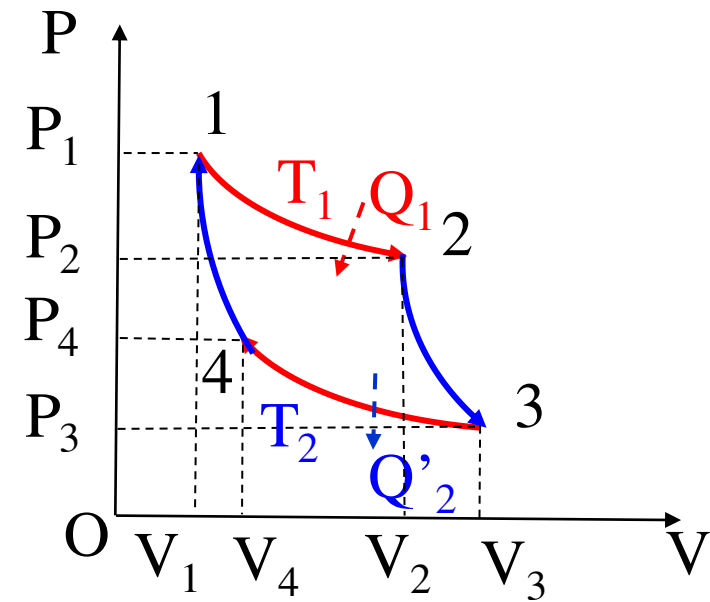
$$\Rightarrow Q'_2 = \frac{M}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$



\Rightarrow

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$



Xét 2 QT đoạn nhiệt 23 và 41:

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

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

\Rightarrow

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

\Rightarrow

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right) = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)$$

\Rightarrow

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

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

*Hiệu suất chu trình Carnot TN
với tác nhân là khí lý tưởng
chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ
nguồn nóng và nguồn lạnh.*

II. Định lý Carnot

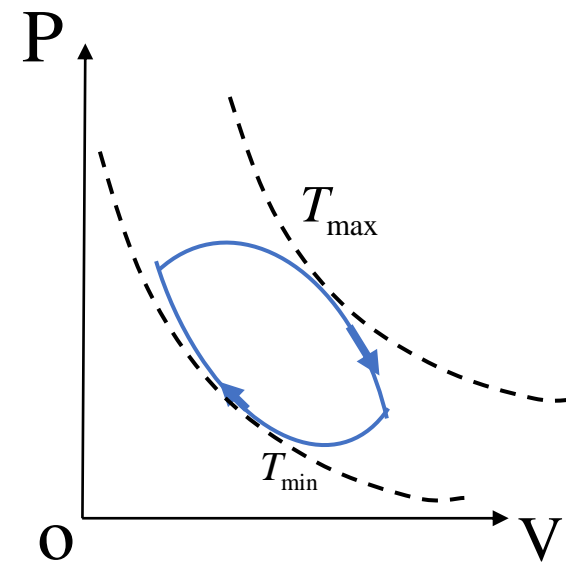
Hiệu suất của tất cả động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh, đều bằng nhau và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

Chú ý:

Có thể chứng minh: Hiệu suất của một chu trình thuận nghịch bất kỳ không thể lớn hơn hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch thực hiện giữa 2 nguồn nhiệt có nhiệt độ cực trị của tác nhân trong chu trình TN đó.

$$\eta_{TN \text{ bất kỳ}} \leq \eta_{TN \text{ Carnot}} = 1 - \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

Hoặc: Hiệu suất của mọi chu trình thực hiện giữa nguồn nóng và nguồn lạnh có nhiệt độ xác định không thể lớn hơn hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch thực hiện giữa nguồn nóng và nguồn lạnh trên.



Nhận xét (*rút ra từ định lý Carnot*)

1. Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công

Ngay cả với động cơ lý tưởng:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1 \Rightarrow A' = \eta Q_1 < Q_1$$

Nghĩa là công sinh ra luôn nhỏ hơn nhiệt nhận vào

2. Hiệu suất của động cơ nhiệt càng lớn nếu nhiệt độ nguồn nóng càng cao và nhiệt độ nguồn lạnh càng thấp.

Nếu có 2 động cơ nhiệt hoạt động với nguồn lạnh có cùng T_2 thì động cơ nào có T_1 cao hơn sẽ có hiệu suất lớn hơn.

