

**ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG CAO ĐẲNG LÝ TỰ TRỌNG TP. HỒ CHÍ MINH
KHOA NHIỆT LẠNH**

BÀI GIẢNG LÝ THUYẾT

Môn học: NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

Bậc: Cao đẳng và Trung cấp

Biên soạn: HOÀNG VĂN VIẾT

Năm học: 2019-2020

(Lưu hành nội bộ)

Tháng 9/2019

MỤC LỤC**GIỚI THIỆU****CHƯƠNG I: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA VẬT CHẤT Ở THỂ KHÍ8****1.1. Một số khái niệm và định nghĩa.....8****1.1.1. Nhiệt lượng và công:8****1.1.2. Hệ nhiệt động9****1.2.3. Máy nhiệt10****1.2. Thông số trạng thái.....12****1.2.1. Nhiệt độ T13****1.2.2. Áp suất p 14****1.2.3. Thể tích riêng v16****1.2.4. Nội năng17****1.2.5. Entanpi18****1.2.6. Entropi.....18****1.3. Phương trình trạng thái của vật chất ở thể khí.....18****1.3.1. Phương trình trạng thái khí lý tưởng18****1.3.2. Phương trình trạng thái khí thực.....21****CHƯƠNG II: ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG25****2.1. Công.....25****2.2. Nhiệt lượng.....27****2.2.1. Tính Nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng27****2.2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi Entropi.....32**

2.3. Định luật nhiệt động thứ nhất.....	32
2.3.1. Định luật nhiệt động thứ nhất viết cho hệ kín.....	35
2.3.2. Định luật nhiệt động thứ nhất viết cho hệ hở.....	36
2.4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng.....	41
2.4.1. Các bước tính toán trong 1 quá trình đối với KLT	42
2.4.2. Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)	43
2.4.3. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$).....	44
2.4.4. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)	45
2.4.5. Quá trình đoạn nhiệt ($Q = 0$).....	46
2.4.6. Quá trình đa biến ($c = \text{const}$).....	48
CHƯƠNG III: ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ HAI.....	51
3.1. Hai phát biểu cơ bản của Định luật nhiệt động thứ hai	53
3.1.1. Phát biểu Kelvin – Planck.....	53
3.1.2. Phát biểu Clausius	54
3.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch.....	56
3.2.1. Quá trình thuận nghịch:	56
3.2.2. Quá trình không thuận nghịch.....	56
3.3. Chu trình Carnot	57
3.4. Các hệ quả của Định luật nhiệt động thứ hai	63
CHƯƠNG IV: CHẤT THUẦN KHIẾT.....	65
4.1. Tổng quát.	65
4.2. Quá trình hóa hơi đẳng áp.....	66
4.3. Giảm đồ khối biểu diễn quan hệ $p - v - T$	67
4.4. Quá trình nóng chảy và quá trình thăng hoa.....	68

4.5. Cách xác định các thông số trạng thái của nước và hơi nước.....	68
4.6. Các quá trình nhiệt động cơ bản.....	70
4.6.1. Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)	71
4.6.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$).....	72
4.6.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)	72
4.6.4. Quá trình đoạn nhiệt ($q = 0$).....	73
CHƯƠNG V: MỘT SỐ QUÁ TRÌNH ĐẶC BIỆT CỦA KHÍ VÀ HƠI.....	75
5.1. Quá trình Lưu động của Khí và Hơi	75
5.1.1. Giới thiệu	75
5.1.2. Một số quan hệ cơ bản của dòng lưu động	76
5.2. Quá trình TIẾT LƯU của Khí và Hơi.....	79
CHƯƠNG VI: KHÔNG KHÍ ẨM	80
6.1. Khái niệm cơ bản.....	80
6.2. Các thông số đặc trưng của không khí ẩm.	81
6.3. Đồ thị không khí ẩm.....	83
6.4. Các quá trình nhiệt động cơ bản.	85
6.4.1. Quá trình gia nhiệt và làm lạnh	85
6.4.2. Quá trình bốc hơi, tăng ẩm.....	87
6.4.3. Hỗn hợp của các dòng không khí.....	88
6.4.4. Quá trình Sấy.....	89
CHƯƠNG VII: QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ VÀ HƠI.....	90
7.1. Khái niệm chung.....	90
7.2. Máy nén Piston	90
7.2.1. Máy nén Piston 1 cấp.....	90

7.2.2. Máy nén piston nhiều cấp	94
7.3. Máy nén Tuabin.	97
7.3.1. Máy nén ly tâm.....	98
7.3.2. Máy nén hướng trục.....	99
7.4. Công suất tiêu hao của máy nén và hiệu suất.....	99
CHƯƠNG VIII: CHU TRÌNH MÁY LẠNH VÀ BƠM NHIỆT	101
8.1. Khái niệm.	101
8.2. Chu trình lạnh dùng không khí.	101
8.3. Chu trình lạnh dùng hơi.....	104

GIỚI THIỆU

1. Chính sách:

- Số tiết học: 45 tiết kéo dài 15 tuần (3 tiết/tuần)
- Đánh giá trên lớp: 20% (tiểu luận, 15 phút, phát biểu xây dựng bài, thái độ, chuyên cần...)
- Thi giữa học kỳ: 30%
- Thi cuối học kỳ: 50%

2. Liên hệ GV:

- Email: hoangvanviethd@gmail.com
- SĐT: 0937.911.988

3. Nguồn tài liệu tham khảo:

- Sách, tài liệu chính:

[1] Hoàng Đình Tín – Lê Chí Hiệp, Nhiệt động lực học kỹ thuật, NXB ĐHQG, 2013.

- Sách, tài liệu tham khảo:

[1] Hoàng Đình Tín – Bùi Hải, Bài tập Nhiệt động học kỹ thuật và truyền nhiệt, Nhà xuất bản ĐHQG TP.HCM, 2012.

[2] Cengel, Y. A. – Boles, M. A., Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th Edition, McGraw-Hill' publisher, 2006.

Mua sách tại: Nhà sách giáo trình Bách Khoa, ki ốt 61-62-63, 142 Tô Hiến Thành, P.14, Q.10, TP.HCM.

SĐT: 02838. 651. 212 – 02822. 409 897

4. Mục đích môn học:

- Nắm vững các qui luật về biến đổi năng lượng (chủ yếu là nhiệt năng và cơ năng) từ đó đề xuất các biện pháp nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng.
- Tạo tiền đề cho việc nghiên cứu, thiết kế hoặc cải tiến, nâng cấp các loại máy nhiệt nói riêng và các hệ thống nhiệt nói chung.

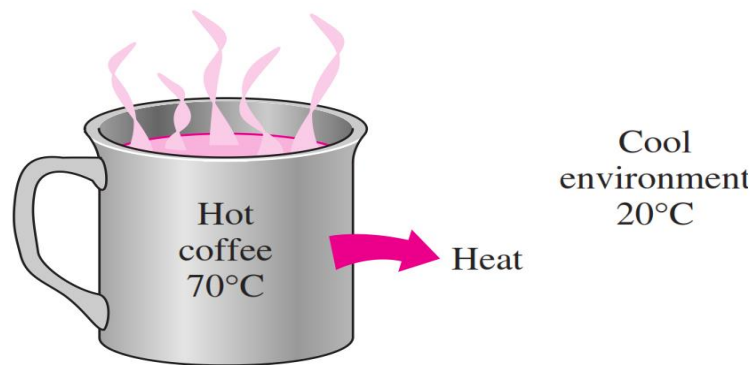
VD:

- + Các động cơ nhiệt: động cơ đốt trong, động cơ phản lực...
- + Hệ thống ĐHKK, cấp đông, trữ đông
- + Máy sấy, lò hơi
- + Bơm, quạt, máy nén
- + Các hệ thống sử dụng NLMT

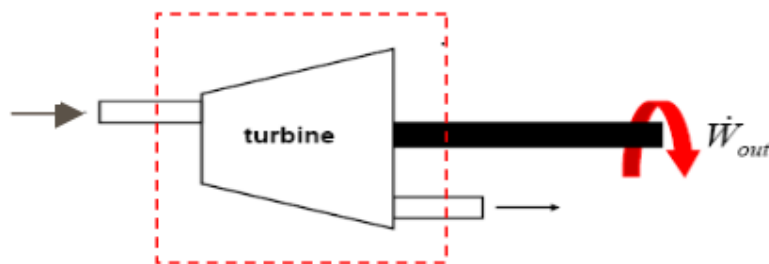
CHƯƠNG I: MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA VẬT CHẤT Ở THỂ KHÍ

1.1. Một số khái niệm và định nghĩa

Tất cả các bài toán về Nhiệt chung qui cũng chỉ nhằm: Xác định NĂNG LƯỢNG của hệ thống cũng như SỰ CHUYỂN HÓA NĂNG LƯỢNG trong hệ thống.



Hình 1.1. Ly cà phê truyền năng lượng ra môi trường



Hình 1.2. Sự chuyển hóa năng lượng từ nhiệt năng (hơi) thành cơ năng làm quay trục động cơ Turbine

1.1.1. Nhiệt lượng và công

- Nhiệt lượng: là lượng năng lượng đi xuyên qua bề mặt ranh giới khi giữa chất môi giới và môi trường có sự chênh lệch nhiệt độ:

Qui ước:

+ Vật nhận nhiệt: $Q (+)$

+ Vật thải nhiệt: $Q (-)$

- Công: là lượng năng lượng đi qua bề mặt ranh giới có khả năng dịch chuyển một vật nào đó.

Qui ước:

+ Vật sinh ra công: $W (+)$

+ Vật nhận công: $W (-)$

Đơn vị đo:

- Hệ SI: $1\text{ J (Jun)} = 1\text{ N.m}$; $1\text{ cal (calo)} = 4,18\text{ J}$

- Hệ khác: $1\text{ Btu} = 1055\text{ J} = 252\text{ cal}$; $1\text{ Wh} = 3,413\text{ Btu}$

1.1.2. Hệ nhiệt động

- Hệ nhiệt động (HND) là khoảng không gian chứa một lượng nhất định CHẤT MÔI GIỚI đang được khảo sát bằng các biện pháp nhiệt động.

- Khi xem xét một HND cần chú ý:

+ Chất môi giới là gì? Nguồn nóng là nguồn nào? Nguồn lạnh là nguồn nào?

+ Công và nhiệt lượng trao đổi khi chất môi giới biến đổi trạng thái

+ Bề mặt ranh giới ngăn cách giữa chất môi giới và môi trường?

- Phân loại hệ nhiệt động:

+ HND kín: lượng chất môi giới trong hệ thống được duy trì không đổi, chất môi giới không thể đi xuyên qua bề mặt ranh giới ngăn cách giữa hệ thống và môi trường. (VD: máy lạnh)

+ HND hở: chất môi giới có thể đi vào và đi ra khỏi hệ thống xuyên qua bề mặt ranh giới. (VD: động cơ đốt trong, tuabin khí, động cơ phản lực...)

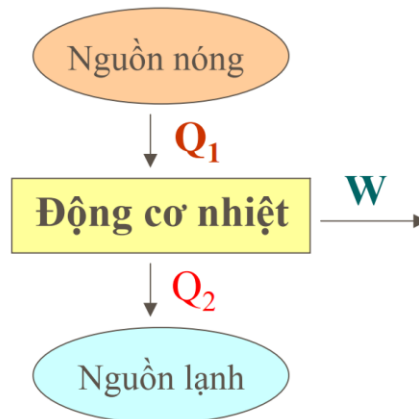
+ HND đoạn nhiệt: trong hệ thống này, chất môi giới *không có sự trao đổi nhiệt* với môi trường trong quá trình hoạt động.

+ HND cô lập: trong hệ thống này, chất môi giới và môi trường *hoàn toàn không có bất kỳ sự trao đổi năng lượng nào* trong quá trình hoạt động.

1.2.3. Máy nhiệt

1.2.3.1. Động cơ nhiệt

Đây là loại máy *dùng nhiệt để sinh công*. Trong loại máy này, chất môi giới sẽ vận chuyển nhiệt lượng theo chiều thuận từ nguồn nóng đến nguồn lạnh và giãn nở sinh công. (VD: **động cơ đốt trong**, **động cơ phản lực**, **tua bin**...)



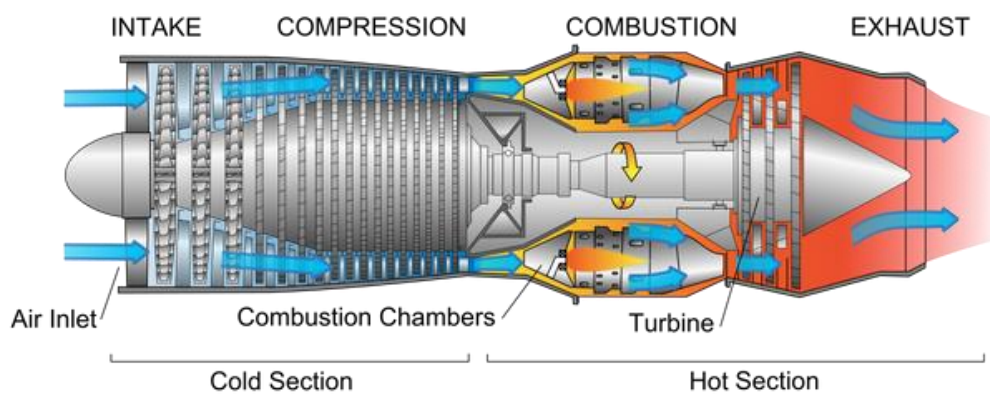
Hình 1.3. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của động cơ nhiệt

- Xét bảo toàn năng lượng cho Động cơ nhiệt:

$$Q_1 = |Q_2| + W$$

- Hiệu suất nhiệt:

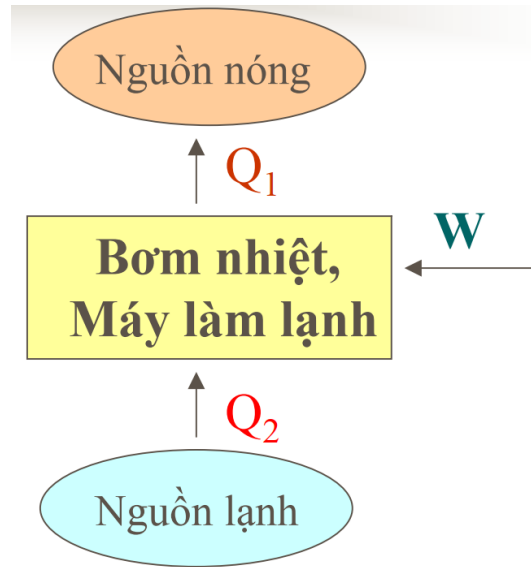
$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1}$$



Hình 1.4. Động cơ phản lực

1.2.3.2. Bơm nhiệt, máy làm lạnh

Đây là loại máy nhận công từ bên ngoài để vận chuyển nhiệt lượng theo chiều ngược từ nguồn lạnh đến nguồn nóng. (VD: máy lạnh, bơm nhiệt)



Hình 1.5. Sơ đồ nguyên lý cơ bản của máy lạnh, bơm nhiệt

- Xét bảo toàn năng lượng cho bơm nhiệt hay máy làm lạnh:

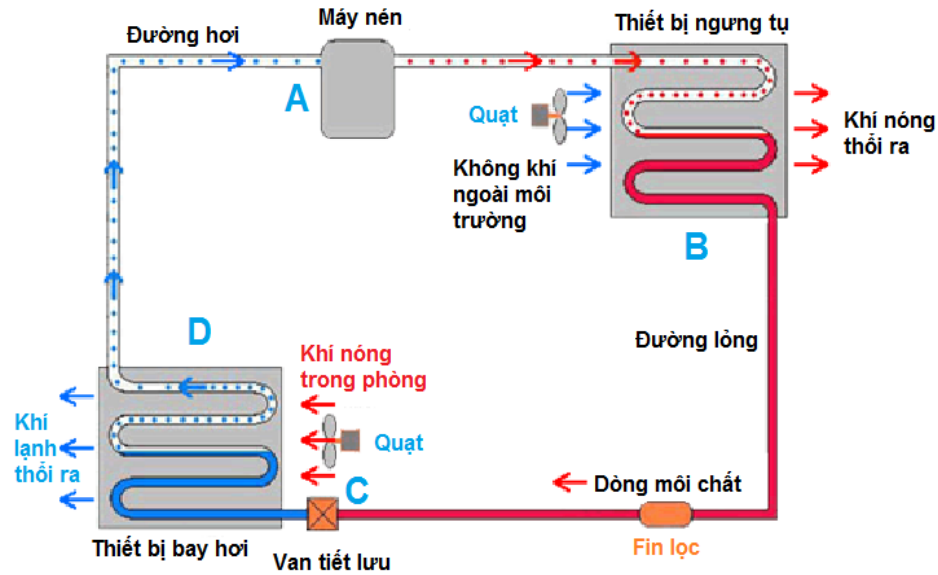
$$|Q_1| = Q_2 + |W|$$

- Hệ số làm nóng (Cho bơm nhiệt):

$$\varphi = \frac{|Q_1|}{|W|} = \frac{|Q_1|}{|Q_1| - Q_2} = \frac{|q_1|}{|q_1| - q_2} > 1$$

- Hệ số làm lạnh (Cho máy lạnh):

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2} = \frac{q_2}{|q_1| - q_2}$$



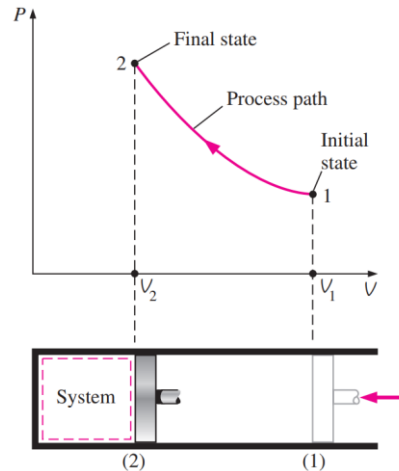
Hình 1.6. Sơ đồ nguyên lý máy làm lạnh

1.2. Thông số trạng thái

Tại một điều kiện bất kỳ, trạng thái của chất môi giới có thể được xác định bằng **hai thông số trạng thái độc lập**

Các thông số trạng thái thường dùng là:

- Nhiệt độ T
- Áp suất p
- Thể tích riêng v
- Nội năng u
- Entanpi i
- Entropi s



Hình 1.7. Giải đồ mối quan hệ giữa hai thông số trạng thái $p - v$

1.2.1. Nhiệt độ T

- Là thông số trạng thái thể hiện **mức độ nóng lạnh** của vật
- Dụng cụ đo: Nhiệt kế (NK)

Nhiệt kế có 3 loại:

- + NK thủy ngân, NK rượu: dựa trên sự giãn nở của chất lỏng
- + NK điện trở: dựa trên sự thay đổi điện trở
- + Thermocouple: dựa trên sự thay đổi dòng điện

- Đơn vị:

+ Độ bách phân ($^{\circ}\text{C}$):

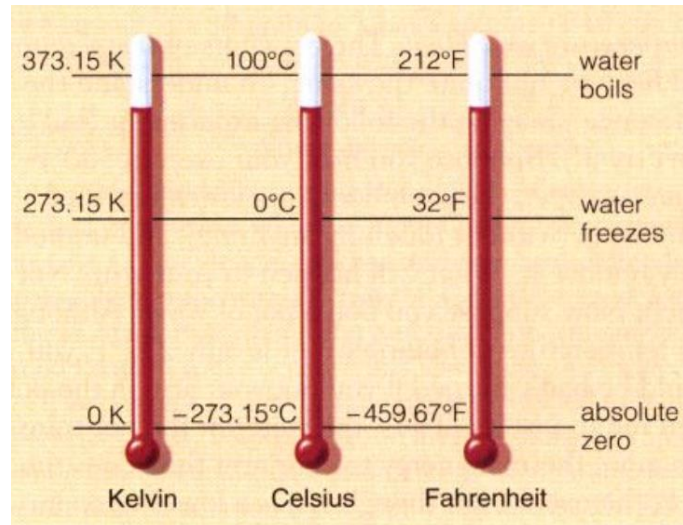
$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$$

+ Độ Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$):

$$^{\circ}\text{F} = 1,8^{\circ}\text{C} + 32$$

+ Độ Kelvin (K):

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$



Hình 1.8. *Tương quan giữa các thang đo nhiệt độ*

1.2.2. Áp suất p

- Là lực tác dụng lên một đơn vị diện tích bề mặt ranh giới theo phương pháp tuyến với bề mặt đó

$$p = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

- Dụng cụ đo:
 - + Manometer (Áp kế): dùng để đo áp suất dư $p_{\text{dư}}$, phần áp suất của chất khí lớn hơn áp suất khí trời
 - + Parometer: dùng để đo áp suất khí trời p_a
 - + Vacuometer (chân không kế): dùng để đo áp suất chân không p_{ck} , phần áp suất của chất khí nhỏ hơn áp suất khí trời.

