



TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN, ĐHQG-HCM
KHOA VẬT LÝ – VẬT LÝ KỸ THUẬT

CHƯƠNG 6: NHIỆT & NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

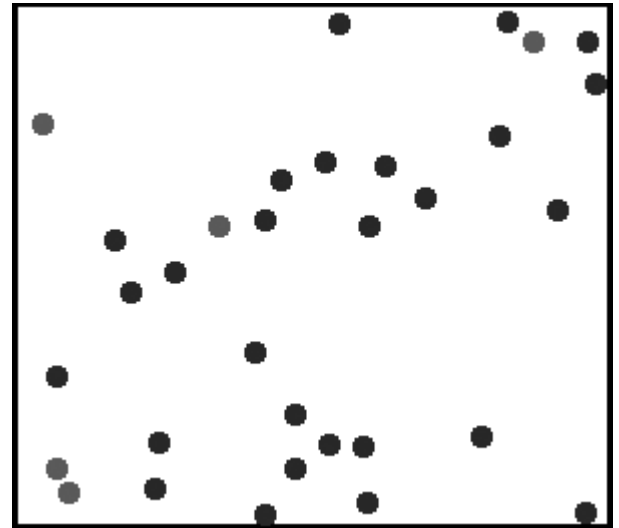
Tp. Hồ Chí Minh, tháng 07 năm 2023

Một số khái niệm

Hệ nhiệt động: là hệ gồm các vật (hoặc một khoảng không gian chứa đầy vật chất) được xác định hoàn toàn bởi một số các thông số vĩ mô, độc lập với nhau.

- Hệ nhiệt động gọi là cô lập nếu nó hoàn toàn không tương tác và không trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài
- Hệ không cô lập nếu nó tương tác với môi trường bên ngoài.

Trạng thái của một hệ nhiệt động được xác định bởi các tính chất vật lý của hệ. Mỗi tính chất đặc trưng cho một đại lượng vật lý, được gọi là **thông số trạng thái của hệ**.



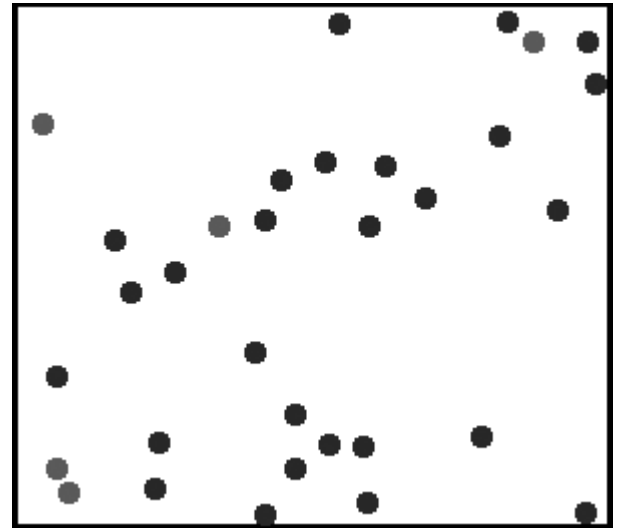
Một số khái niệm

VD để biểu diễn trạng thái của một khối khí, người ta thường dùng ba thông số trạng thái: **Nhiệt độ: T (K)** **Thể tích: V (m³)** **Áp suất: P (N/m²)**

Phương trình trạng thái của khối khí có dạng tổng quát:

$$f(P, V, T) = 0$$

- Nhiệt độ: tỉ lệ với động năng chuyển động của các phân tử khí
- Thể tích: chất khí luôn chiếm toàn bộ thể tích bình chứa nó
- Áp suất: do các phân tử khí va chạm vào thành bình chứa gây ra



Khí lý tưởng

Chất khí lý tưởng:

- Là chất khí trong đó các phân tử được coi là chất điểm, bỏ qua kích thước các phân tử
- Chỉ tương tác khi va chạm, bỏ qua tương tác tĩnh điện

Trong thực tế không tồn tại chất khí hoàn toàn lý tưởng, nhưng các *khí thực khi pha loãng ở áp suất thấp* có tính chất gần với khí lý tưởng.