\Rightarrow Nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ cao có chất lượng hơn nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ thấp

3. Muốn tăng hiệu suất của động cơ nhiệt:

✓ Tăng T_1 giảm T_2

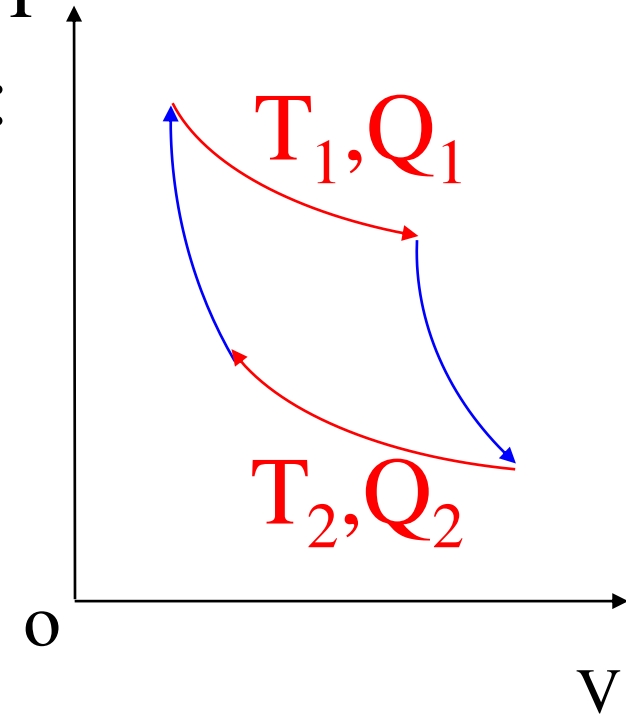
✓ Chế tạo sao cho động cơ này gần với động cơ thuận nghịch

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

Từ biểu thức hiệu suất của chu trình P Carnot và định nghĩa hiệu suất, ta có:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} \quad \text{và} \quad \eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$



- Dấu = ứng với CT Carnot thuận nghịch
- Dấu < ứng với CT Carnot không TN

(1) Là biểu thức định lượng của nguyên lý 2

Thiết lập biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý 2

$$1 - \frac{Q'_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2}{Q_1} + \frac{T_2}{T_1} \leq 0 \Rightarrow$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad (2)$$

(2) thiết lập đối với hệ biến đổi theo một chu trình gồm 2 QT đẳng nhiệt và 2 QT đoạn nhiệt kế tiếp nhau

Giả sử hệ biến đổi theo chu trình gồm vô số các quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt liên tiếp nhau.

Các quá trình đẳng nhiệt tương ứng các nhiệt độ: T_1, T_2, \dots, T_n của các nguồn nhiệt bên ngoài và với nhiệt lượng Q_1, Q_2, \dots, Q_n mà hệ nhận từ bên ngoài
Suy rộng hệ thức (2):

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad (2)$$

\Rightarrow

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad (3)$$

Nếu trong chu trình của hệ biến thiên liên tục:

- ✓ Có thể coi hệ tiếp xúc lần lượt với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ vô cùng 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 nhiệt δQ

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad (3)$$

\Rightarrow

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad (4)$$

(4) là biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý hai NĐLH

Dấu = ứng với chu trình thuận nghịch

Dấu < ứng với chu trình không thuận nghịch

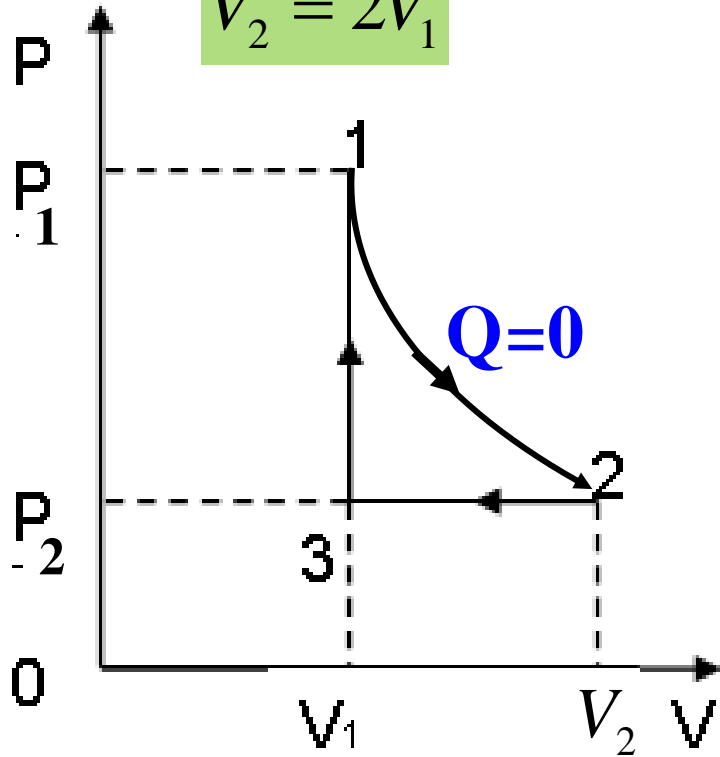
Bài 5

Một khối khí lý tưởng thực hiện một chu trình sinh công gồm một quá trình đoạn nhiệt, một quá trình đẳng áp và một quá trình đẳng tích. Hệ số poátxông của chất vận chuyển là $\gamma = 1,4$. Biết rằng trong quá trình giãn đoạn nhiệt thể tích khí tăng 2 lần. Tính hiệu suất của chu trình.