Ta có:

$$p_{\text{td}} = p_{\text{dư}} + p_a$$

$$\text{và } p_{\text{ck}} = p_a - p_{\text{td}}$$

Trong đó p_{td} là áp suất tuyệt đối

+ Đơn vị:

$$1 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \text{ N/m}^2;$$

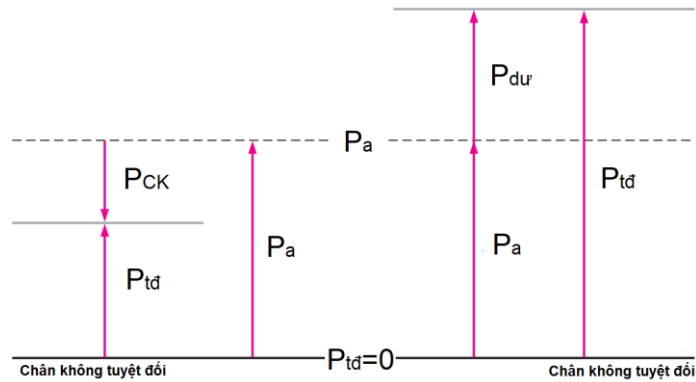
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 750 \text{ mmHg};$$

$$1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 735,6 \text{ mmHg};$$

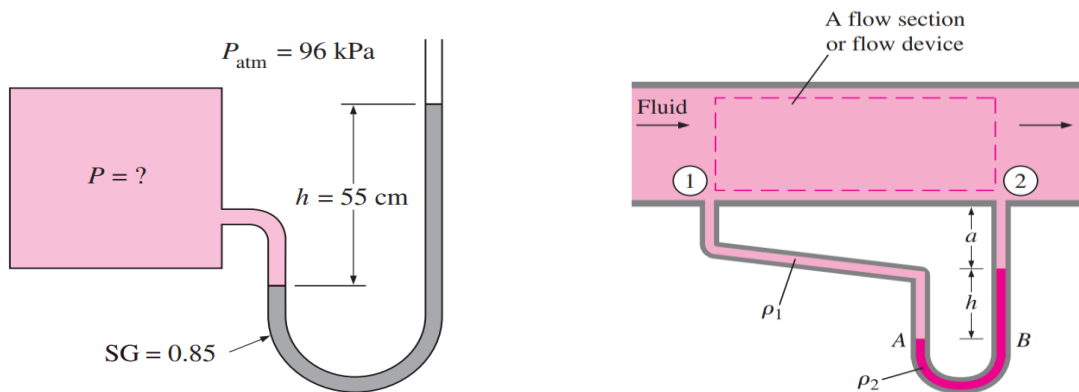
$$1 \text{ mmHg} = 133,3 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,81 \text{ N/m}^2$$

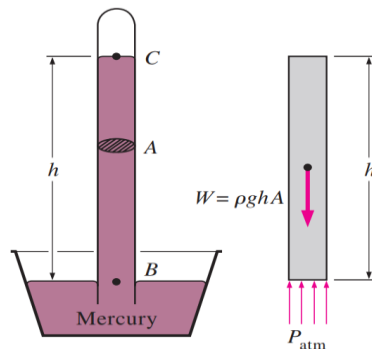
$$1 \text{ at} = 1 \text{ kgf/cm}^2 = 9,81 \text{ N/cm}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 14,223 \text{ psi}$$



Hình 1.9. Mối quan hệ giữa áp suất tuyệt đối, áp suất dư và áp suất chân không

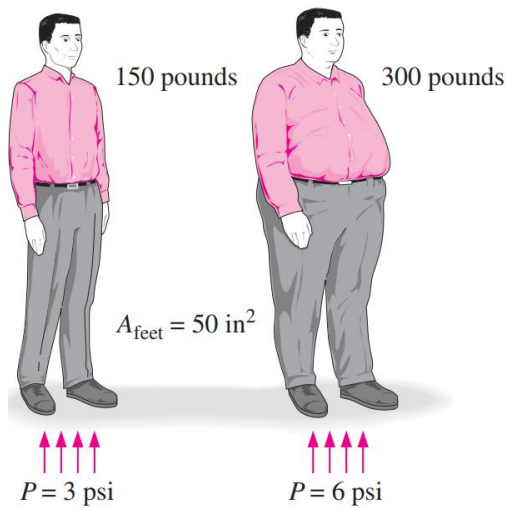


Hình 1.10. Manometer

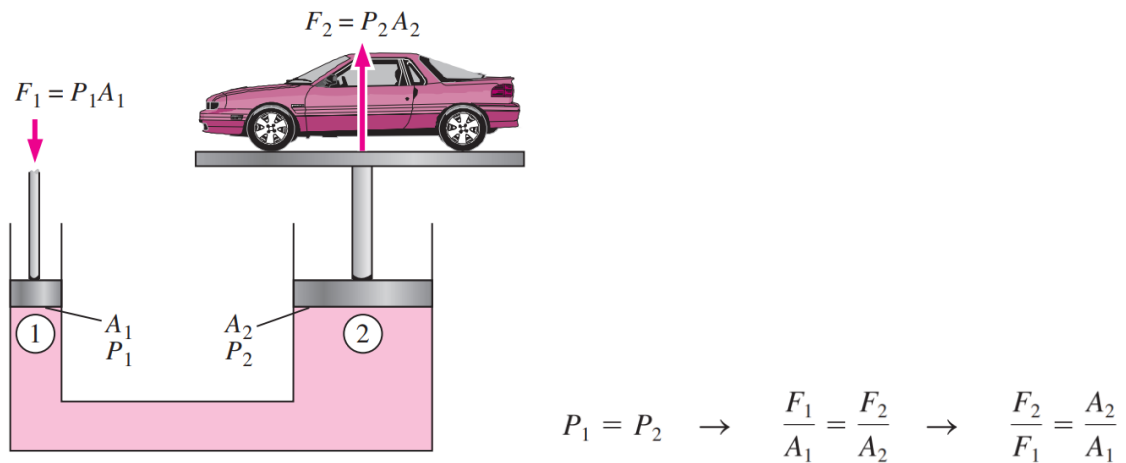


Hình 1.11. Barometer

Một số hình ảnh ví dụ về áp suất:



Hình 1.12. Áp suất của 2 người có cân nặng khác nhau lên mặt đất



Hình 1.13. Ứng dụng của áp suất để chế tạo con đội

1.2.3. Thể tích riêng v

- Là thể tích ứng với một đơn vị khối lượng

$$v = \frac{V}{G} \left(\frac{m^3}{kg} \right) \text{ Hay } v = \frac{1}{\rho}$$

Trong đó:

- + G: Khối lượng của khối chất môi giới đang khảo sát (kg)

+ V: Thể tích choán chỗ của khối chất môi giới đó (m^3)

+ ρ : Khối lượng riêng của khối chất môi giới đang khảo sát (kg/m^3)

Lưu ý: Thể tích riêng v mới là thông số trạng thái, còn thể tích V không phải là thông số trạng thái

1.2.4. Nội năng

- Nội năng là năng lượng bên trong, gây ra do chuyển động và tương tác giữa các phân tử trong vật thể. Nội năng là loại thông số trạng thái không đo trực tiếp được mà phải tính toán.

- Nội năng U của một hệ thống bao gồm:

+ Động năng U_d do chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay của các phân tử, và do các dao động trong nội bộ phân tử bên trong hệ thống

+ Thế năng U_t do lực tương tác giữa các phân tử trong hệ thống

$$U = U_d + U_t$$

- Nếu khảo sát 1kg khối lượng chất môi giới:

$$u = u_d + u_t \text{ (kJ/kg)}$$

Trọng đó: u_d là nội động năng; u_t là nội thế năng của 1 kg khối lượng

- Theo thuyết động học phân tử:

+ Nội động năng u_d chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ

+ Nội thế năng u_t phụ thuộc khoảng cách trung bình giữa các phân tử, tức phụ thuộc vào thể tích riêng

$$\text{Do đó } u = f(T, v)$$

- Đối với khí lý tưởng: Lực tương tác giữa các phân tử được xem bằng không, do đó **nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.**

- Đơn vị: kJ, kcal, kWh (hệ SI) hoặc BTU (British Thermal Unit)

Lưu ý: trong các bài toán về nhiệt động, nói chung không cần biết giá trị tuyệt đối của nội năng mà chỉ cần biết **lượng biến đổi nội năng.**

1.2.5. Entanpi

- Là loại thông số trạng thái không đo trực tiếp được mà phải tính toán hoặc tra bảng.
- Entanpi của 1 kg khối lượng chất môi giới được tính theo công thức:

$$i = u + pv \quad (kJ / kg)$$

- Đối với khí lý tưởng, do u và pv chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nên i cũng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ

Lưu ý: trong các bài toán về nhiệt động, nói chung không cần biết giá trị tuyệt đối của entanpi mà chỉ cần biết lượng biến đổi entanpi.

1.2.6. Entropi

- Lượng biến đổi entropi ds của 1kg khối lượng chất môi giới trong 1 quá trình thuận nghịch được tính theo công thức:

$$ds = \frac{\delta q}{T} \quad \text{hay} \quad dS = \frac{\delta Q}{T}$$

Cho G kg chất môi giới ta có $dS = G \cdot ds$

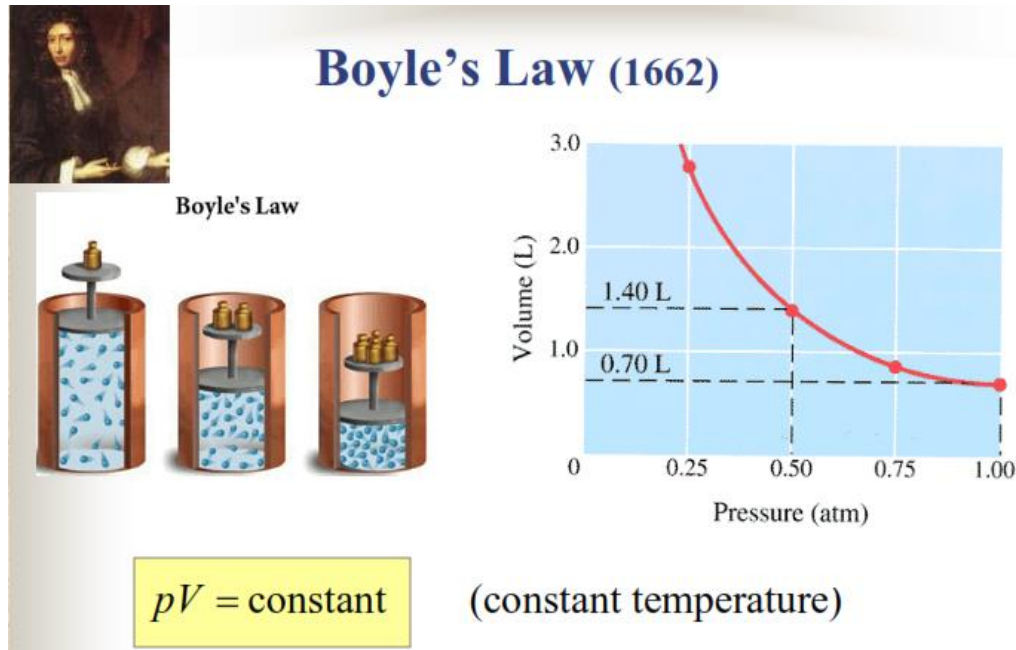
Trong đó:

- + δq là nhiệt lượng trao đổi giữa chất môi giới và môi trường trong quá trình thuận nghịch vô cùng bé
- + T là nhiệt độ tuyệt đối [K]
- Đơn vị: kJ/kg.K hoặc kcal/kg.K

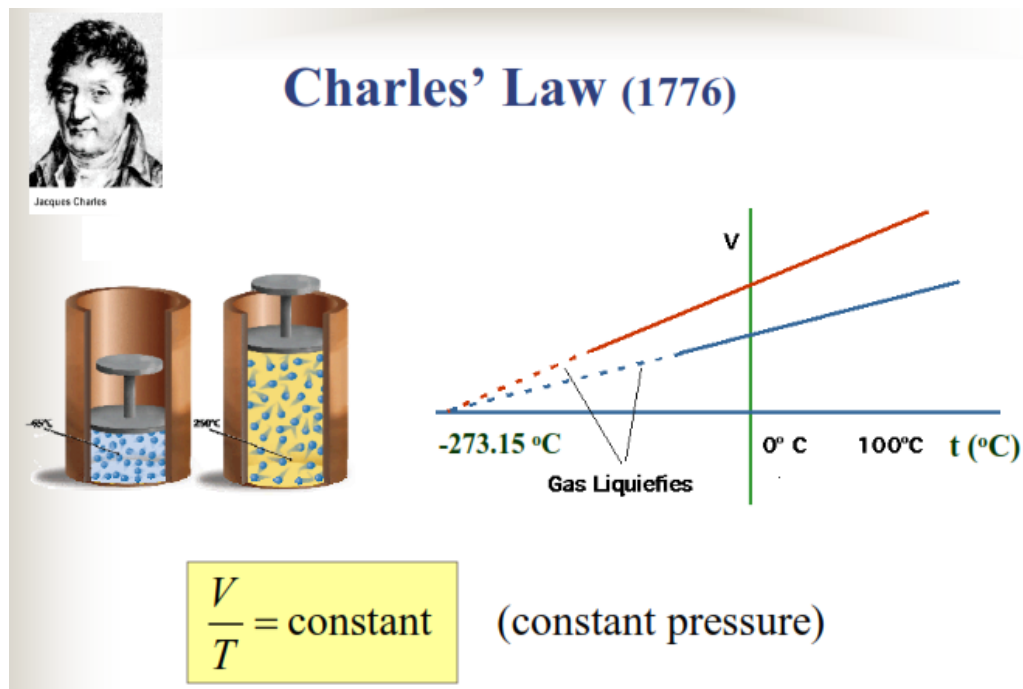
1.3. Phương trình trạng thái của vật chất ở thể khí**1.3.1. Phương trình trạng thái khí lý tưởng**

- Khí được xem là khí lý tưởng nếu thỏa mãn 2 điều kiện sau:
 - + Không có lực tương tác giữa các phân tử và nguyên tử
 - + Không có thể tích bản thân phân tử
- Khí thực có thể xem là khí lý tưởng ở điều kiện áp suất khá thấp và nhiệt độ khá cao.

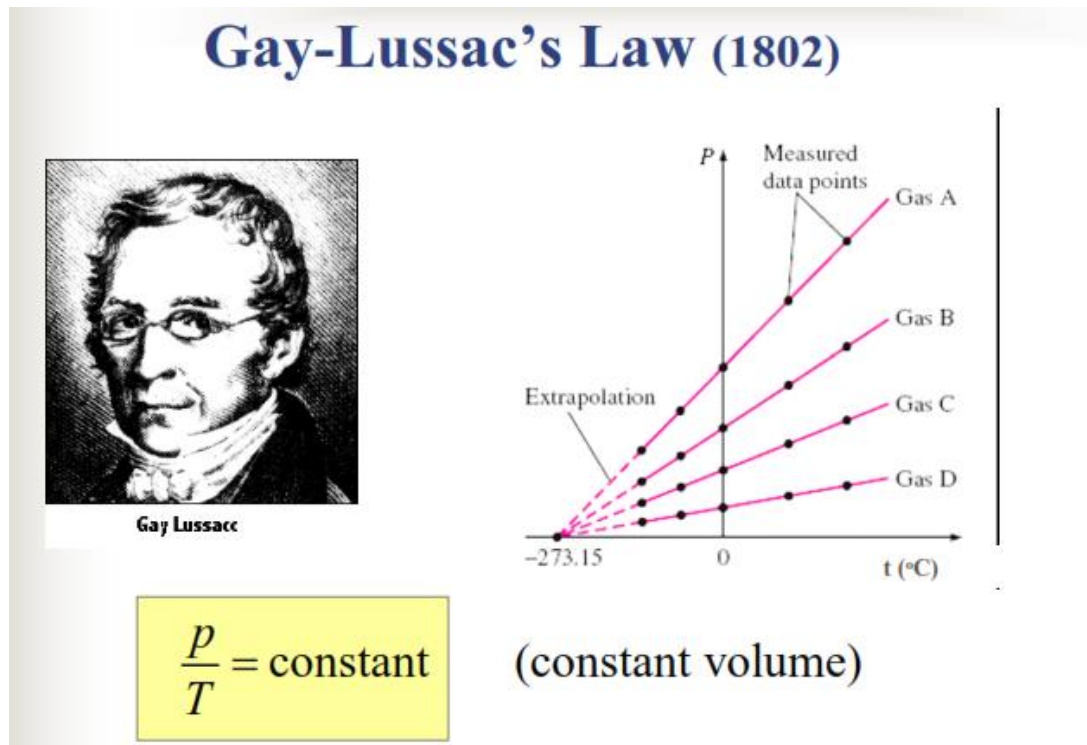
- Mối quan hệ giữa các thông số p , v , t của khí lý tưởng đầu tiên được rút ra từ các kết quả thực nghiệm, sau đó được chứng minh bằng lý thuyết nhờ thuyết động học phân tử.