Phương trình trạng thái khí lý tưởng

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

P: áp suất của khối khí (N/m²)

V: thể tích của khối khí (m³)

m: khối lượng của khối khí (kg)

μ: khối lượng 1kmol khối khí (kg). Ví dụ khí ôxy (O₂) có μ = 32 kg

R: hằng số khí lý tưởng, R = 8,31.10³ (J/kmol.K)

T: nhiệt độ tuyệt đối khối khí (K), T = t (°C) + 273

Trong 1 kmol khối khí chứa N_A = 6,023.10²⁶ phân tử khí (Số Avoradro)

Một số đơn vị đo áp suất

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 13 \text{ atm}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$= 760 \text{ torr}$$

$$= 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ at} = 736 \text{ mmHg}$$

$$= 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ KPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

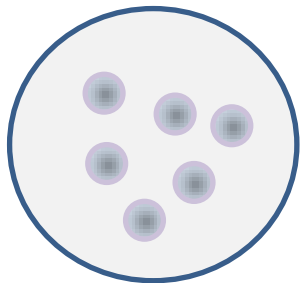
$$1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

Một số quá trình đặc biệt

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

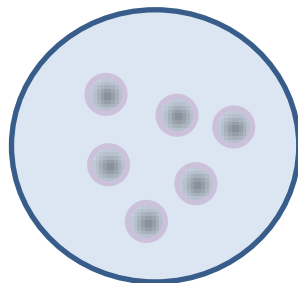
$$f(P_1, V_1, T_1)$$



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



$$f(P_2, V_2, T_2)$$



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_i V_i}{T_i} = \text{const}$$

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

Định luật Charles

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

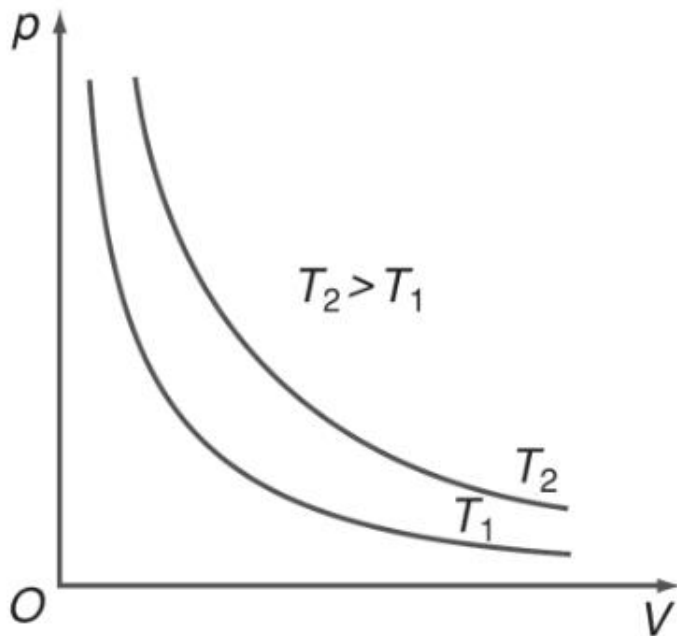
Định luật Boyle - Mariotte

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

Định luật Gay - Lussac

Định luật Boyle - Mariotte

Đường đẳng nhiệt: là đường biểu diễn sự biến thiên của áp suất theo thể tích khi nhiệt độ không đổi. Trong hệ tọa độ (P, V) đường đẳng nhiệt là đường hypebol.



Nhà vật lý học:

Robert Boyle (1627-1691), Ireland

Edme Mariotte (1620-1684), Pháp

Trong quá trình biến đổi đẳng nhiệt của một khối khí lý tưởng, áp suất biến đổi tỉ lệ nghịch với thể tích.

$$P \sim \frac{1}{V} \quad \text{hay} \quad PV = \text{const}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \text{const}$$