Bài 5

$$Q_{23} = \frac{M}{\mu} C_P (T_3 - T_2) < 0, \quad Q_{31} = \frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_3) > 0$$

$$V_2 = 2V_1$$



$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{\frac{M}{\mu} C_P (T_2 - T_3)}{\frac{M}{\mu} C_V (T_1 - T_3)} = 1 - \gamma \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_3}$$

$$(2) \rightarrow (3): \quad \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_3} \rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{V_2}{V_1} = 2$$

$$(3) \rightarrow (1): \quad \frac{T_1}{T_3} = \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma = 2^\gamma$$

$$\eta = 1 - \gamma \frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_3} = 1 - \gamma \frac{2T_3 - T_3}{2^\gamma T_3 - T_3} = 1 - \gamma \frac{1}{2^\gamma - 1} \approx 14,6\%$$

Bài 6

Một khối khí lý tưởng thực hiện một chu trình sinh công gồm một quá trình đẳng áp, một quá trình đoạn nhiệt và một quá trình đẳng nhiệt. Quá trình đẳng nhiệt được thực hiện ở nhiệt độ cực đại của chu trình và trong chu trình nhiệt độ tuyệt đối cực đại gấp n lần nhiệt độ cực tiểu. Vẽ đồ thị của chu trình đó trên giản đồ P, V . Tìm hiệu suất của chu trình.

Bài 6

$$\frac{T_1}{T_3} = n \quad \eta = ?$$

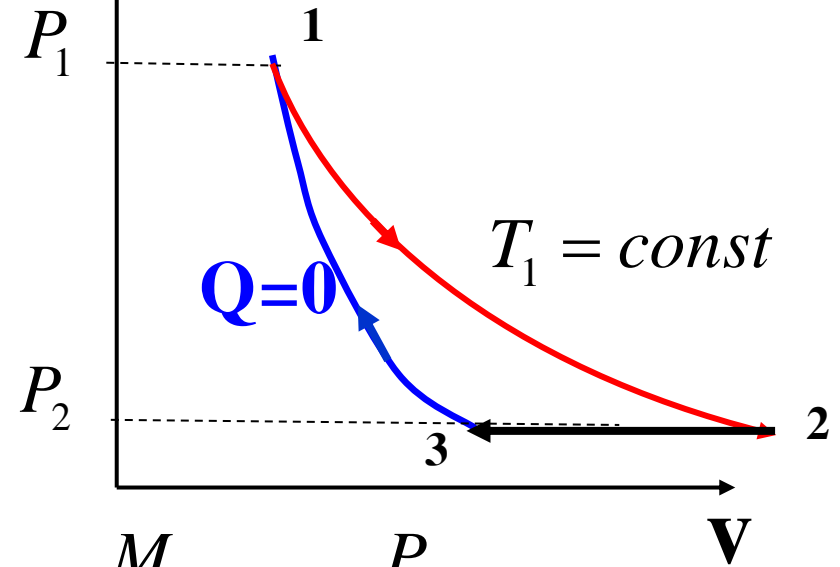
$$\eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_{23}'}{Q_{12}}$$

$$Q_{23}' = \frac{M}{\mu} C_P (T_1 - T_3)$$

$$Q_{12} = \frac{M}{\mu} R T_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{23}'}{Q_{12}} = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right)}{T_1 \ln \frac{P_1}{P_2}} = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)}{\ln \frac{P_1}{P_2}}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \frac{T_3}{T_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \ln n$$



Bài 6

$$\eta = 1 - \frac{Q'_{23}}{Q_{12}} = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(T_1 - \frac{T_1}{n} \right)}{T_1 \ln \frac{P_1}{P_2}} = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)}{\ln \frac{P_1}{P_2}}$$

$$\left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \frac{T_3}{T_1} = \frac{1}{n} \Rightarrow \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \ln n$$

$$\eta = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)}{\ln \frac{P_1}{P_2}} = 1 - \frac{\frac{i+2}{2} \left(1 - \frac{1}{n} \right)}{\frac{\gamma}{\gamma-1} \ln n} = 1 - \frac{\left(1 - \frac{1}{n} \right)}{\ln n}$$