Hình 1.14. Định luật Boyle (Nhiệt độ không đổi)



Hình 1.15. Định luật Charles (Áp suất không đổi)



Hình 1.16. Định luật gay-Lussac (Thể tích không đổi)

Phương trình trạng thái khí lý tưởng (pt Clapeyron):

$$pv = RT \quad \text{hay} \quad pV = GRT$$

Trong đó:

- + p (N/m²): áp suất tuyệt đối của khối khí đang xét
- + v (m³/kg): thể tích riêng của khối khí đang xét
- + V (m³): thể tích của khối khí đang xét
- + T (K): nhiệt độ tuyệt đối của khối khí đang xét
- + G (kg): khối lượng của khối khí đang xét
- + R (J/kg.K): hằng số của chất khí đang xét

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8413}{\mu}$$

Với μ là khối lượng phân tử của 1 kmol khí đang xét (VD: μ của O_2 là 32 kg, của N_2 là 28...)

Ví dụ 1.1: Xác định thể tích riêng của CO_2 tại $p = 70 \text{ bar}$, $t = 40^\circ C$ nếu xem khí CO_2 ở điều kiện trên là khí lý tưởng.

Giải:

$$CO_2 \Rightarrow \mu = 12 + 2.16 = 44 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{Suy ra: } R_{CO_2} = \frac{8413}{44} = 188,955 \left(\frac{J}{kg.K} \right)$$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{p} = \frac{188,995.(40 + 273)}{70.10^5} = 0,00845 \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

1.3.2. Phương trình trạng thái khí thực

- Có hơn 200 phương trình trạng thái của khí thực đã được công bố, hầu như tất cả đều xuất phát từ thực nghiệm.
- Phương trình Van der Waals được thành lập năm 1873 dựa trên phương trình trạng thái của khí lý tưởng:

$$\left(p + \frac{a}{v_\mu^2} \right) (v_\mu - b) = R_\mu T \quad \text{với} \quad \begin{aligned} v_\mu &= v \cdot \mu \quad (m^3 / kmol) \\ R_\mu &= 8314 \quad (J / kmol.K) \end{aligned}$$

Trong đó:

- + a: hệ số hiệu chỉnh khi tính đến lực tương tác giữa các phân tử
- + b: hệ số hiệu chỉnh khi kể đến thể tích bản thân của phân tử

Bảng 1.1: Thông số a và b cho phương trình khí thực Van der Waals

Khí thực	$a, \text{bar} \cdot (\text{m}^3/\text{kmol})^2$	$b, \text{m}^3/\text{kmol}$
Air	1.368	0.0367
Butane (C_4H_{10})	13.86	0.1162
Carbon dioxide	3.647	0.0428
Carbon monoxide	1.474	0.0395
Methane	2.293	0.0428
Nitrogen	1.366	0.0386
Oxygen	1.369	0.0317
Propane (C_3H_8)	9.349	0.0901
Sulfur dioxide (SO_2)	6.883	0.0569
Water	5.531	0.0305

Ví dụ 1.2: Xác định thể tích riêng của CO_2 tại $p = 70 \text{ bar}$, $t = 40^\circ\text{C}$ khi xem CO_2 ở điều kiện trên là khí thực, sử dụng pt Van der Waals:

Giải:

Dựa vào bảng 1, đối với khí CO_2 ta có $a = 3,647 \text{ bar} \cdot (\text{m}^3/\text{kmol})^2$ và $b = 0,0428 \text{ m}^3/\text{kmol}$

Suy ra:

$$\left(p + \frac{a}{v_\mu^2} \right) (v_\mu - b) = R_\mu T \Leftrightarrow \left(70 \cdot 10^5 + \frac{3,647 \cdot 10^5}{v_\mu^2} \right) (v_\mu - 0,0428) = 8314 \cdot (40 + 273)$$

$$\Leftrightarrow 70v_\mu^3 - 29,019v_\mu^2 + 3,647v_\mu - 0,1561 = 0$$

$$\Rightarrow v_\mu = 0,23 (\text{m}^3 / \text{kmol})$$

$$\Rightarrow v = \frac{v_\mu}{\mu} = \frac{0,23}{44} = 0,005227 (\text{m}^3 / \text{kg})$$

1.4. Hỗn hợp khí lý tưởng

- Hỗn hợp các khí lý tưởng cũng là khí lý tưởng

- Thành phần khối lượng: $g_i = \frac{G_i}{G}$

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n \Rightarrow \sum_{i=1}^n g_i = 1$$

- Thành phần thể tích: $r_i = \frac{V_i}{V}$

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \Rightarrow \sum_{i=1}^n r_i = 1$$

- Định luật Gibbs-Dalton

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

- Hằng số chất khí R_{hh} của hỗn hợp

+ Phân tử lượng tương đương của hỗn hợp

$$\mu_{hh} = \frac{1}{\frac{g_1}{\mu_1} + \frac{g_2}{\mu_2} + \dots + \frac{g_n}{\mu_n}} \quad (\text{Nếu biết } g_i \text{ của hỗn hợp})$$

Hay: $\mu_{hh} = r_1\mu_1 + r_2\mu_2 + \dots + r_n\mu_n$ (Nếu biết r_i của hỗn hợp)

+ Quan hệ giữa r_i và g_i : $g_i = \frac{\mu_i r_i}{\mu_{hh}}$

+ Hằng số chất khí tương đương R_{hh} của hỗn hợp: $R_{hh} = \frac{R_\mu}{\mu_{hh}} = \frac{8314}{\mu_{hh}} \left(\frac{J}{kg.K} \right)$

- Thể tích riêng và khối lượng riêng của hỗn hợp

$$v_{hh} = \frac{V_{hh}}{G_{hh}} = \frac{g_1}{\rho_1} + \frac{g_2}{\rho_2} + \dots + \frac{g_n}{\rho_n} \quad (\text{Nếu biết } g_i \text{ của hỗn hợp})$$

$$\rho_{hh} = \frac{G_{hh}}{V_{hh}} = r_1 \rho_1 + r_2 \rho_2 + \dots + r_n \rho_n \quad (\text{Nếu biết } r_i \text{ của hỗn hợp})$$

- Phân áp suất của các thành phần

$$p_{hh} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

$$p_i = p_{hh} g_i \frac{\mu_{hh}}{\mu_i}$$

Ví dụ 1.3: Hỗn hợp khối thải gồm 12,5% CO₂, 4% O₂, 83,5% N₂. Xác định v_{hh} tại: $p = 100\text{kPa}$, $t = 227^\circ\text{C}$.

Giải:

Xem hỗn hợp là khí lý tưởng ta có:

$$v_{hh} = \frac{R_{hh} T_{hh}}{p_{hh}}$$

Tính R_{hh} : $R_{hh} = \frac{R_\mu}{\mu_{hh}} \left(\frac{J}{kg.K} \right)$

với $\mu_{hh} = r_1 \mu_1 + r_2 \mu_2 + r_3 \mu_3 = 0,125.44 + 0,004.32 + 0,835.28 = 30,16 (kg / kmol)$

suy ra $R_{hh} = 275,66 (J/kg.K)$

Từ đây tính được thể tích riêng của hỗn hợp khí lý tưởng:

$$v_{hh} = \frac{R_{hh} T_{hh}}{p_{hh}} = \frac{275,66.(227 + 273)}{100.10^3} = 1,3783 \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

CHƯƠNG II: ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ NHẤT VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

2.1. Công

$$\text{Công} = \text{Công kỹ thuật} + \text{Công lưu động}$$

Công kỹ thuật:

- Công giãn nở (nén) trong hệ thống kín
- Công liên quan đến trục quay
- Công liên quan đến hiệu ứng điện

Công lưu động: trong hệ thống hở

+ Tính Công khi lực không đổi:

$$W = F \cdot x \text{ (J)}$$

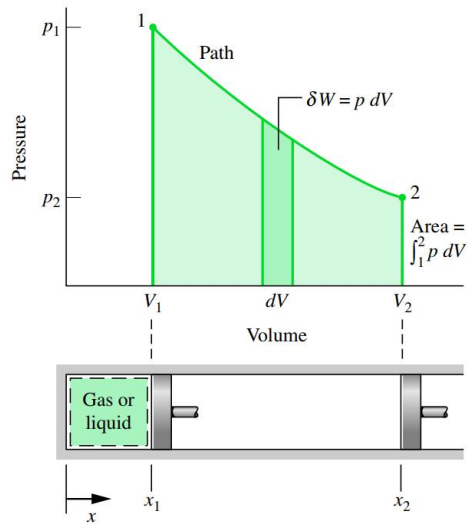
+ Tính Công khi lực thay đổi:

$$W = \int_1^2 F \cdot (x) dx \text{ (J)}$$

- Tính công giãn nở hoặc nén trong hệ thống kín:

Công sinh ra khi chất môi giới thay đổi thể tích từ trạng thái 1 -> 2 là:

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$



Hình 2.1. Biểu đồ thể hiện công giãn nở hoặc nén trong hệ thống kín

+ Trong trường hợp đẳng áp $p = \text{const}$, ta có: $W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$

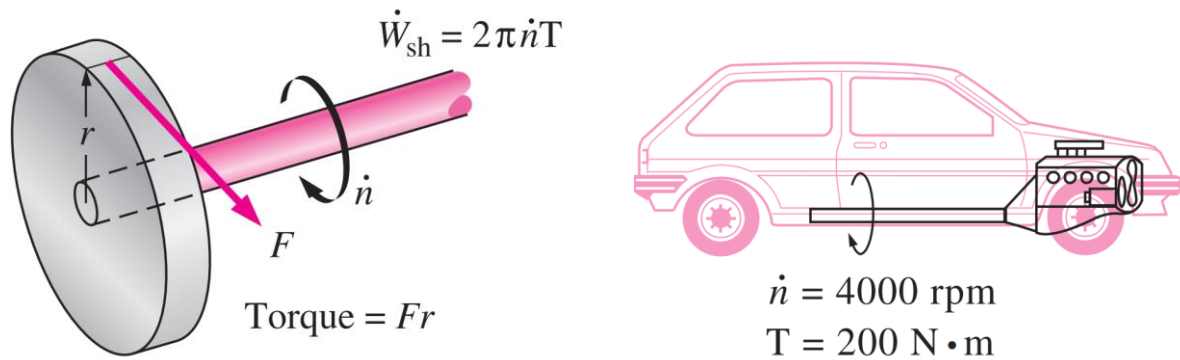
+ Trong trường hợp đẳng nhiệt $T = \text{const}$, ta có:

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = GRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = GRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Với $p = \frac{GRT}{V}$ (Khí lý tưởng)

$$\Leftrightarrow W_{12} = p_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

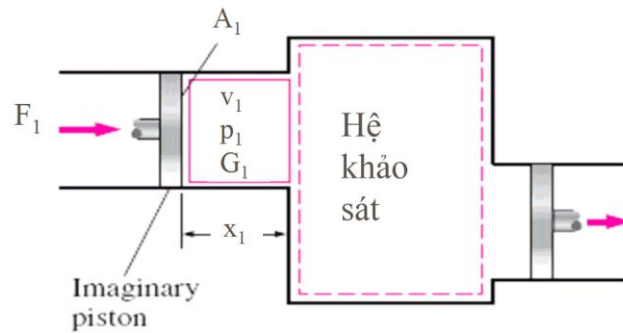
- Tính công liên quan đến trục quay:



Hình 2.2. Công liên quan đến trục quay

$$P = W_{sh} = 2\pi \cdot n \cdot T = 2\pi \cdot \frac{4000}{60} \cdot 200 = 83733(\text{W}) = 83,73(\text{kW})$$

- Tính lưu động (dòng chảy) trong hệ thống hở:



Hình 2.3. Công lưu động (dòng chảy) trong hệ thống hở

Tại đầu vào: hệ Nhận một công lưu động:

$$W_{ld}^1 = -F_1 x_1 = -F_1 \frac{V_1}{A_1} = -p_1 V_1$$

$$W_{ld}^1 = -G_1(p_1 v_1)$$

Tại đầu ra: hệ Sinh một công lưu động:

$$W_{ld}^2 = -F_2 x_2 = -F_2 \frac{V_2}{A_2} = -p_2 V_2$$

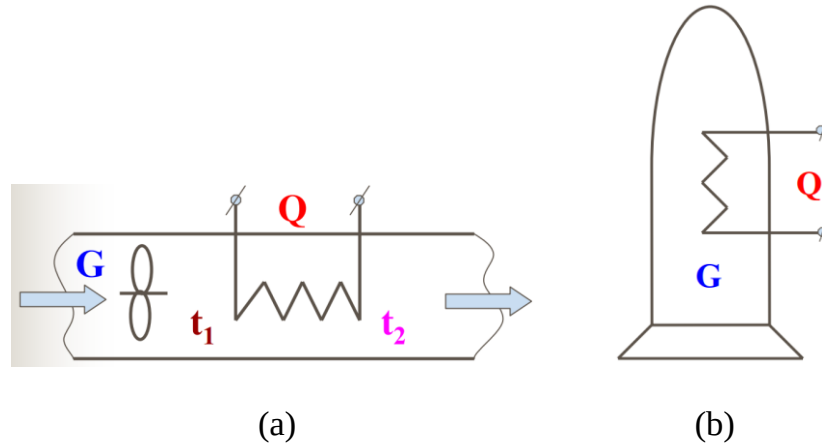
$$W_{ld}^2 = -G_2(p_2 v_2)$$

Vậy công lưu động của hệ: $W_{ld} = G_2(p_2 v_2) - G_1(p_1 v_1)$

2.2. Nhiệt lượng

2.2.1. Tính Nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng

- Quá trình là đẳng áp: $Q = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$ (kJ)



Hình 2.4. Quá trình đẳng áp (a) và đẳng tích (b)

- Quá trình là đẳng tích: $Q = G \cdot c_v \cdot (t_2 - t_1)$ (kJ)

Trong đó:

- + Q (kJ): nhiệt lượng cung cấp cho quá trình
- + G (kg): khối lượng chất môi giới
- + c_p (kJ/kg.°C): nhiệt dung riêng đẳng áp của quá trình
- + c_v (kJ/kg.°C): nhiệt dung riêng đẳng tích của quá trình
- + t_1, t_2 (°C): nhiệt độ đầu và cuối quá trình
- Tóm tắt về Nhiệt dung riêng (NDR):
 - + Định nghĩa: NDR của 1 chất được định nghĩa là năng lượng cần cung cấp để 1 kg chất tăng thêm 1 độ C.
 - + Đơn vị: kJ/kg.°C hoặc kcal/ kg.°C
 - + Phân loại:
 - NDR đẳng áp c_p
 - NDR đẳng tích c_v

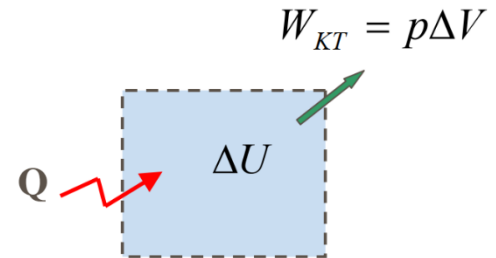
2.2.1.1. Nhiệt dung riêng của chất khí

- Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$): Thể hiện sự thay đổi Entanpi theo nhiệt độ

$$dU = Q - W_{KT} \Rightarrow dU = Gc_p dT - pdV$$

$$\Rightarrow d(U + pV) = Gc_p dT$$

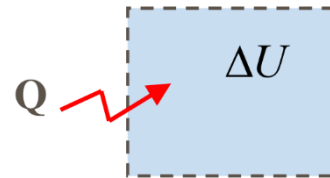
$$\Rightarrow c_p = \left(\frac{\partial i}{\partial T} \right)_p$$



- Quá trình đẳng tích ($p = \text{const}$): Thể hiện sự thay đổi Nội năng theo nhiệt độ

$$dU = Q - W_{KT} \Rightarrow dU = Gc_v dT - pdV = Gc_v dT$$

$$\Rightarrow c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$



Chú ý: chúng ta luôn có $c_p > c_v$

- Riêng đối với khí lý tưởng:

$$pv = RT \Rightarrow i = u + RT$$

Vì u của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc nhiệt độ nên:

$$\frac{di}{dT} = \frac{du}{dT} + R \Rightarrow c_p = c_v + R$$

$k = \frac{c_p}{c_v}$ được gọi là số mũ đoạn nhiệt của khí lý tưởng

- Phân loại NDR của chất khí:
 - + NDR khối lượng: c (kJ/kg.°C)
 - + NDR thể tích: c' (kJ/m³.°C)
 - + NDR kmol: c_μ (kJ/kmol.°C)
- Quan hệ giữa các loại NDR:

$$c_\mu = \mu.c = 22,4.c'$$

- Thường sử dụng nhất: c_p , $c_{\mu p}$ (đẳng áp), c_v , $c_{\mu v}$ (đẳng tích),
- NDR khối lượng của hỗn hợp khí:

$$c_{hh} = \sum_{i=1}^n g_i c_i$$

Với g_i là các thành phần khối lượng của hỗn hợp

Bảng 2.1: Bảng NDR kmol của một số loại khí (kcal/kmol.°C)

Loại khí	kcal/kmol.độ		$k = c_p/c_v$
	$c_{\mu v}$	$c_{\mu p}$	
Khí 1 nguyên tử	3	5	1.6
Khí 2 nguyên tử (O ₂ , N ₂ , ...)	5	7	1.4
Khí 3 và nhiều nguyên tử (CO ₂ , NH ₃ , ...)	7	9	1.3

Chú ý: 1kcal = 4,186 kJ

Bảng 2.2: Bảng NDR kmol của một số loại khí (kJ/kmol.°C)

Loại khí	kJ/kmol.độ		$k = c_p/c_v$
	$c_{\mu v}$	$c_{\mu p}$	
Khí 1 nguyên tử	12.6	20.9	1.6
Khí 2 nguyên tử ($O_2, N_2, \dots$)	20.9	29.3	1.4
Khí 3 và nhiều nguyên tử ($CO_2, NH_3, \dots$)	29.3	37.7	1.3

Ví dụ 2.1:

- Khí O_2 : $c_{\mu p} = 29,3 \rightarrow c_p = c_{\mu p} / \mu = 29,3 / 32 = 0,9156 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$

- Khí CO_2 : $c_{\mu p} = 37,7 \rightarrow c_p = c_{\mu p} / \mu = 37,7 / 44 = 0,857 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$

- Không khí: $c_{p(kk)} = 0,23c_{p(O_2)} + 0,77c_{p(N_2)} = 1,016 \text{ (kJ / kg.}^\circ\text{C)}$