Định luật Charles

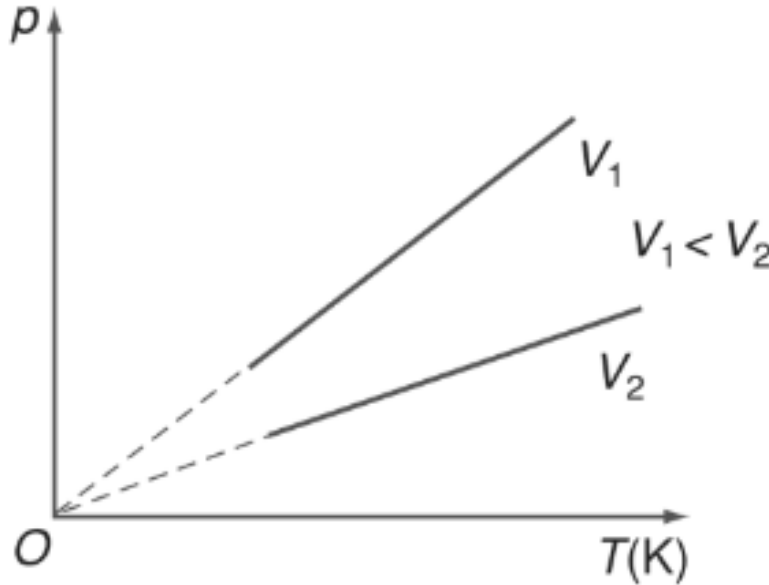
Đường đẳng tích: là đường biểu diễn sự biến thiên của áp suất theo nhiệt độ khi thể tích không đổi. Trong hệ tọa độ (P, T) đường đẳng tích là đường thẳng.

Nhà vật lý học:

Jacques Charles (1746-1823), Pháp

Trong quá trình biến đổi **đẳng tích** của một khối khí lý tưởng, áp suất biến đổi tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối.

$$P \sim T \quad \text{hay} \quad \frac{P}{T} = \text{const}$$



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

Định luật Gay - Lussac

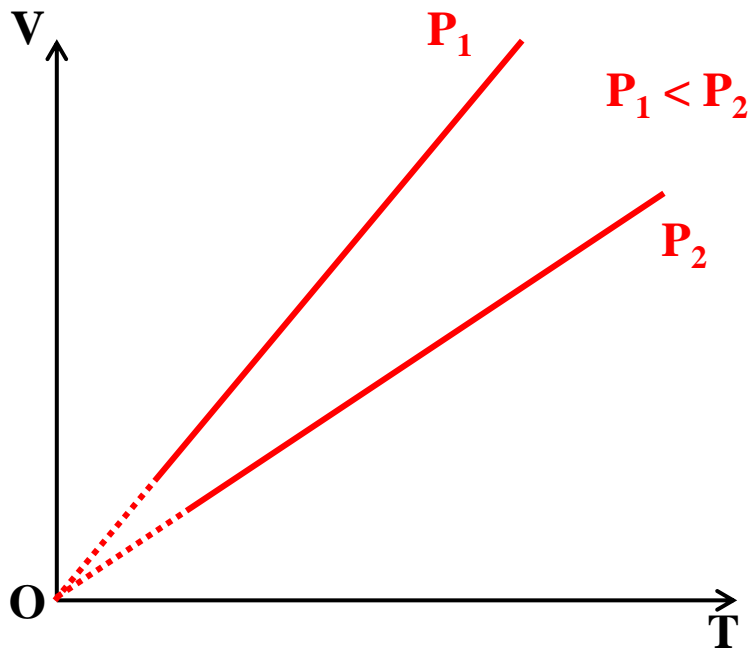
Đường đẳng áp: là đường biểu diễn sự biến thiên của thể tích theo nhiệt độ khi áp suất không đổi. Trong hệ tọa độ (V, T) đường đẳng áp là đường thẳng.

Nhà vật lý học:

Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850),
Pháp

Trong quá trình biến đổi **đẳng áp** của một khối khí lý tưởng, thể tích biến đổi tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối.

$$V \sim T \quad \text{hay} \quad \frac{V}{T} = \text{const}$$



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

Các nguyên lý của nhiệt động lực học

Nhiệt động lực học ra đời vào khoảng giữa thế kỷ XIX, trong quá trình nghiên cứu các động cơ nhiệt nhằm biến đổi năng lượng có được từ nhiên liệu thành cơ năng.

Cơ sở của nhiệt động lực học dựa trên hai nguyên lý cơ bản:

- *Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học (độ biến thiên nội năng)*
- *Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học (không có động cơ lý tưởng)*

Khái niệm năng lượng, công và nhiệt lượng

Năng lượng của hệ đặc trưng cho mức độ vận động của hệ.

Ở mỗi trạng thái hệ có một năng lượng xác định. Năng lượng của hệ có thể thay đổi khi trạng thái của hệ thay đổi \Rightarrow năng lượng là một hàm của trạng thái.

Năng lượng của hệ gồm:

- Cơ năng (W): động năng (W_d) ứng với chuyển động cơ của hệ và thế năng (W_t) do hệ nằm trong trường lực.
- Nội năng (U): phần năng lượng ứng với vận động bên trong hệ. Nội năng của hệ bao gồm tổng động năng của các hạt chuyển động bên trong hệ và thế năng tương tác giữa chúng.

$$E = W_d + W_t + U$$

Xét hệ không chuyển động và không nằm trong trường lực nào:

$$E = U$$

Khái niệm năng lượng, công và nhiệt lượng

Năng lượng của hệ gồm:

$$E = W_{đ} + W_t + U$$

Xét hệ không chuyển động và không nằm trong trường lực nào: $E = U$

Đối với khí lý tưởng: $U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} T$

Độ biến thiên nội năng của khí lý tưởng: $\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$

Với m (kg) là khối lượng khí lý tưởng và i là bậc tự do của phân tử khí

- $i = 3$: khí đơn nguyên tử
- $i = 5$: khí có hai nguyên tử (lưỡng nguyên tử)
- $i = 6$: khí có từ ba nguyên tử trở lên

Các nguyên lý của nhiệt động lực học

Công của khối khí: nếu một lực tác dụng lên khối khí được xem là thực hiện công nếu làm thể tích của khối khí thay đổi.

Quy ước:

- Công A dương ($A > 0$): hệ nhận công
- Công A âm ($A < 0$): hệ sinh công

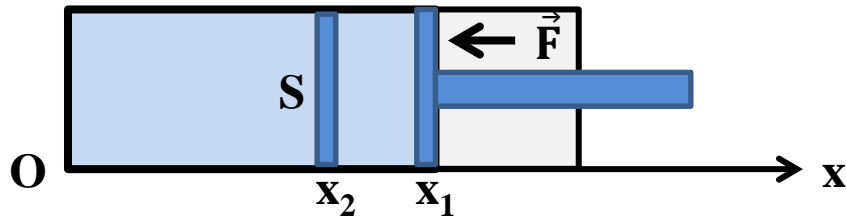
Khi hệ nhận công từ bên ngoài hoặc sinh công ra môi trường \Rightarrow năng lượng (nội năng) của hệ sẽ thay đổi.

Công đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua sự thay đổi thể tích của hệ (khối khí).

Các nguyên lý của nhiệt động lực học

Giả sử ta nén một khối khí chứa trong một xilanh hình trụ có tiết diện ngang S bằng một piston có thể di chuyển tự do không ma sát, chọn trục Ox như hình vẽ.

Gọi \vec{F} là lực nén lên piston. Áp suất bên ngoài nén lên piston là: $P = \frac{F}{S}$



Trong quá trình cân bằng, áp suất này đúng bằng áp suất khối khí. Công mà khối khí nhận được ($dA > 0$ do công mà ta mất đi để nén piston) khi bị nén đoạn nhỏ dx từ x_1 đến x_2 :

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{x} = -F \cdot dx = -P \cdot S \cdot dx = -P \cdot dV$$

Công mà hệ nhận được trong quá trình cân bằng mà hệ biến đổi từ thể tích V_1 đến thể tích V_2 :

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Công là hàm của quá trình

Các nguyên lý của nhiệt động lực học

Nhiệt lượng hay Nhiệt, đơn vị Joule (J), là một đại lượng đặc trưng mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động hỗn loạn của các phân tử. Nhiệt chỉ xuất hiện khi có một quá trình biến đổi xảy ra.

$$dQ = \frac{m}{\mu} C dT$$

Nhiệt là
hàm của
quá trình

Quy ước:

- Nhiệt lượng Q dương ($Q > 0$): hệ nhận nhiệt
- Nhiệt lượng Q âm ($Q < 0$): hệ tỏa nhiệt

$$\Rightarrow Q_{12} = \frac{m}{\mu} C \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{\mu} C \Delta T$$

Thực nghiệm chứng tỏ nhiệt mà một vật khối lượng m nhận vào để nhiệt độ biến thiên một lượng dT là: $dQ = cm dT$

Với c là nhiệt dung riêng của hệ: nhiệt lượng cần thiết để tăng một đơn vị khối lượng lên một độ (J/kg.độ). Ngoài ra, $C = \mu.c$ là nhiệt dung phân tử của hệ. Nhiệt lượng cần thiết để tăng 1kmol phân tử lên 1 độ (J/kmol.độ)

Hơi nóng đẳng tích: $C = C_v$

Hơi nóng đẳng áp: $C = C_p$

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học

Độ biến thiên năng lượng của hệ trong quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận được trong quá trình đó. Nếu hệ đứng yên và không đặt trong trường lực nào thì năng lượng của hệ chính là nội năng.