2.2.1.2. Tính NDR cho chất lỏng và chất rắn

- Đối với chất lỏng và chất rắn: $v = \text{const}$ nên $c_p = c_v = c$

+ Nội năng: chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ:

$$du = c(T)dT \Rightarrow \Delta u = c_{TB}(T_2 - T_1)$$

+ Entanpi:

$$di = d(u + pv) = du + pdv + vdp = du + vdp \text{ (vì } v = \text{const nên } pdv = 0)$$

$$\text{Suy ra: } \Delta i = c_{TB}\Delta T + vdp \text{ (kJ / kg)}$$

- Chất rắn: $v\Delta p$ không đáng kể nên $\Delta i = \Delta u = c_{TB}\Delta T \text{ (kJ / kg)}$

- Chất lỏng:

$$+ \text{ Quá trình đẳng áp: } \Delta i = \Delta u = c_{TB}\Delta T \text{ (kJ / kg)}$$

+ Quá trình đẳng nhiệt (Bơm): $\Delta i = v\Delta p$ (kJ / kg)

2.2.2. Tính nhiệt lượng theo sự thay đổi Entropi

Lượng biến đổi entropi ds của 1 kg khối lượng chất môi giới trong 1 quá trình thuận nghịch được tính theo công thức:

$$ds = \frac{\delta q}{T} \Rightarrow q = \int_1^2 Tds$$

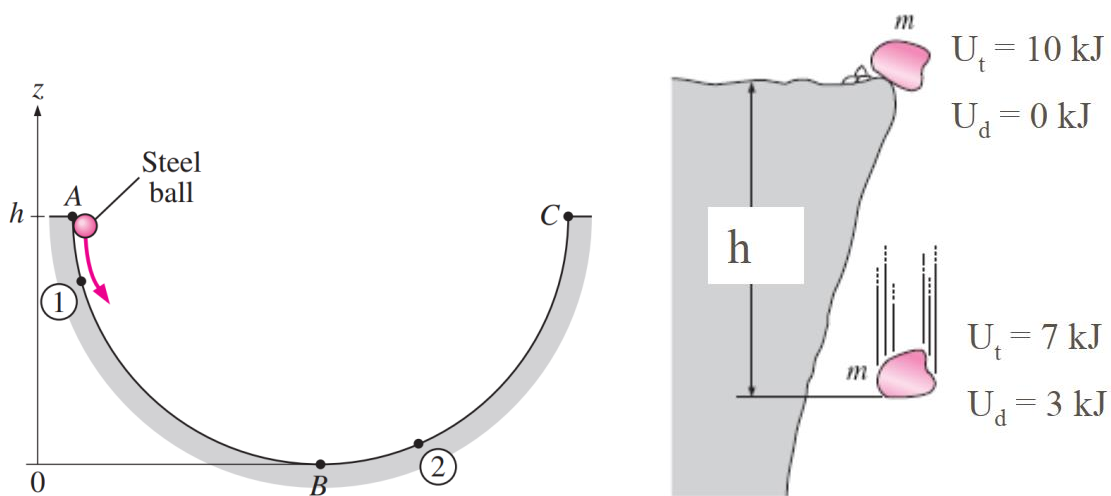
2.3. Định luật nhiệt động thứ nhất

Định luật nhiệt động thứ nhất thực chất là **định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng** ứng dụng trong phạm vi NHIỆT

“Năng lượng không tự nhiên sinh ra hoặc mất đi mà chỉ có thể chuyển từ dạng này sang dạng khác”

Vậy: Tổng năng lượng của 1 hệ cô lập là không đổi

$$E_1 = E_2$$



Năng lượng của một hệ E:

$$E = N_t + N_d + U = \text{const}$$

Thế năng
Động năng
Nội năng

$N_t = mgh$
 $N_d = \frac{1}{2}m\omega^2$
 $U = f(T, x)$

- Nếu hệ không trao đổi năng lượng (Công, Nhiệt) với bên ngoài:

$$E = N_t + N_d + U = \text{const} \quad \text{hay} \quad \Delta E = 0$$

- Nếu hệ có trao đổi năng lượng (Công, Nhiệt) với bên ngoài $\Delta E \neq 0$

Định luật nhiệt động thứ 1

$$\Delta E = Q - W$$

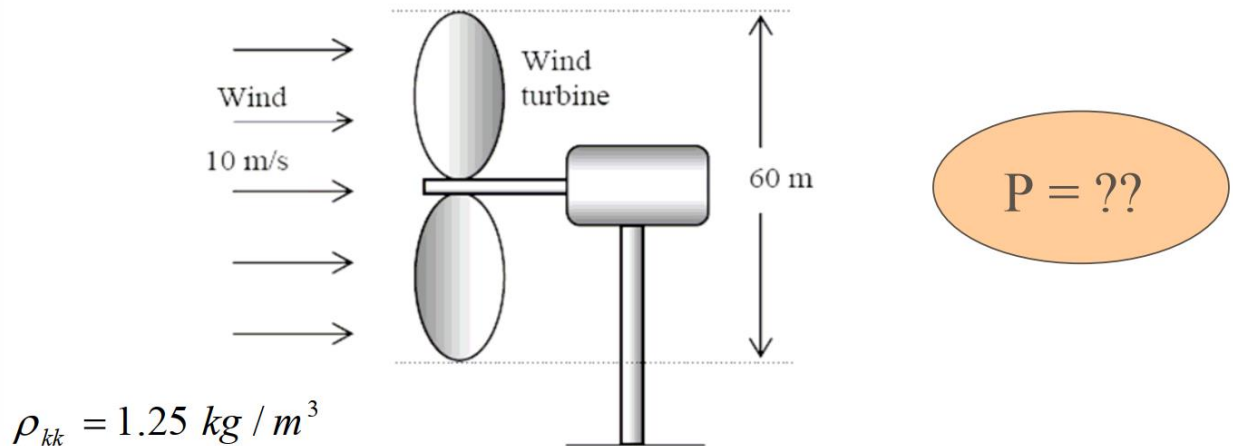
Lượng biến đổi năng lượng của hệ = **Nhiệt lượng mà hệ NHẬN VÀO** - **Công do hệ SINH RA**

Chú ý:

- Khi thế năng và động năng hệ không thay đổi: $\Delta E = \Delta U$
- **Q mang dấu**
 - dương (+) khi hệ nhận nhiệt
 - âm (-) khi hệ sinh nhiệt
- **W mang dấu**
 - dương (+) khi hệ sinh công
 - âm (-) khi hệ nhận công

Một số ví dụ về ĐLNĐ 1:

Ví dụ 2.2: Tính công suất động cơ gió:

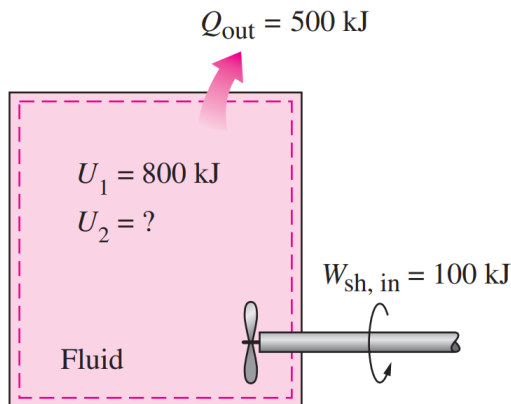


Ta có:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = Q - W \Leftrightarrow 0 - \frac{1}{2} m \cdot \omega_1^2 = 0 - P \cdot t$$

$$\Rightarrow P = \frac{1}{2} \frac{m}{t} \cdot \omega_1^2 = \frac{1}{2} \left(10 \cdot \pi \cdot \frac{60^2}{4} \cdot 1.25 \right) \cdot 10^2 = 1766250 \text{ (W)} \approx 1766 \text{ (kW)}$$

Ví dụ 2.3: Làm nguội bình chứa bằng máy khuấy

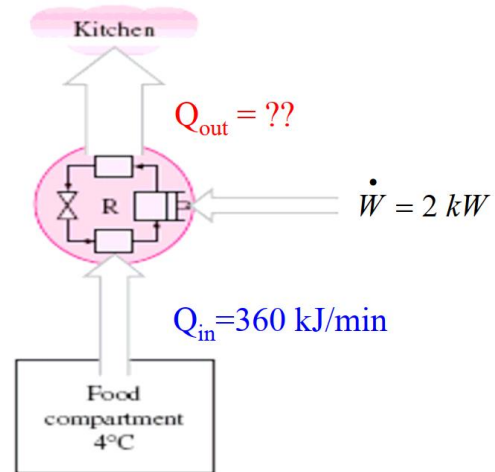


Ta có:

$$\Delta E = \Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$$

$$\Rightarrow U_2 = U_1 + Q - W = 800 + (-500) - (-100) = 400 \text{ (kJ)}$$

Ví dụ 2.4: Nhiệt tỏa ra từ tủ lạnh

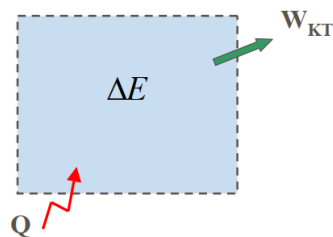


Ta biết rằng nội năng của hệ không đổi, ta có:

$$\Delta E = \Delta U = U_2 - U_1 = Q_{in} - Q_{out} - (-W) = 0$$

$$\Rightarrow Q_{in} - Q_{out} + W = 0 \Rightarrow Q_{out} = Q_{in} + W = 360 + 2.60 = 480 \text{ (kJ / min)}$$

2.3.1. Định luật nhiệt động thứ nhất viết cho hệ kín



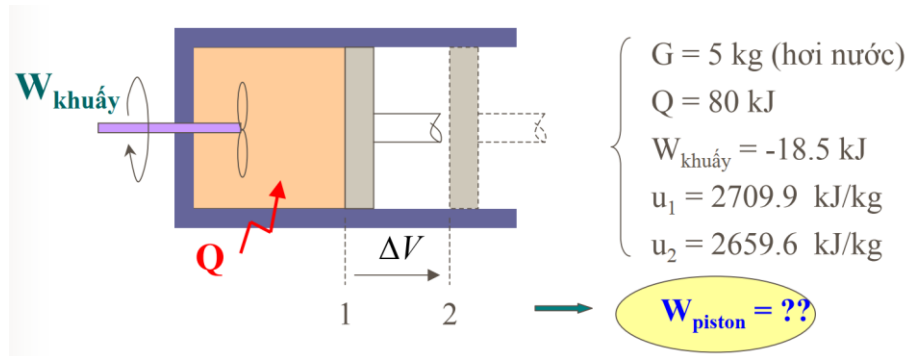
Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng:

$$E_1 + Q = E_2 + W_{KT} \Rightarrow \Delta E = Q - W_{KT}$$

Trong các hệ nhiệt động kín, thường không có sự thay đổi về động năng và thế năng:

$$\Delta E = \Delta U = Q - W_{KT}$$

Ví dụ 2.5:



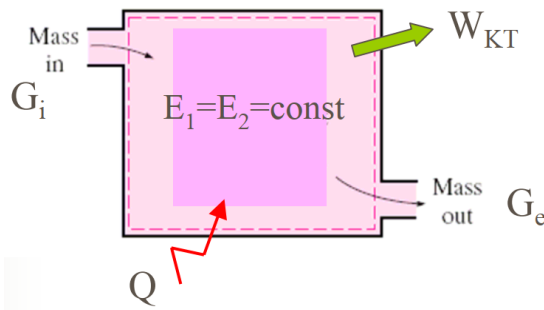
Đây là hệ nhiệt động kín nên:

$$\Delta E = \Delta U = G(u_2 - u_1) = Q - W_{KT} = 80 - (W_{\text{piston}} - 18,5)$$

$$\Rightarrow W_{\text{piston}} = 80 + 18,5 - 5 \cdot (2659,6 - 2709,9) = 350 \text{ (kJ)}$$

Công dương nên Piston sinh công, hơi nước giãn nở

2.3.2. Định luật nhiệt động thứ nhất viết cho hệ hở



Bảo toàn khối lượng

$$\sum_i G_i = \sum_e G_e$$

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng:

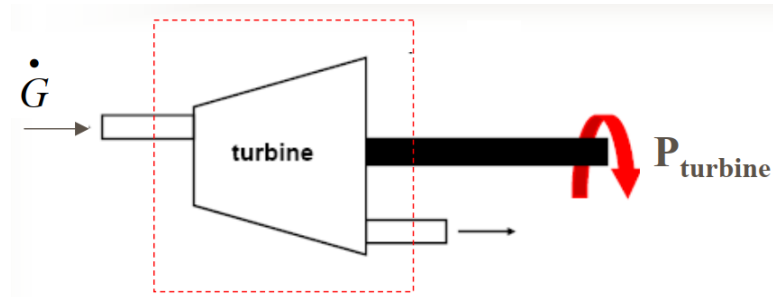
$$E_1 + G_i \left(u_i + \frac{\omega_i^2}{2} + gz_i \right) + G_i (p_i v_i) + Q = E_2 + G_e \left(u_e + \frac{\omega_e^2}{2} + gz_e \right) + G_e (p_e v_e) + W_{KT}$$

Đối với hệ hở hoạt động ở chế độ ổn định: $E_1 = E_2$; $G_i = G_e$

$$G \left[(i_e - i_i) + \frac{(\omega_e^2 - \omega_i^2)}{2} + g(z_e - z_i) \right] = Q - W_{KT}$$

Một số ứng dụng của ĐLNĐ 1 cho hệ hở:

A) Tua bin -> sinh công



- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho Tuabin:

$$G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 \right) = G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 \right) + P_{Turbine} + Q$$

- Turbin cách nhiệt với môi trường xung quanh ($Q = 0$)
- Sự thay đổi **động năng** và **thế năng** của lưu chất trong tuabin là không đáng kể so với sự thay đổi entanpi

$$\Rightarrow P_{turbine} = G(i_1 - i_2) \quad (\text{W, kW, MW})$$

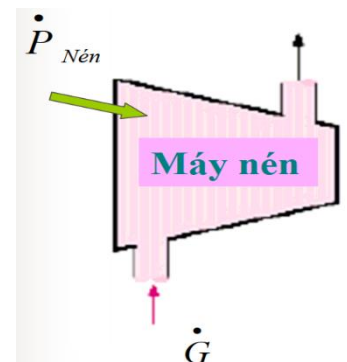
B) Máy nén (khí) -> Tăng áp suất

- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho máy nén khí:

$$P_{Nen} + G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 \right) = Q + G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 \right)$$

- Máy nén khí cách nhiệt với môi trường xung quanh ($Q = 0$)
- Sự thay đổi **động năng** và **thế năng** của lưu chất trong máy nén khí là không đáng kể so với sự thay đổi entanpi

$$\Rightarrow P_{Nen} = G(i_2 - i_1) \quad (\text{W, kW, MW})$$



Chú ý: Công cung cấp làm tăng entanpi $\rightarrow$ tăng áp suất và nhiệt độ dòng khí ra khỏi máy nén.

C) Bơm nước $\rightarrow$ Tăng áp suất

- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho máy bơm nước:

$$P_{Bom} + G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 \right) = Q + G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 \right)$$

- Bơm nước cách nhiệt với môi trường xung quanh ($Q = 0$)

- Sự thay đổi **động năng** của chất lỏng hoạt động trong bơm là không đáng kể so với sự thay đổi entanpi

$$\Rightarrow P_{Bom} = G \left[(i_2 - i_1) + g(z_2 - z_1) \right] \quad (W, kW, MW)$$

Trong đó: $(i_2 - i_1) = v(p_2 - p_1)$

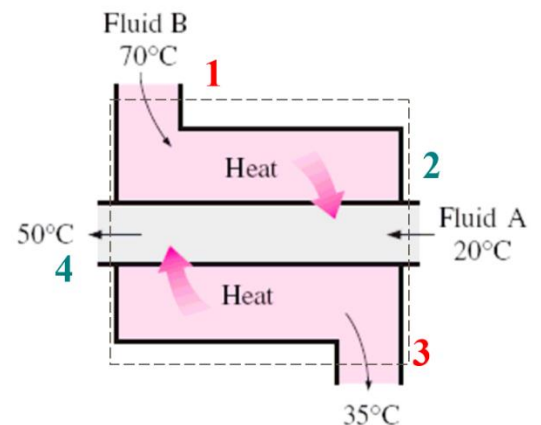
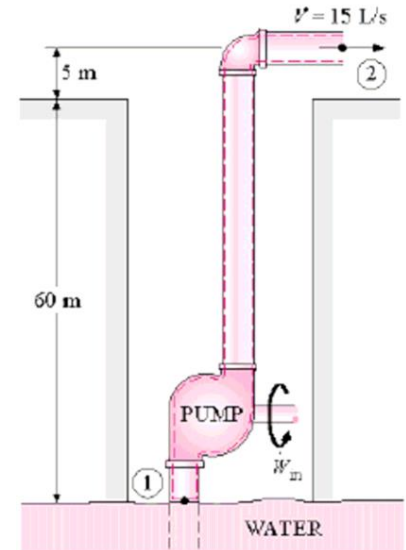
$$\text{Vậy: } P_{Bom} = G[v\Delta p + g\Delta z] \quad (W, kW, MW)$$

D) Bình trao đổi nhiệt

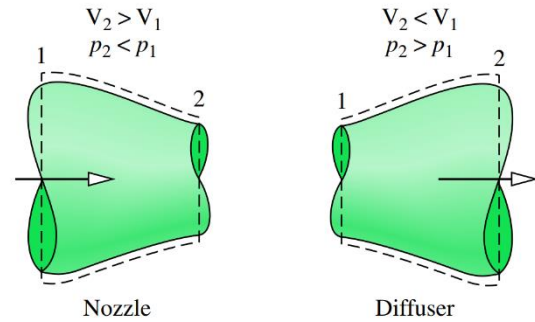
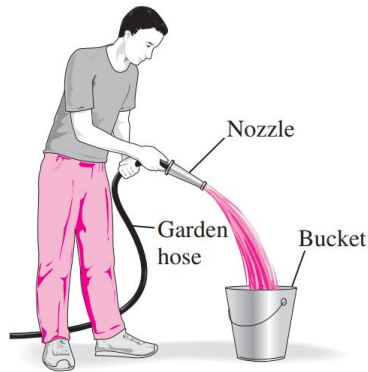
Xét hệ nhiệt động là toàn hệ thống:

$$G_A i_2 + G_B i_1 = G_A i_4 + G_B i_3$$

$$\Rightarrow G_A (i_4 - i_2) = G_B (i_1 - i_3)$$



E) Ống tăng tốc/ Ống tăng áp

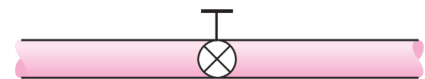
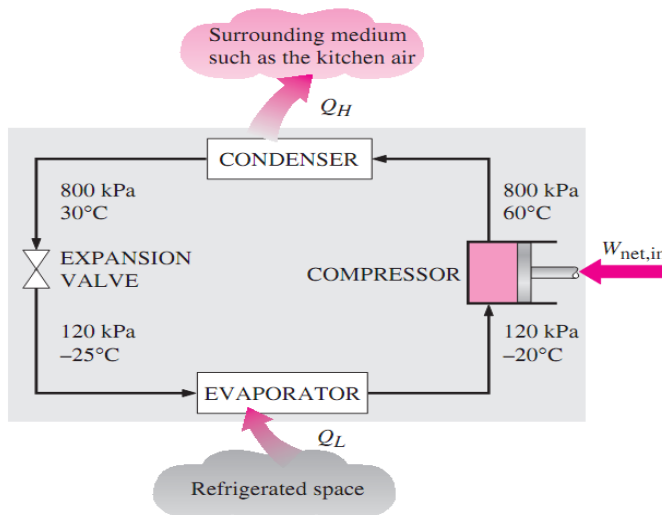


- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho ống tăng tốc:

$$G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} \right) = G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} \right)$$

$$\rightarrow i_2 - i_1 = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2}$$

F) Ống giãn nở -> giảm áp, giảm nhiệt độ (Ứng dụng trong máy lạnh, bơm nhiệt)



(a) An adjustable valve



(b) A porous plug



(c) A capillary tube

- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho ống giãn nở:

Quá trình chất môi giới đi qua ống giãn nở là quá trình đẳng entanpi $i = \text{const}$ nên:

$$u_1 + p_1 v_1 = u_2 + p_2 v_2$$

Môi chất ở trạng thái bão hòa đi qua van tiết lưu (van giãn nở) có sự tăng tốc dòng chảy tại van, từ đó áp suất dòng chảy giảm xuống, một phần môi chất từ trạng thái **LỎNG chuyển sang HÔI** -> thể tích riêng v_2 tăng -> KẾT QUẢ: $p_2 v_2$ tăng lên trong khi u_2 giảm xuống.