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

Đối với quá trình biến đổi vô cùng nhỏ (vi phân): $dU = dQ + dA$

- Khi hệ nhận công và nhận nhiệt ($A > 0$ và $Q > 0$): $\Delta U > 0 \Rightarrow U_2 > U_1$ **Nội năng hệ tăng**
- Khi hệ sinh công và tỏa nhiệt ($A < 0$ và $Q < 0$): $\Delta U < 0 \Rightarrow U_2 < U_1$ **Nội năng hệ giảm**
- Khi hệ cô lập ($A = 0$ và $Q = 0$): $\Delta U = 0 \Rightarrow U_2 = U_1$ **Nội năng hệ bảo toàn**
- Khi hệ thực hiện một quá trình kín, trạng thái cuối cùng trùng trạng thái đầu: $U_2 = U_1$

Hệ nhận công ($A > 0$) thì tỏa nhiệt ($Q < 0$). Hệ nhận nhiệt ($Q > 0$) thì sinh công ($A < 0$) hay $\Delta U = 0 \Rightarrow A = -Q$

Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học

ĐỘNG CƠ NHIỆT

Động cơ nhiệt là một loại máy hoạt động tuần hoàn biến nhiệt thành công.

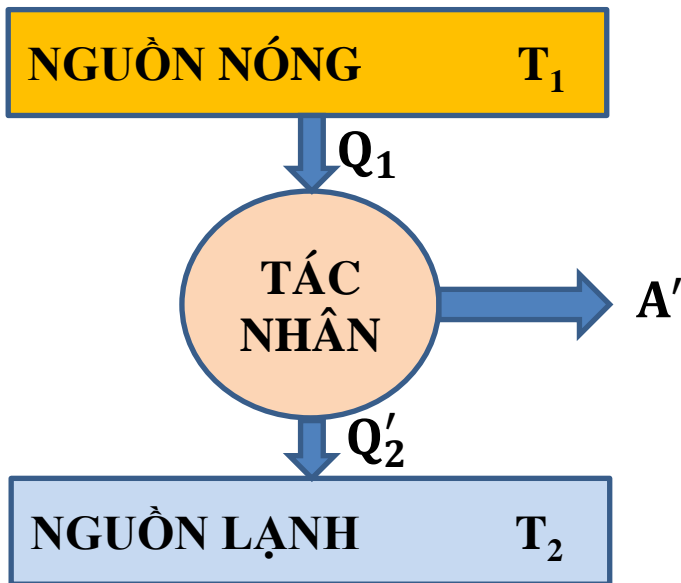
Động cơ nhiệt chỉ hoạt động khi có 2 (hay nhiều) nguồn nhiệt: Nguồn nóng & Nguồn lạnh
Chất vận chuyển (hơi nước, khí, nhiên liệu,...) dùng để biến nhiệt thành công gọi là tác nhân.

**Hiệu suất của
động cơ nhiệt:**

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

Q_1 : nhiệt lượng nhận từ nguồn nóng

A' : công mà động cơ sinh ra



Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học

ĐỘNG CƠ NHIỆT

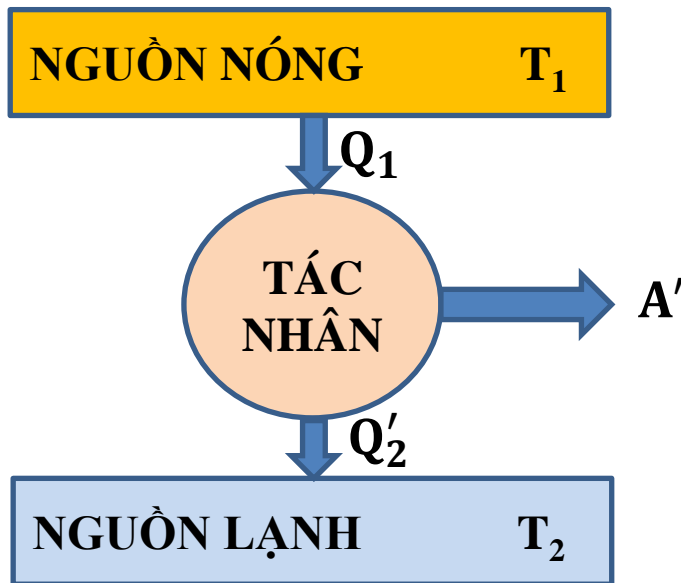
Tiên đề Thomson: Một động cơ nhiệt không thể sinh công nếu nó chỉ trao đổi với một nguồn nhiệt duy nhất.

Hiệu suất của
động cơ nhiệt:

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

Q_1 : nhiệt lượng nhận từ nguồn nóng

A' : công mà động cơ sinh ra



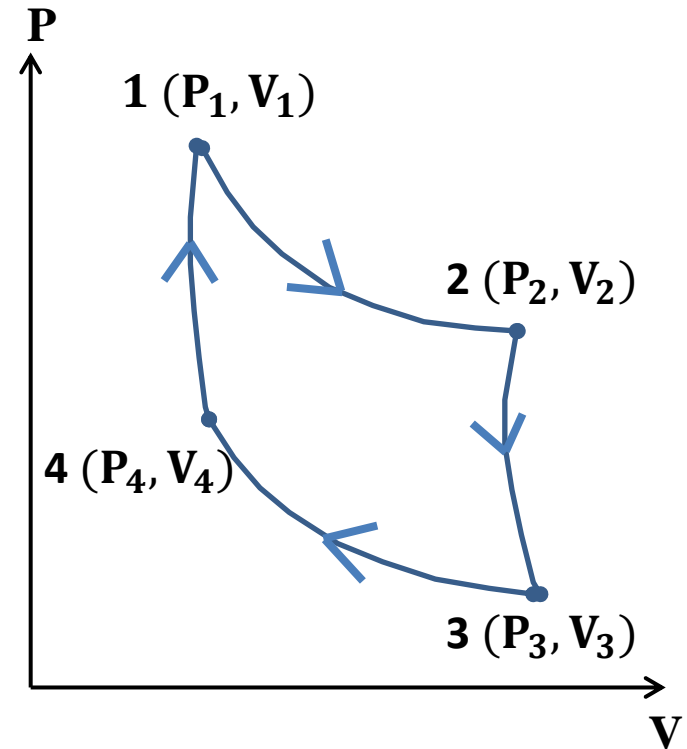
Chu trình Carnot

Là một chu trình khép kín để động cơ nhiệt cho hiệu suất tối ưu.

Chu trình Carnot thuận nghịch là chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt xen kẽ nhau.

Các bước thực hiện chu trình Carnot thuận nghịch đối với chất khí:

- Quá trình (1)-(2): giãn đẳng nhiệt, nhận $Q_1 = Q_{12}$ từ nguồn nóng T_1 , sinh công $A_{12}' = -A_{12}$
- Quá trình (2)-(3): giãn đoạn nhiệt, tác nhân bị cô lập, không tiếp xúc nguồn nhiệt, sinh công $A_{23}' = -A_{23}$
- Quá trình (3)-(4): nén đẳng nhiệt, nhận công A_{34}' , tỏa nhiệt $Q_2' = -Q_{34}$ cho nguồn lạnh.
- Quá trình (4)-(1): nén đoạn nhiệt, tác nhân bị cô lập, không tiếp xúc nguồn nhiệt, nhận công A_{41}