G) Bộ phận hòa trộn

- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho bộ phận hòa trộn:

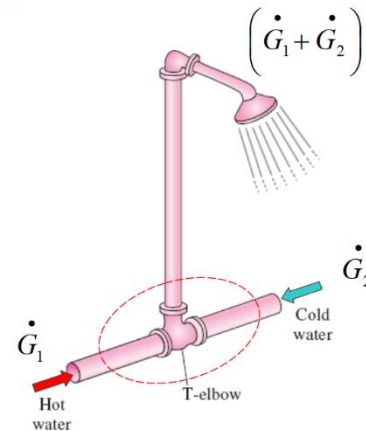
$$G_1 i_1 + G_2 i_2 = (G_1 + G_2) i_3$$

$$\Rightarrow G_1 (i_1 - i_3) = G_2 (i_3 - i_2)$$

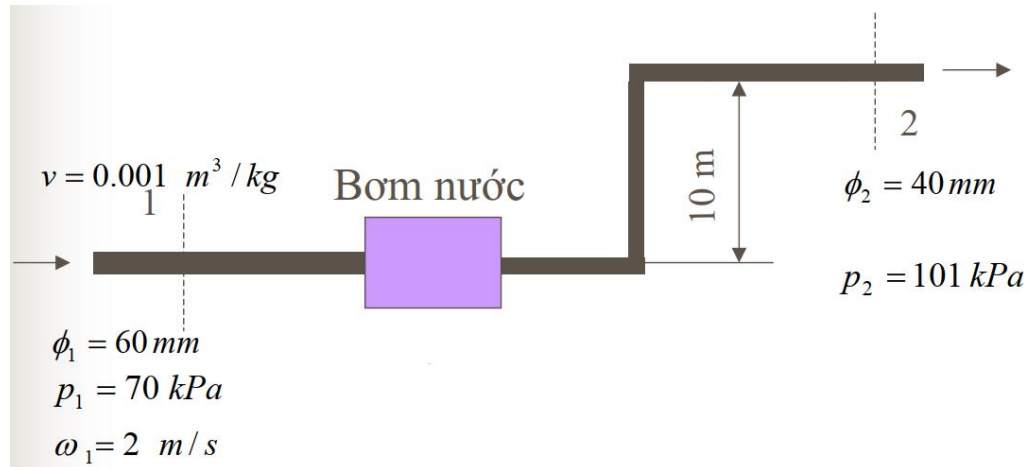
Riêng đối với chất lỏng:

$$di = c.dT + v.dp$$

$$\Rightarrow G_1 (T_1 - T_3) \approx G_2 (T_3 - T_2)$$



Ví dụ 2.6: Công suất bơm nước hệ thống



- Áp dụng ĐLNĐ 1 cho hệ thống bơm nước:

$$P_{Bom} + G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} + gz_1 \right) = Q + G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} + gz_2 \right)$$

- Bơm nước cách nhiệt với môi trường xung quanh ($Q = 0$)

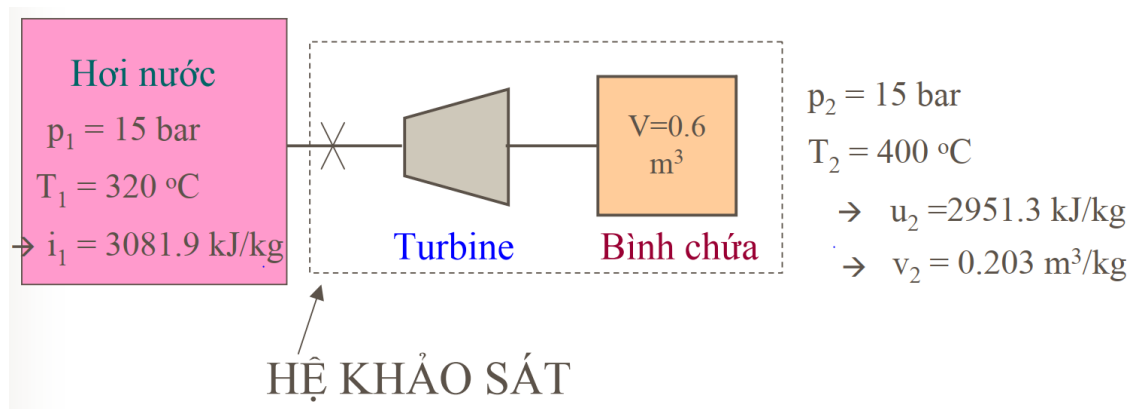
- Đối với chất lỏng: $\Delta i = \Delta u + v dp = c \Delta T + v dp$

- Quá trình bơm nước xem như đẳng nhiệt: $\Delta i = vdp$

Vậy ta có:

$$P_{Bom} = G \left[v(p_1 - p_2) + \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} - gh \right] = -775,6 \text{ (W)}$$

Ví dụ 2.7: Hệ thống Turbine nối với bình chứa kín



Bảo toàn năng lượng cho hệ khảo sát:

$$Gi_1 = W_{Turbine} + Gu_2 \Rightarrow W_{Turbine} = G(i_1 - u_2)$$

2.4. Một số quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng

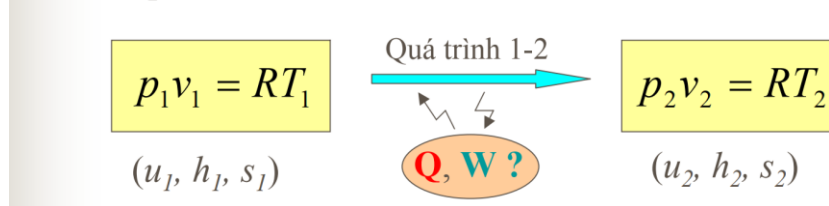
Có 5 quá trình nhiệt động cơ bản của khí lý tưởng:

- Quá trình đẳng tích $v = \text{const}$
- Quá trình đẳng áp $p = \text{const}$
- Quá trình đẳng nhiệt $T = \text{const}$
- Quá trình đoạn nhiệt $Q = 0$
- Quá trình đa biến $pv^n = \text{const}$

2.4.1. Các bước tính toán trong 1 quá trình đối với KLT

Gồm 3 bước sau:

Bước 1: phác thảo sơ đồ trao đổi NĂNG LƯỢNG của quá trình



Bước 2: xác định :

- Quá trình biểu diễn = PT gì ?
- Các thông số nào đã biết ?
- Các thông số nào cần phải tìm ?

Bước 3: TÍNH TOÁN

1/ Từ PT biểu diễn quá trình → xác định quan hệ giữa



2/ $\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1)$ (kJ/kg)

$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p (T_2 - T_1)$ (kJ/kg)

$ds = \frac{dq}{T}$ (kJ/kg.K)

Chú ý:
KLT → $c_p = c_v + R$

3/ **Công giãn nở**
(nén) của quá
trình:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv$$

Công kỹ
thuật của
quá trình:

$$w_{KT} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp$$

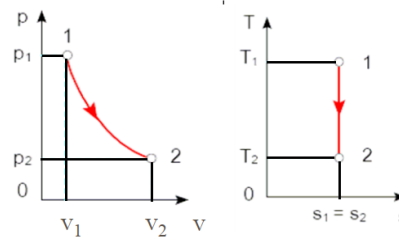
4/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: 1 trong 3 cách

- * $q = c (T_2 - T_1)$ (kJ/kg) (chú ý: dùng NDR c gì là phụ thuộc vào tính chất của quá trình)
- * $q = \Delta u + w$ (kJ/kg) (Từ PT định luật nhiệt động thứ nhất)
- * $q = \int_{T_1}^{T_2} T ds$ (kJ/kg)

5/ Hệ số biến đổi năng lượng của quá trình:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q}$$

6/ Biểu diễn quá trình trên đồ thị công p-v và đồ thị nhiệt T-s

2.4.2. Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)

1/ PT biểu diễn quá trình đẳng tích:

$$v = \text{const} \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$2/ \Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_v dT}{T} \Rightarrow \Delta s = c_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = c_v \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \right) \quad (\text{kJ/kg.K})$$

3/ Công giãn nở (nén) của quá trình đẳng tích:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = 0$$

Công kỹ thuật của quá trình đẳng tích:

$$w_{KT} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = v(p_1 - p_2)$$

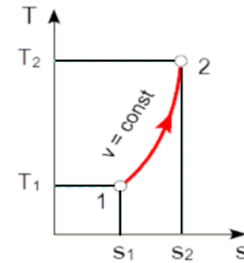
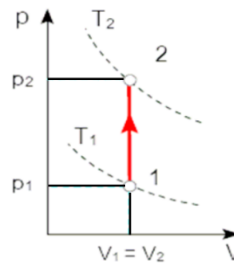
4/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình *đẳng tích*:

$$q = c_v (T_2 - T_1) = \Delta u \quad (\text{kJ/kg})$$

5/ Hệ số biến đổi năng lượng của quá trình:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = 1$$

6/ Biểu diễn quá trình *đẳng tích* trên đồ thị công **p-v** và đồ thị nhiệt **T-s**



2.4.3. Quá trình đẳng áp (p=const)

1/ PT biểu diễn quá trình đẳng áp:

$$p = \text{const} \Rightarrow \frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$$

2/ $\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_p dT}{T} \Rightarrow \Delta s = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = c_p \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) \quad (\text{kJ/kg.K})$$

3/ Công giãn nở (nén) của quá trình *đẳng áp*:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

Công kỹ thuật:

$$w_{KT} = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = 0$$

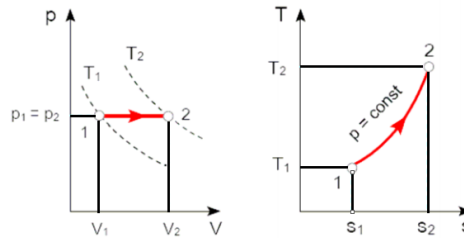
4/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình *đẳng áp*:

$$q = c_p (T_2 - T_1) = \Delta i = \Delta u + w \quad (\text{kJ/kg})$$

5/ Hệ số biến đổi năng lượng của quá trình *đẳng áp*:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v(T_2 - T_1)}{c_p(T_2 - T_1)} = \frac{1}{k}$$

6/ Biểu diễn quá trình *đẳng áp* trên đồ thị công **p-v** và đồ thị nhiệt **T-s**



2.4.4. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

1/ PT biểu diễn quá trình đẳng nhiệt:

$$T = \text{const} \Rightarrow p_1 v_1 = p_2 v_2$$

2/ $\Delta u = c_v(T_2 - T_1) = 0$ (kJ/kg)

$\Delta i = c_p(T_2 - T_1) = 0$ (kJ/kg)

$$ds = \frac{dq}{T} \Rightarrow \Delta s = \frac{\Delta q}{T} = R \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = R \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \quad (\text{kJ/kg.K})$$

3/ Công giãn nở (nén) của quá trình *đẳng nhiệt*:

$$w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT}{v} dv = RT \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = RT \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \quad (\text{kJ/kg})$$

Chú ý:

$$RT = p_1 v_1 = p_2 v_2$$

Công kỹ thuật của quá trình *đẳng nhiệt*:

$$w_{KT} = \int_{p_1}^{p_2} -v dp = \int_{p_1}^{p_2} -RT \frac{dp}{p} = RT \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = RT \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = w \quad (\text{kJ/kg})$$

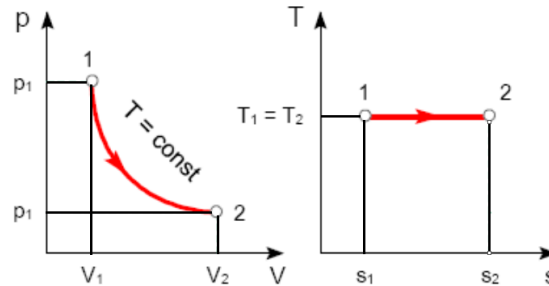
4/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình *đẳng nhiệt*:

$$q = \Delta u + w = w = RT \ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right) = RT \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = T(s_2 - s_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

5/ Hệ số biến đổi năng lượng của quá trình *đẳng nhiệt*:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = 0$$

6/ Biểu diễn quá trình *đẳng nhiệt* trên đồ thị công **p-v** và đồ thị nhiệt **T-s**



2.4.5. Quá trình đoạn nhiệt ($Q = 0$)

1/ PT biểu diễn quá trình đoạn nhiệt:

$$q = 0 \Rightarrow pv^k = \text{const}$$

$$\Rightarrow p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$

Chú ý:

$$\text{Số mũ đoạn nhiệt } k = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^k; \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$$

$$2/ \quad \Delta u = c_v (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta i = c_p (T_2 - T_1) \quad (\text{kJ/kg})$$

$$ds = \frac{dq}{T} = 0 \Rightarrow \Delta s = 0 \Rightarrow s_2 = s_1 \quad (\text{kJ/kg.K})$$

3/ Công giãn nở (nén) của quá trình *đoạn nhiệt*:

- Từ định nghĩa: $w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p_1 v_1^k \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^k} \quad (\text{kJ/kg})$

$\Rightarrow$

$$w = \frac{R}{k-1} (T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{k-1}$$
 hoặc:

$$w = \frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right] = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right]$$
 hoặc:

$$w = \frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{p_1 v_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$

- Từ ĐLNĐ 1: $q = \Delta u + w = 0 \Rightarrow w = -\Delta u = c_v (T_1 - T_2)$

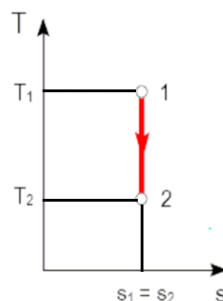
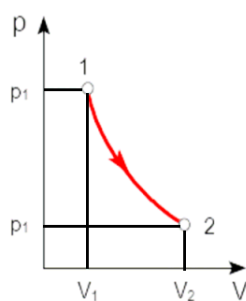
* Công kỹ thuật của quá trình *đoạn nhiệt*: $w_{KT} = k w$

4/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình *đoạn nhiệt*:

$$q = 0$$

5/ Hệ số biến đổi năng lượng:

$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \infty$$

6/ Biểu diễn quá trình *đoạn nhiệt* trên đồ thị công **p-v** và đồ thị nhiệt **T-s**

2.4.6. Quá trình đa biến ($c = \text{const}$)

1/ PT biểu diễn quá trình đa biến: $c = \text{const} \Rightarrow pv^n = \text{const}$

$$\Rightarrow p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$$

Số mũ đa biến $n = \frac{c - c_p}{c - c_v}$

$$\Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^n; \quad \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}}; \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1}$$

Nhận xét: quá trình đa biến là quá trình tổng quát với số mũ đa biến

$$n = (-\infty) \div (+\infty) \quad \text{và nhiệt dung riêng} \quad c = c_v \frac{n - k}{n - 1}$$

- + Khi $n = \pm\infty$ là quá trình đẳng tích với NDR c_v
- + Khi $n = 0$ là quá trình đẳng áp với NDR c_p
- + Khi $n = 1$ là quá trình đẳng nhiệt với NDR $c_T = \pm\infty$
- + Khi $n = k$ là quá trình đoạn nhiệt với NDR $c_k = 0$

2/ Các công thức tính số mũ đa biến n

$$n = \frac{\log \frac{p_1}{p_2}}{\log \frac{v_2}{v_1}}$$

hoặc:

$$n - 1 = \frac{\log \frac{T_2}{T_1}}{\log \frac{v_1}{v_2}}$$

hoặc:

$$\frac{n - 1}{n} = \frac{\log \frac{T_2}{T_1}}{\log \frac{p_2}{p_1}}$$

3/ $\Delta u = c_v (T_2 - T_1)$ (kJ/kg)

$\Delta i = c_p (T_2 - T_1)$ (kJ/kg)

$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c dT}{T} \Rightarrow \Delta s = c \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$ (kJ/kg.K)

hoặc từ: $dq = c_v dT + p dv \Rightarrow \Delta s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$

hoặc từ: $dq = c_p dT - v dp \Rightarrow \Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$

hoặc từ: $p dv + v dp = R dT \Rightarrow \Delta s = c_p \ln \frac{v_2}{v_1} + c_v \ln \frac{p_2}{p_1}$

4/ Công giãn nở (nén) của quá trình *đa biến*:

- Từ định nghĩa: $w = \int_{v_1}^{v_2} p dv = p_1 v_1^n \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^n}$ (kJ/kg)

$w = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{n-1}$

hoặc: $w = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right] = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{n-1} \right]$

hoặc: $w = \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 v_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$

* Công kỹ thuật của quá trình *đa biến*:

$w_{KT} = n w$

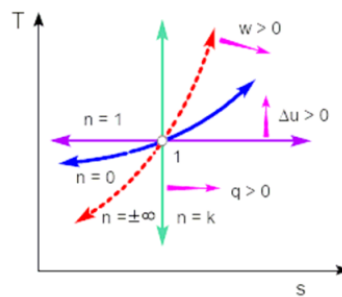
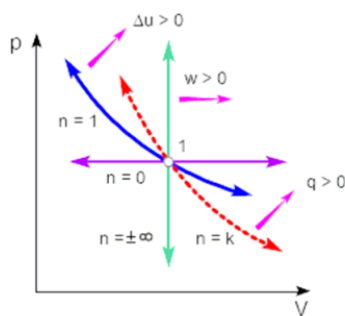
5/ Nhiệt lượng tham gia trong quá trình *đa biến*:

$$q = c \Delta T = c_v \frac{n-k}{n-1} \Delta T \quad (\text{kJ/kg})$$

6/ Hệ số biến đổi năng lượng:

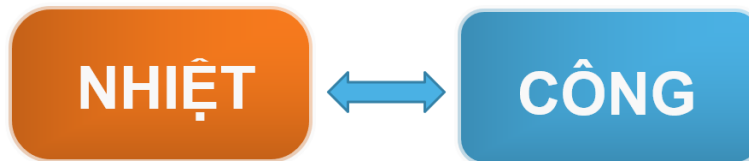
$$\alpha = \frac{\Delta u}{q} = \frac{c_v (T_2 - T_1)}{c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)} = \frac{n-1}{n-k}$$

7/ Biểu diễn quá trình *đa biến* trên đồ thị công **p-v** và đồ thị nhiệt **T-s**



CHƯƠNG III: ĐỊNH LUẬT NHIỆT ĐỘNG THỨ HAI

Định luật nhiệt động I là định luật về bảo toàn và chuyển hóa năng lượng, định luật này chỉ ra rằng: trong quá trình nhiệt động, hai dạng năng lượng cơ bản là nhiệt và công có thể biến đổi qua lại lẫn nhau.