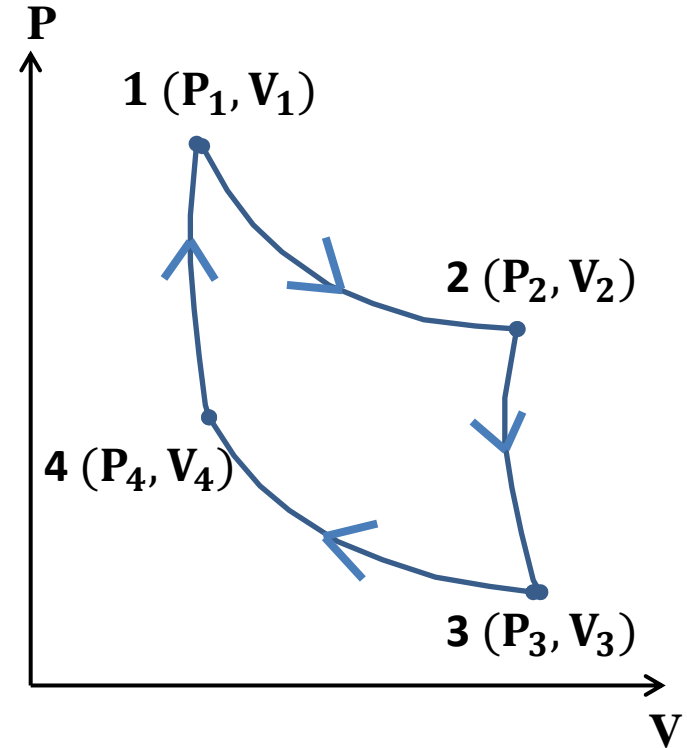
Chu trình Carnot

Là một chu trình khép kín để động cơ nhiệt cho hiệu suất tối ưu.

Chu trình Carnot thuận nghịch là chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt xen kẽ nhau.

Hiệu suất chu trình Carnot thuận nghịch cho khí lý tưởng:

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



CÁC QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG

Quá trình	Đẳng tích (V = const)	Đẳng áp (P = const)	Đẳng nhiệt (T = const)	Đoạn nhiệt (Q = 0)	Đa phương (C = const)
Biểu thức cân bằng	$\frac{P}{T} = \text{const}$ hay $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	$\frac{V}{T} = \text{const}$ hay $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$PV = \text{const}$ hay $P_1V_1 = P_2V_2 = PV$	$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$ hay $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ $P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$ hay $PV^{\gamma} = \text{const}$	$PV^n = \text{const}$ $n = \frac{C - C_p}{C - C_v}$
Công $dA = -PdV$ $A = -\int_{V_1}^{V_2} PdV$ $A' = -A$	$A = 0$	$A = -P(V_2 - V_1)$	$A = -\frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $= -\frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	$A = \frac{i}{2} (P_2V_2 - P_1V_1)$ $= \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{\gamma - 1}$	* $n = 0$ $\Rightarrow \begin{cases} C = C_p \\ V^0 = 1 \end{cases} \Rightarrow P = \text{const}$ Quá trình đẳng áp
Nhiệt lượng $dQ = \frac{m}{\mu} C dT$ $Q = \frac{m}{\mu} C \Delta T$	$Q = Q_v = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$	$Q = Q_p = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$	$Q = -A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $= \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$	0	* $n = 1$ $\Rightarrow V^1 = V \Rightarrow PV = \text{const}$ Quá trình đẳng nhiệt
Nội năng	$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$	$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$	0	$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$	* $n = \gamma$ $\Rightarrow V^n = V^{\gamma} \Rightarrow PV^{\gamma} = \text{const}$ Quá trình đoạn nhiệt
Phương trình trạng thái khí lý tưởng: $PV = \frac{m}{\mu} RT$ P (N/m ²), V (m ³), m (kg), μ (kg/kmol), R (J/(kmol K)), T (K)	$C_v = \frac{iR}{2}$	$C_p = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R$	ĐỘNG CƠ NHIỆT Hiệu suất của động cơ nhiệt: $\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}$ <p>A': công mà động cơ sinh ra sau khi trừ đi công nhận vào A' = -A_{sum} = -ΣA_{ij}. Q₁: nhiệt lượng động cơ nhận từ nguồn nóng Q₁ = Q_{thu} = ΣQ_{ij} (thu). Q₂': nhiệt lượng động cơ tỏa ra cho nguồn lạnh Q₂' = Q_{tỏa} = ΣQ_{ij} (tỏa)</p> Chu trình Carnot: cho η cao nhất, gồm Đẳng nhiệt-Đoạn nhiệt-Đẳng nhiệt-Đoạn nhiệt: $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$		* $n = \infty$ $\Rightarrow C = C_v$ Quá trình đẳng tích