Tuy nhiên có thể thấy rõ rằng, nội dung của ĐLNĐ I không đề cập tới:

- Chiều hướng của những quá trình đang khảo sát là như thế nào.
- Điều kiện cần và đủ để những quá trình có thể xảy ra.
- Mức độ giới hạn của sự biến hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác và ngược lại.

Một quá trình muốn diễn ra được phải tuân theo ĐLNĐ I. Tuy nhiên nếu ĐLNĐ I đã được đảm bảo thì thực tế quá trình đó có diễn ra được hay không ?

Ta có thể khảo sát một số ví dụ:

Ví dụ 3.1: Đặt một cốc cà phê nóng trong môi trường có nhiệt độ thấp hơn.

- Quá trình diễn ra sẽ tuân theo ĐLNĐ I:

Năng lượng (nhiệt năng) của ly cà phê sẽ từ từ giảm xuống cho đến khi bằng với năng lượng (nhiệt năng) mà không khí môi trường xung quanh nhận được (lúc này nhiệt độ của ly cà phê bằng với nhiệt độ môi trường).

- Vậy nếu quá trình diễn ra theo chiều ngược lại có được không:

Năng lượng môi trường xung quanh giảm xuống một lượng đúng bằng lượng năng lượng mà ban đầu cốc cà phê truyền cho môi trường để ly cà phê trở về trạng thái năng lượng ban đầu –



Hình 3.1

điều này vẫn tuân theo ĐLNĐ I nhưng quá trình này hoàn toàn không thể diễn ra vì dòng nhiệt không thể tự động di chuyển từ nơi có nhiệt độ thấp tới nơi có nhiệt độ cao.

Ví dụ 3.2: Trường hợp điện trở

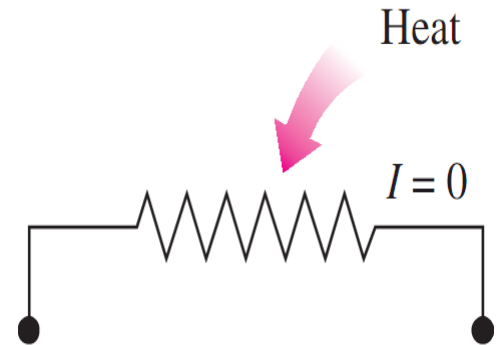
- Chiều thuận:

Công dòng điện tạo ra biến thành nhiệt truyền cho môi trường.

- Chiều ngược:

Môi trường cung cấp cho điện trở năng lượng nhiệt để dây sinh ra dòng điện.

Điều này một lần nữa hoàn toàn không thể xảy ra.



Hình 3.2

Ví dụ 3.3: Trường hợp cánh khuấy.

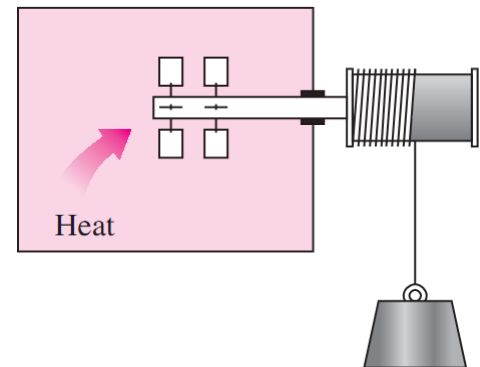
- Chiều tự nhiên:

Vật nặng dịch chuyển xuống tạo ra công trên trục làm quay cánh khuấy, cánh khuấy va chạm với các phần tử của môi chất trong bình sinh ra nhiệt (lúc này nội năng của lưu chất tăng lên)

- Chiều ngược lại:

Năng lượng của môi chất giảm xuống để truyền năng lượng (nhiệt năng) cho cánh khuấy để kéo vật nặng lên.

Điều này hoàn toàn không thực hiện được.

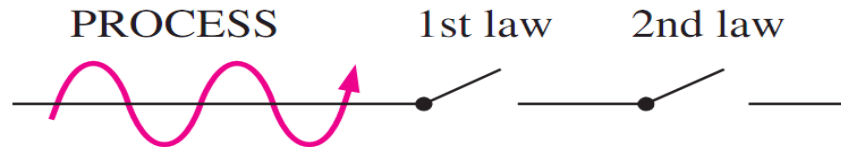


Hình 3.3

Nhận xét:

Khi ĐLNĐ I đã được đảm bảo, chưa chắc một quá trình có thể diễn ra, quá trình ấy còn phải tuân thủ một quy tắc khác đó là ĐLNĐ II. Trong điều kiện đã được xác định thì quá trình chỉ có thể chuyển biến theo một chiều.

Hình ảnh dưới đây minh họa cho một quá trình muốn xảy ra phải tuân theo đồng thời ĐLNĐ I và ĐLNĐ II:

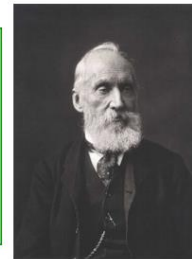


3.1. Hai phát biểu cơ bản của Định luật nhiệt động thứ hai

3.1.1. Phát biểu Kelvin – Planck

Phát biểu Kelvin – Planck dựa trên chu trình thuận chiều (Động cơ nhiệt)

“ Không thể có bất kì một động cơ nhiệt nào có thể biến toàn bộ nhiệt lượng nhận được thành ra công. ”
Kelvin - Planck

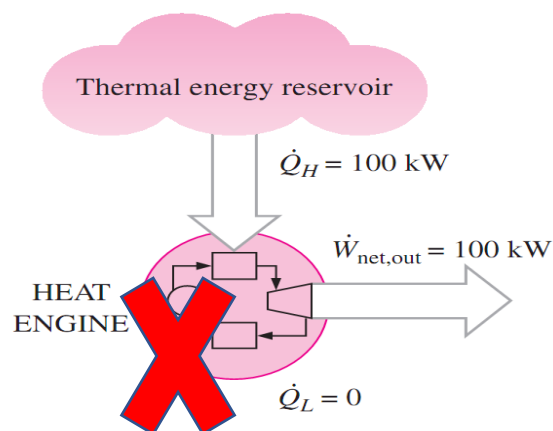


Lord Kelvin



Max Planck

Điều này cũng có nghĩa là, không thể có bất kì một động cơ nhiệt nào hoạt động trên cơ sở chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn, hoặc, không thể tồn tại bất kì động cơ nhiệt nào mà hiệu suất nhiệt của nó đạt 100%.



Hình 3.4. Động cơ nhiệt có hiệu suất 100%

3.1.2. Phát biểu Clausius

Phát biểu Clausius có liên quan mật thiết đến chu trình ngược chiều – máy lạnh hay bơm nhiệt.

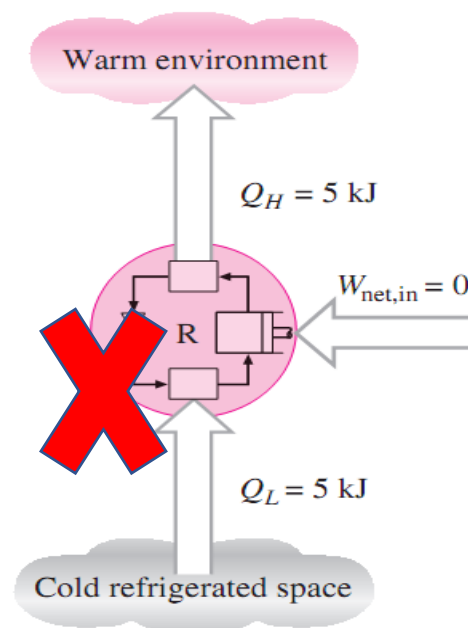
“Không thể có bất kì một máy lạnh hay bơm nhiệt nào có thể vận chuyển nhiệt lượng từ nơi có nhiệt độ nhỏ hơn đến nơi có nhiệt độ cao hơn mà không tiêu tốn năng lượng.”

Rudolf Clausius



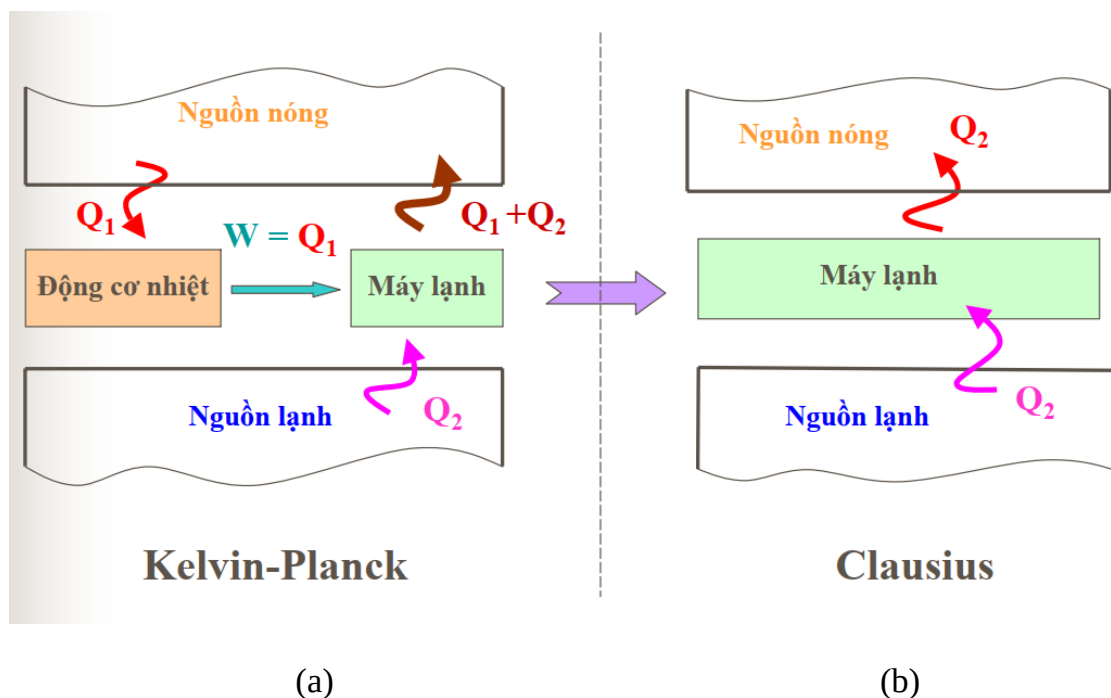
Rudolf Clausius

Điều này cũng có nghĩa là, *hệ số làm lạnh của máy lạnh hay hệ số làm nóng của bơm nhiệt luôn phải có giá trị xác định, không thể nào tiến đến vô cùng.*



Hình 3.5. Máy lạnh hoặc bơm nhiệt hoạt động không cần cấp công

Sự tương đồng giữa 2 phát biểu:



Hình 3.6. Sự tương đồng giữa 2 phát biểu

Hình 3.6 là sự kết hợp của một động cơ nhiệt với một tủ lạnh, hai thiết bị này cùng hoạt động giữa hai nguồn giống nhau. Giả sử động cơ nhiệt hoạt động với 100% hiệu suất (điều này vi phạm phát biểu Kelvin – Planck) do đó động cơ nhiệt đã chuyển toàn bộ nhiệt lượng nhận được Q_1 thành ra công W_{net} . Công này được cấp cho tủ lạnh để lấy đi từ nguồn lạnh một nhiệt lượng Q_2 và nhả cho nguồn nóng một nhiệt lượng $Q_1 + Q_2$. Ta thấy rằng, trong quá trình này nguồn nóng chỉ nhận thêm nhiệt lượng Q_2 (độ chênh lệch giữa $Q_1 + Q_2$ và Q_1), do đó sự kết hợp này tương đương với một tủ lạnh được biểu diễn ở hình 2.9b rằng nhiệt lượng Q_2 được truyền từ nguồn lạnh đến nguồn nóng mà không tiêu tốn bất kì một lượng công nào từ bên ngoài.

Vậy nếu có động cơ nhiệt hoạt động với hiệu suất 100% như hình 3.6a thì cũng có thiết bị vận chuyển nhiệt ngược chiều mà không cần tiêu tốn công như hình 3.6b. Tất nhiên, nếu không có động cơ nhiệt hoạt động với hiệu suất 100% như hình 3.6a thì cũng không tồn tại thiết bị vận chuyển nhiệt ngược chiều mà không cần tiêu tốn công như hình

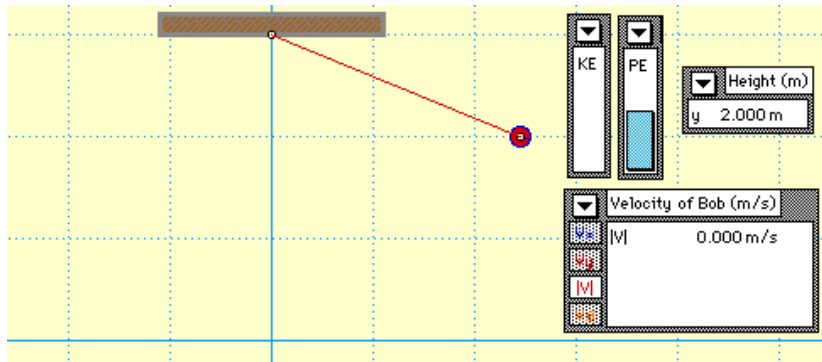
3.6b. Như vậy ta chứng minh được sự phủ nhận phát biểu Clausius sẽ kéo theo sự phủ nhận phát biểu Kelvin – Planck và ngược lại.

3.2. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

Đây là khái niệm hết sức quan trọng nhiệt động lực học, nhất là trong định luật nhiệt động thứ hai.

3.2.1. Quá trình thuận nghịch

- Định nghĩa: Là quá trình có thể tiến hành theo chiều ngược lại mà không làm biến đổi trạng thái hệ thống và môi trường
- Ví dụ: Nếu bỏ qua ma sát $\rightarrow$ chuyển động của con lắc có thể xem là quá trình thuận nghịch.



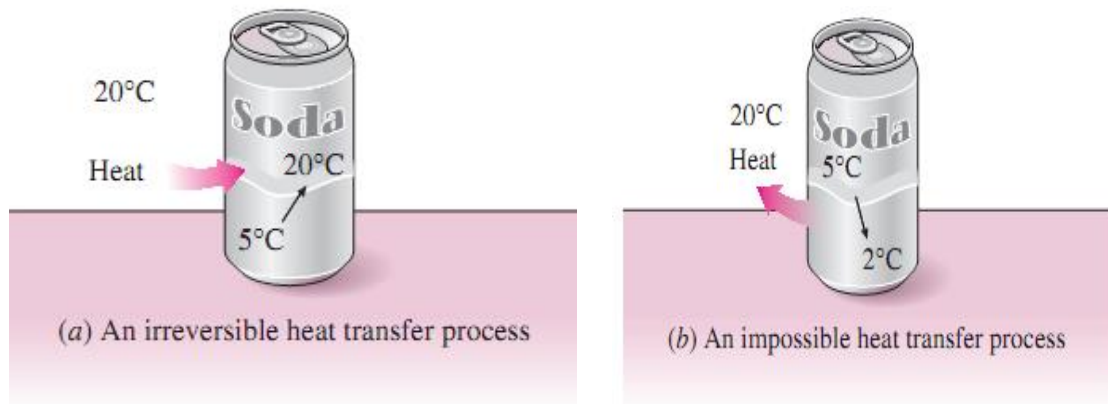
Nhận xét về quá trình thuận nghịch:

- Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng, không thể xảy ra trong thực tế.
- Hệ thống sử dụng quá trình thuận nghịch sẽ sinh ra công lớn nhất và tiêu hao ít nhiên liệu nhất.
- Quá trình thuận nghịch được sử dụng trong lý thuyết để tính toán khả năng tối đa của hệ thống, sau đó so sánh với khả năng thực của hệ thống trong thực tế.

3.2.2. Quá trình không thuận nghịch

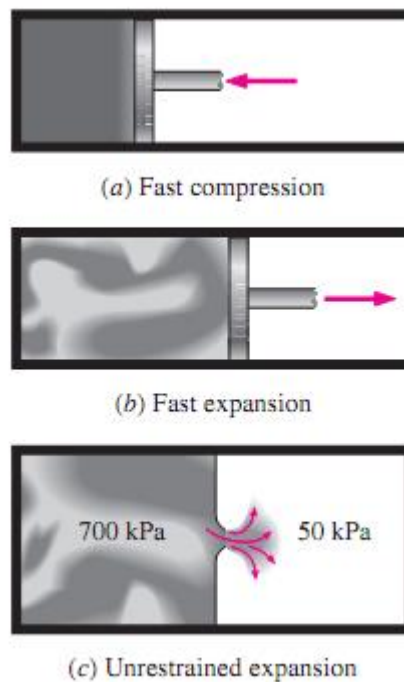
- Định nghĩa: Là quá trình có thể tiến hành theo chiều ngược lại khi làm biến đổi trạng thái hệ thống và môi trường

Ví dụ 3.4: Quá trình trao đổi nhiệt giữa vật nóng và vật lạnh



Lon soda lạnh được đặt trong môi trường có nhiệt độ ấm hơn.

Ví dụ 3.5: Quá trình giãn nở của chất khí ở nhiệt độ $T = \text{const}$



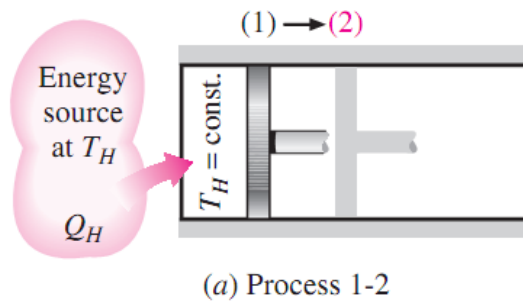
Nhận xét: Quá trình giãn nở tự do là quá trình không thuận nghịch.

3.3. Chu trình Carnot

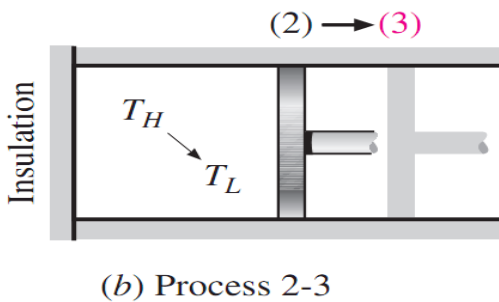
Chu trình Carnot là một chu trình nhiệt động lực học lý thuyết của Nicolas Léonard Sadi Carnot đề xuất vào năm 1823 và được mở rộng trong những năm 1830 và 1940.

Chu trình Carnot được biết đến là một loại chu trình lý thuyết có hiệu suất nhiệt lớn nhất khi chuyển đổi nhiệt năng thành công năng, hoặc ngược lại.

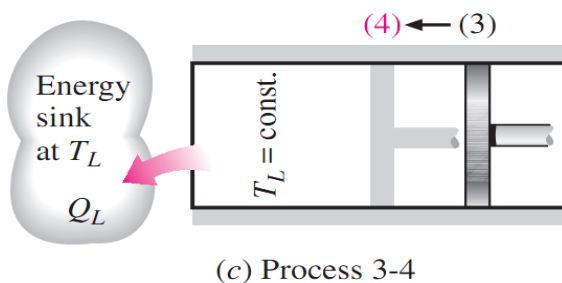
Chu trình Carnot bao gồm bốn quá trình thuận nghịch, trong đó có hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch xếp xen kẽ nhau. ($T_H = T_1$; $Q_H = Q_1$)



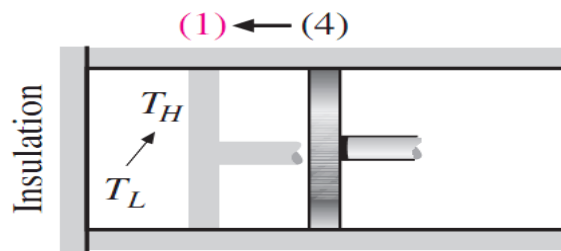
Quá trình từ 1-2: đây là quá trình giãn nở đẳng nhiệt thuận nghịch, môi chất nhận nhiệt lượng Q_H từ nguồn nóng, môi chất nhiệt độ T_H không đổi trong suốt quá trình giãn nở. ($T_L = T_2$; $Q_L = Q_2$)



Quá trình 2-3: Đây là quá trình giãn nở đoạn nhiệt thuận nghịch, trong quá trình giãn nở môi chất không trao đổi nhiệt với môi trường và nhiệt độ môi chất giảm từ T_H đến T_L .



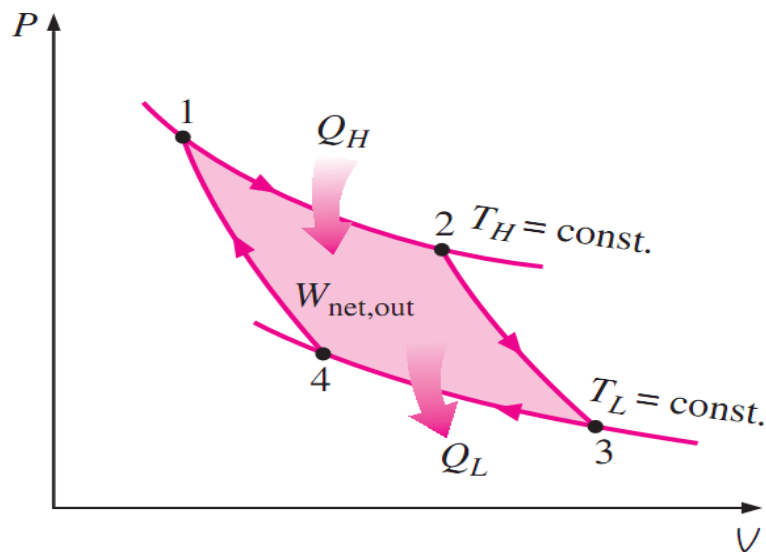
Quá trình 3-4: Đây là quá trình nén đẳng nhiệt thuận nghịch, môi chất thải cho nguồn lạnh nhiệt lượng Q_L , môi chất có nhiệt độ không đổi trong suốt quá trình nén.



(d) Process 4-1

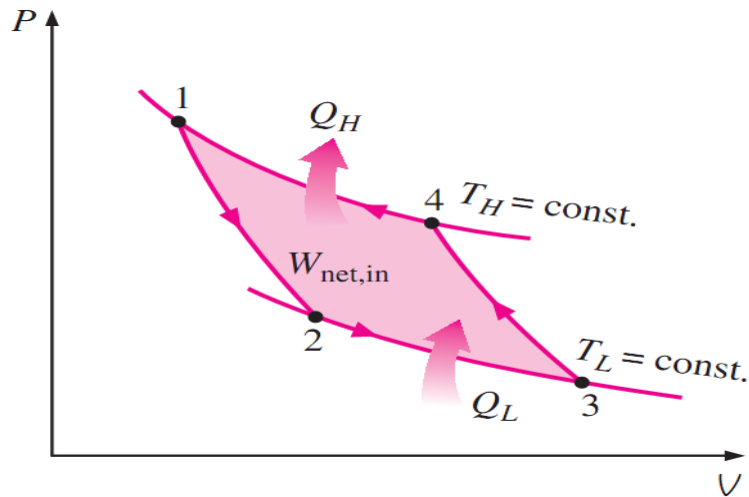
Quá trình 4-1: Đây là quá trình nén đoạn nhiệt thuận nghịch, trong quá trình nén môi chất không trao đổi nhiệt với môi trường và nhiệt độ môi chất tăng từ T_L đến T_H .

Chu trình Carnot được mô tả trên đồ thị P-V như sau:



Hình 3.7. biểu diễn cho chu trình Carnot thuận chiều – Động cơ nhiệt Carnot.

Khi các quá trình diễn ra theo chiều ngược lại và cũng ở điều kiện lý tưởng, ta thấy đầu tiên chất môi giới sẽ tiến hành quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch 1-4, kế tiếp là các quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch 4-3, đoạn nhiệt thuận nghịch 3-2 và đẳng nhiệt thuận nghịch 2-1. Các quá trình diễn ra theo chiều ngược lại này được gọi là chu trình Carnot ngược chiều.



Hình 3.8. Đồ thị P - V biểu diễn cho chu trình Carnot ngược chiều – Máy lạnh hay bơm nhiệt Carnot.

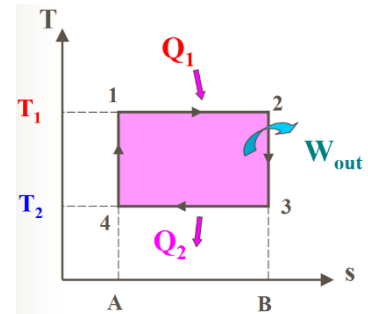
Hiệu suất nhiệt/Hệ số lạnh của chu trình Carnot

a) Chu trình Carnot thuận chiều (Động cơ nhiệt)

Hiệu suất nhiệt:

$$\eta_{Carnot} = \frac{W_{out}}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{dt(A43B)}{dt(A12B)}$$

$$\Rightarrow \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

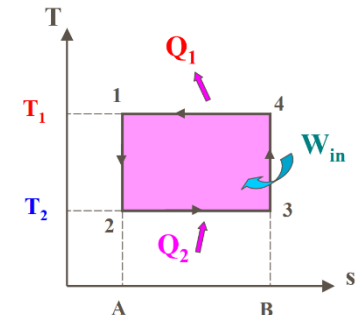


b) Chu trình Carnot ngược chiều (Máy lạnh hoặc bơm nhiệt)

Hệ số lạnh:

$$\varepsilon_{Carnot} = \frac{Q_2}{W_{in}} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2} = \frac{dt(A23B)}{dt(1234)}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_{Carnot} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1}$$



Xét ví dụ 3.6:

Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot thuận chiều nhận một nhiệt lượng $Q_H = 500 \text{ kJ}$ từ nguồn nóng có nhiệt độ $T_H = 652^\circ\text{C}$ và thải cho nguồn lạnh có nhiệt độ $T_L = 30^\circ\text{C}$ một nhiệt lượng Q_L chưa biết. Xác định:

- Xác định hiệu suất nhiệt của động cơ ?
- Nhiệt lượng Q_L mà động cơ nhiệt thải cho nguồn lạnh ?

Bài giải:

- Động cơ nhiệt Carnot là động cơ nhiệt làm việc theo quá trình thuận nghịch, hiệu suất nhiệt của nó được tính theo công thức 2-16:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{30 + 273}{652 + 273} = 0,672$$

Như vậy, động cơ nhiệt Carnot chuyển 66,25% nhiệt lượng mà nó nhận được thành công.

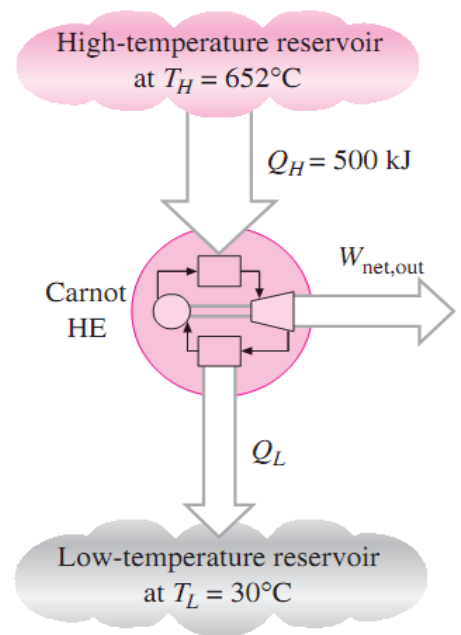
- Nhiệt lượng Q_L mà động cơ nhiệt thải ra cho nguồn lạnh được xác định như sau:

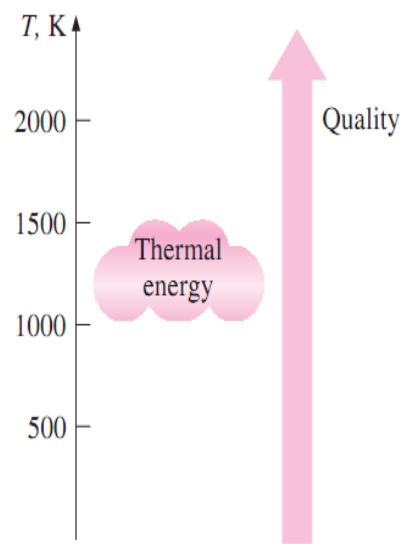
$$Q_L = \frac{T_L}{T_H} \cdot Q_H = \frac{30 + 273}{652 + 273} \cdot 500 = 164 \text{ kJ}$$

Chú ý: động cơ nhiệt Carnot thải cho nguồn lạnh một nhiệt lượng 164 kJ của 500 kJ mà động cơ nhiệt nhận vào từ nguồn nóng là tính cho mỗi chu kì.

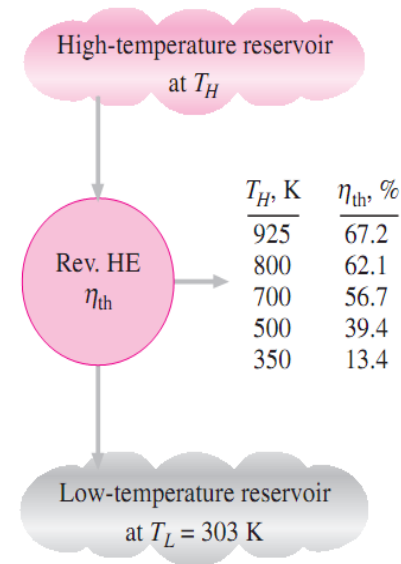
Từ chu trình Carnot thuận chiều – động cơ nhiệt Carnot ta có một số điều nói về chất lượng của nguồn nhiệt.

Động cơ nhiệt Carnot mà ta vừa xét ở ví dụ 3.6 nhận nhiệt từ nguồn nóng có nhiệt độ 625°C và chuyển đổi 67,2% nhiệt lượng nhận được trong mỗi chu kì thành công và thải cho nguồn lạnh ở nhiệt độ 30°C một nhiệt lượng bằng 32,8% nhiệt lượng mà động cơ nhiệt nhận vào.

**Hình 3.9**



Hình 3.10



Hình 3.11

Chúng ta hãy xem hiệu suất của động cơ nhiệt thay đổi như thế nào khi thay đổi nhiệt độ của nguồn nóng và giữ không đổi nhiệt độ của nguồn lạnh. Nhìn hình 3.11, ta thấy rằng khi giảm nhiệt độ nguồn nóng từ 925[K] xuống 500[K] trong khi giữ không đổi nhiệt độ nguồn lạnh 303[K], như một phản ứng, hiệu suất nhiệt của động cơ nhiệt Carnot giảm mạnh từ 67,2 % xuống còn 39,4%. Tiếp tục giảm nhiệt độ nguồn nóng từ 500[K] xuống 350[K] và vẫn giữ không đổi nhiệt độ nguồn lạnh, hiệu suất nhiệt giảm càng mạnh, từ 39% xuống còn 13,4%.

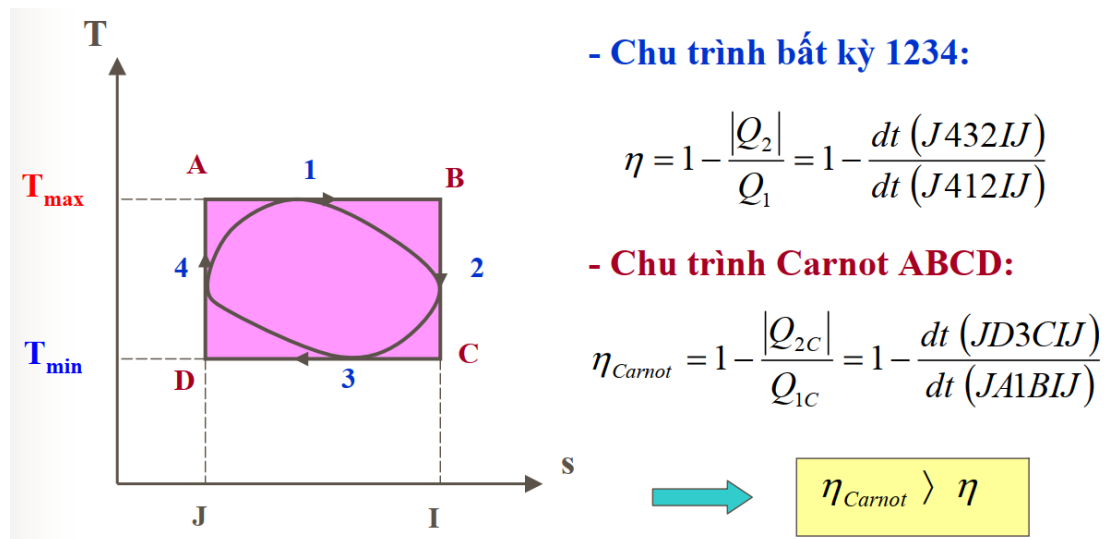
Giá trị hiệu suất nhiệt làm nổi bật nên khía cạnh thứ 2 của năng lượng, đó là chất lượng của năng lượng. Chất lượng của nguồn năng lượng có thể hiểu là *nguồn năng lượng nhiệt nào có nhiệt độ càng cao thì khả năng sinh công của nguồn năng lượng nhiệt đó càng lớn, hoặc, nguồn năng lượng nhiệt nào có nhiệt độ càng cao thì có chất lượng càng tốt.*

Ta lấy minh chứng tiếp theo cho điều này, năng lượng mặt trời có số lượng rất lớn, cho ví dụ, có thể tích trữ năng lượng mặt trời ở một hồ nước lớn gọi là hồ mặt trời tại nhiệt độ 350[K]. Năng lượng được tích trữ này sau đó có thể được cung cấp cho động cơ nhiệt để sinh công quay máy phát tạo ra điện năng. Tuy nhiên, hiệu suất của nhà máy

điện sử dụng năng lượng từ hồ mặt trời là rất thấp (dưới 5%). Nhưng khi ta dùng các collector tập trung để thu gom năng lượng mặt trời thì khác, lúc này nhiệt độ do năng lượng mặt trời tạo ra rất cao và đồng nghĩa với chất lượng năng lượng mặt trời được nâng cao.

Ý nghĩa của chu trình Carnot:

Trong tất cả các chu trình nhiệt động tiến hành cùng ở điều kiện **nhiệt độ cực đại $T_{\max}$** và cùng **nhiệt độ cực tiểu $T_{\min}$** , chu trình CARNOT luôn có hiệu suất nhiệt cao nhất.



3.4. Các hệ quả của Định luật nhiệt động thứ hai

- Khi hoạt động giữa các giới hạn nhiệt độ như nhau, không thể có bất kỳ 1 chu trình nhiệt động thuận chiều thực tế nào có hiệu suất nhiệt lớn hơn hoặc bằng hiệu suất nhiệt của chu trình Carnot.
- Tất cả các chu trình Carnot thuận chiều đều có hiệu suất nhiệt bằng nhau nếu cùng hoạt động giữa các nguồn nóng và nguồn lạnh như nhau.
- Khi tiến hành 1 chu trình thuận nghịch bất kỳ (bao gồm các quá trình thuận nghịch), ta luôn luôn có:

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

- Khi tiến hành 1 chu trình KHÔNG thuận nghịch bất kỳ (bao 1 hoặc vài quá trình không thuận nghịch), ta luôn luôn có:

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

CHƯƠNG IV: CHẤT THUẦN KHIẾT

4.1. Tổng quát

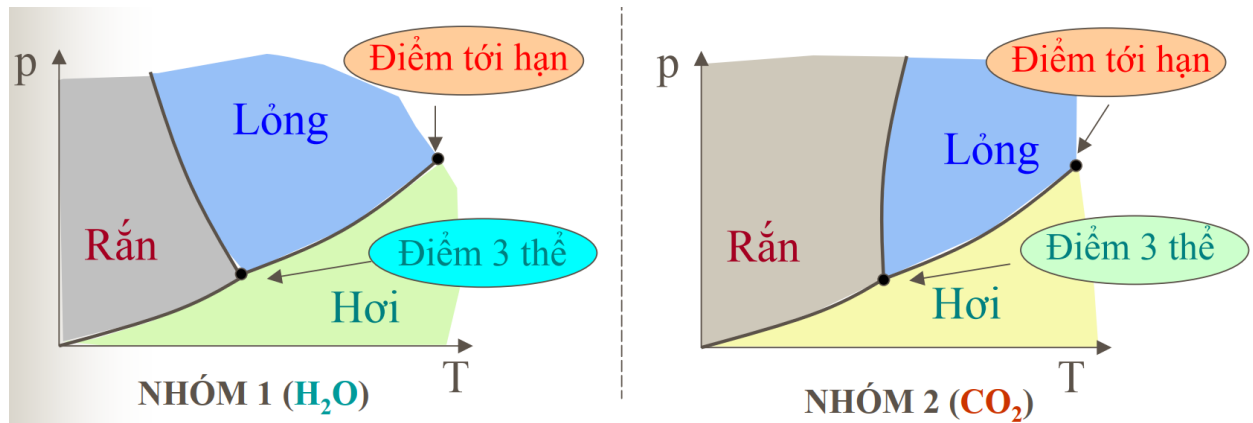
- Định nghĩa: Chất thuần khiết là chất có tính đồng nhất và ổn định về thành phần hóa học.

- Phân loại:

+ Nhóm 1: có thể tích riêng v gia tăng khi đông đặc (H_2O)

+ Nhóm 2: có thể tích riêng v suy giảm khi đông đặc ($CO_2, \dots$)

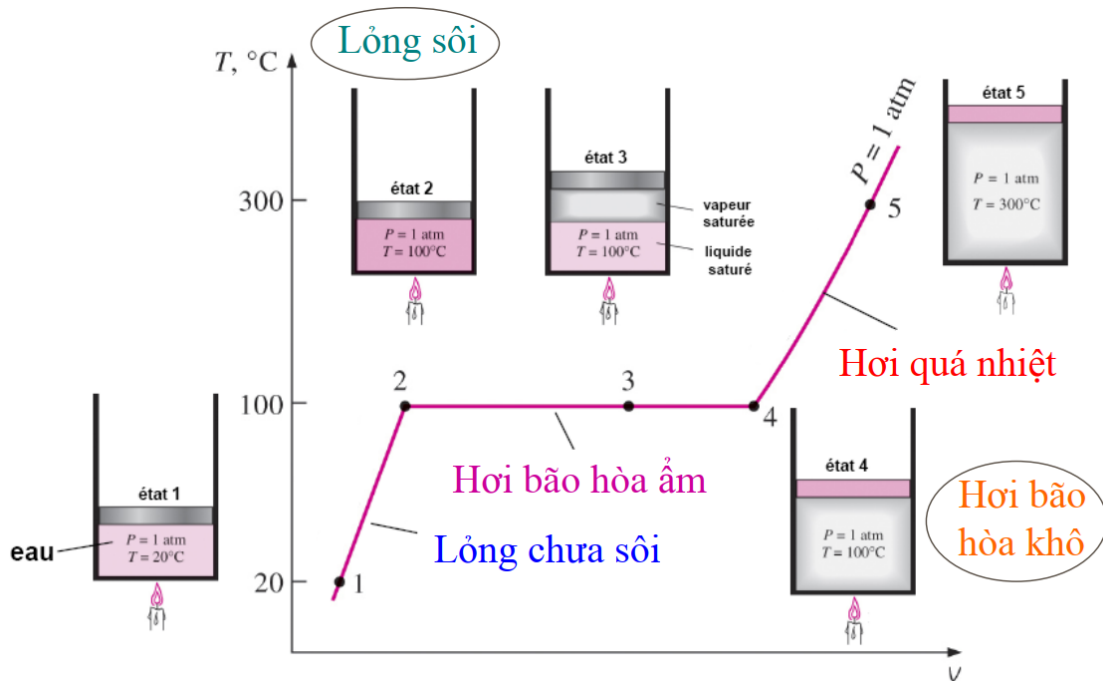
- Sự biến đổi pha của chất thuần khiết:



Hình 4.1. Biểu đồ p - T của H_2O và CO_2

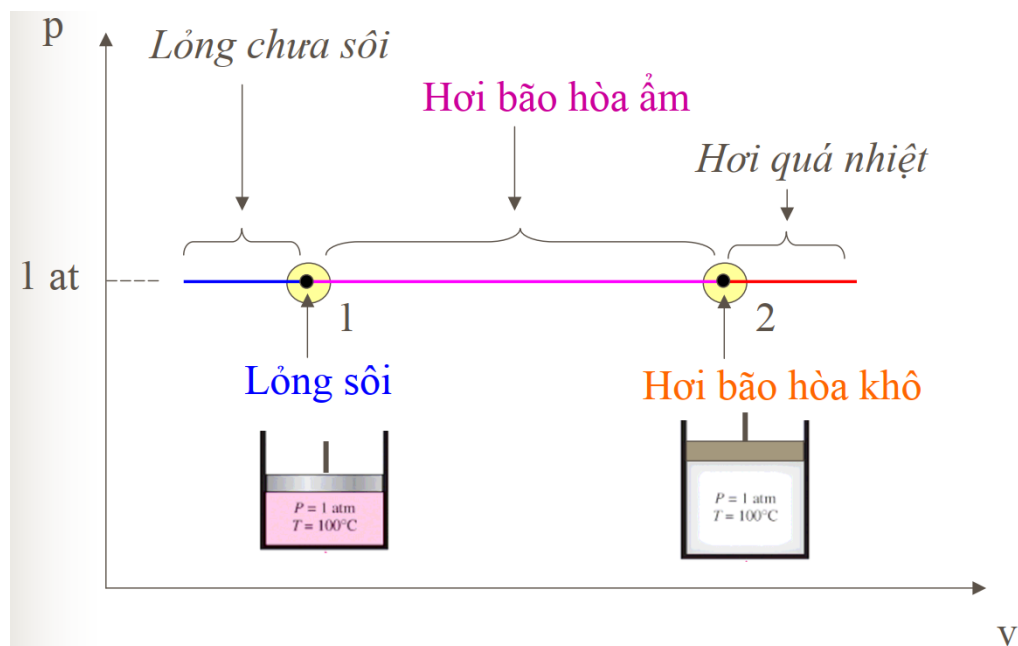
4.2. Quá trình hóa hơi đẳng áp.

- Xét quá trình gia nhiệt đẳng áp cho 1 kg nước trên đồ thị T-v



Hình 4.2. Đồ thị T-v biểu diễn quá trình hóa hơi đẳng áp của nước

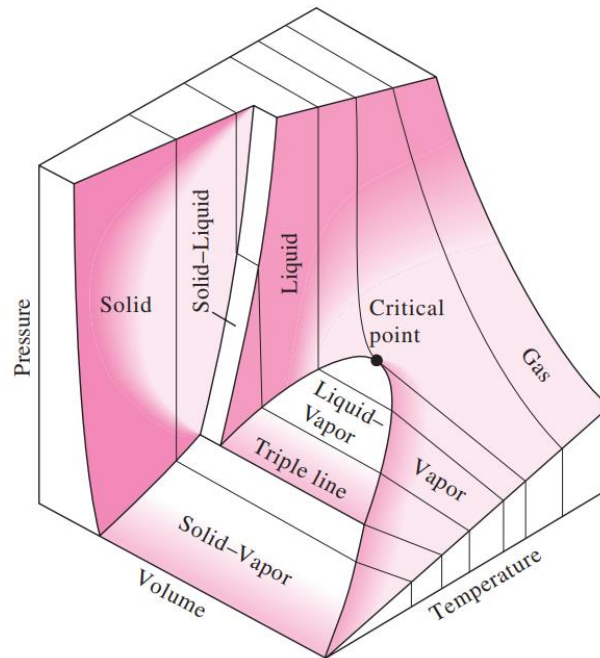
- Xét quá trình gia nhiệt đẳng áp cho 1 kg nước trên đồ thị p-v



Hình 4.3. Đồ thị p-v biểu diễn 5 trạng thái của nước trong quá trình hóa hơi đẳng áp

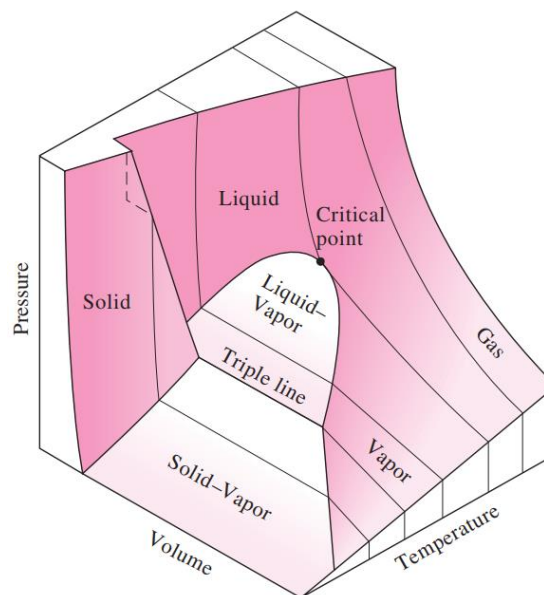
4.3. Giảm đồ khối biểu diễn quan hệ $p - v - T$

- Giảm đồ $p - v - T$ của chất thuần khiết bị co lại khi đóng băng



Hình 4.4. Giảm đồ khối $p - v - T$ của chất thuần khiết bị co lại khi đóng băng

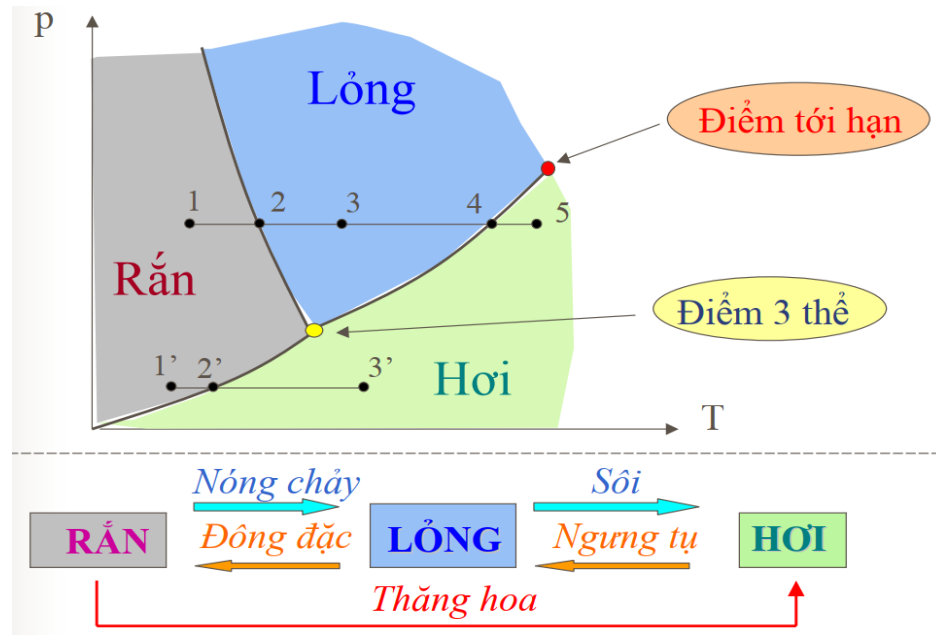
- Giảm đồ $p - v - T$ của chất thuần khiết bị giãn nở khi đóng băng (VD: Nước...)



Hình 4.5. Giảm đồ khối $p - v - T$ của chất thuần khiết bị giãn nở khi đóng băng

4.4. Quá trình nóng chảy và quá trình thăng hoa

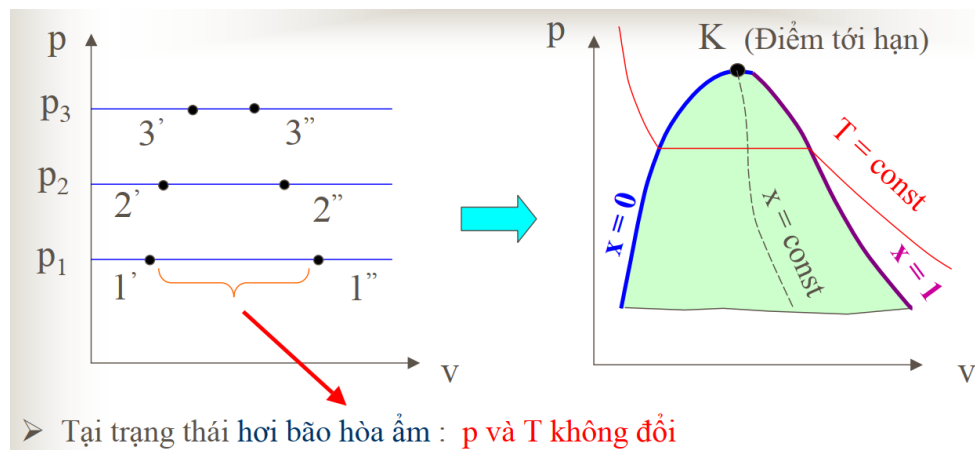
Các quá trình biến đổi pha của chất thuần khiết được biểu diễn dưới hình sau:



Hình 4.6. Các quá trình biến đổi pha của chất thuần khiết

- Quá trình nóng chảy là quá trình diễn ra trên điểm ba thể, khi được cấp nhiệt chất thuần khiết chuyển dần từ pha rắn (điểm 1) sang pha lỏng (điểm 3)
- Quá trình thăng hoa là quá trình diễn ra dưới điểm ba thể, khi được cấp nhiệt chất thuần khiết chuyển dần từ pha rắn (điểm 1') sang pha hơi (điểm 3')

4.5. Cách xác định các thông số trạng thái của nước và hơi nước.



Lưu ý: Tại vùng trạng thái hơi bão hòa ẩm $0 \leq x \leq 1$: giá trị p và T không đổi

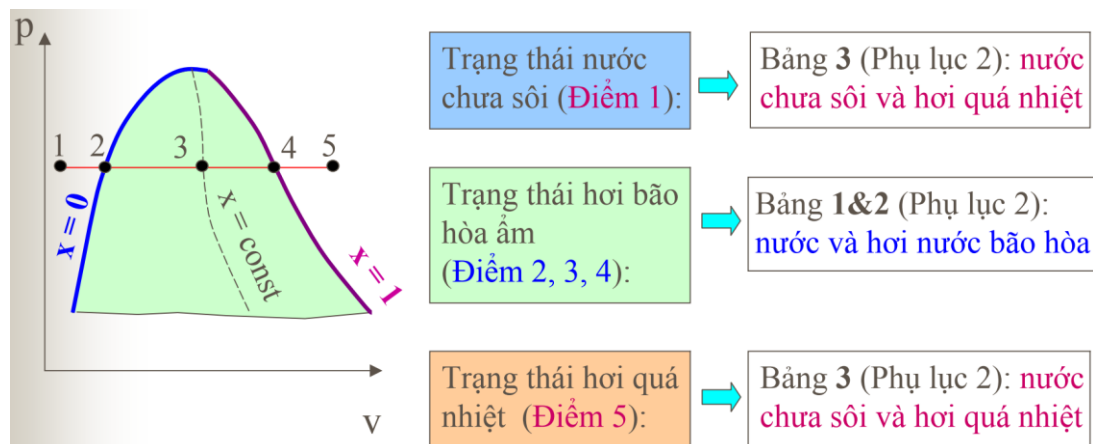
- Để xác định 1 trạng thái nhất định của hỗn hợp LÔNG – HƠI ở trạng thái hơi bão hòa ẩm ta có khái niệm ĐỘ KHÔ x :

$$x = \frac{G_h}{G} = \frac{G_h}{G_l + G_h}$$

+ $x = 0$: trạng thái lỏng sôi (có v' , i' , s')

+ $x = 1$: trạng thái hơi bão hòa khô (có v'' , i'' , s'')

Hơi nước là khí thực vì vậy phải dùng Bảng hoặc đồ thị để tính



a) Trường hợp **NƯỚC CHƯA SÔI** hoặc **HƠI QUÁ NHIỆT**

Bảng 3 (Phụ lục 2): Nước chưa sôi và hơi quá nhiệt

$\begin{bmatrix} p \\ T \end{bmatrix} \rightarrow v, i, s$

p bar	T $^{\circ}\text{C}$	20	40	60	80	100	120	...
....	...							
1.0	v (m^3/kg)	0.001	0.001	0.001	0.001	1.695	1.795	
	i (kJ/kg)	83.7	167.5	251.1	334.9	2676	2717	
	s (kJ/kg.K)	0.296	0.572	0.831	1.075	7.361	7.465	
....	...							

Chú ý: Nội năng u có thể tính từ: $u = i - pv$

b) Trường hợp **HƠI BẢO HÒA ẤM**: Vì p phụ thuộc vào T



Bảng 1 (Phụ lục 2): Nước và hơi nước bão hòa (theo nhiệt độ)

Hoặc

Bảng 2 (Phụ lục 2): Nước và hơi nước bão hòa (theo áp suất)

Ví dụ:

Bảng 1 (Phụ lục 2): Nước và hơi nước bão hòa (theo nhiệt độ)

T °C	p bar	v' m³/kg	v'' m³/kg	ρ'' kg/m³	i' kJ/kg	i'' kJ/kg	r kJ/kg	s' kJ/kg.K	s'' kJ/kg.K
0.01	0.006	0.001	206.3	0.005	0	2501	2501	0	9.154
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
100	1.013	0.001	1.673	0.598	419.1	2676	2257	1.307	7.355
105	1.208	0.001	1.419	0.705	440.2	2683	2243	1.363	7.296
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ TRẠNG THÁI CỦA HƠI BẢO HÒA ẤM

- Ứng với áp suất bão hòa $p_1 \rightarrow$ nhiệt độ sôi t_1 tương ứng
- Vì trạng thái 1 nằm giữa $1'$ và $1''$, ta luôn có:

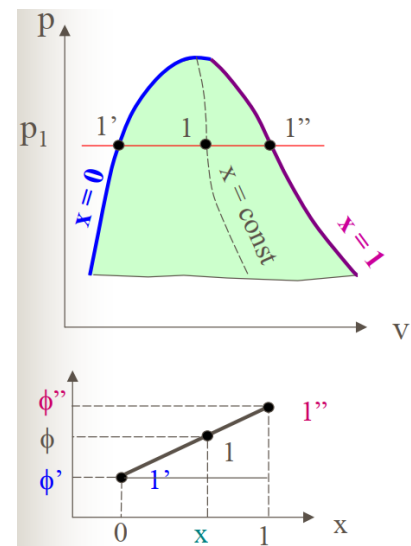
$$v' < v < v''$$

$$i' < i < i''$$

$$s' < s < s''$$

- Nếu đặt ϕ là 1 thông số nào đó trong 3 thông số (v, i, s), nội suy ta có:

$$x = \frac{\phi - \phi'}{\phi'' - \phi'} \Rightarrow \phi = (1 - x)\phi' + x\phi''$$



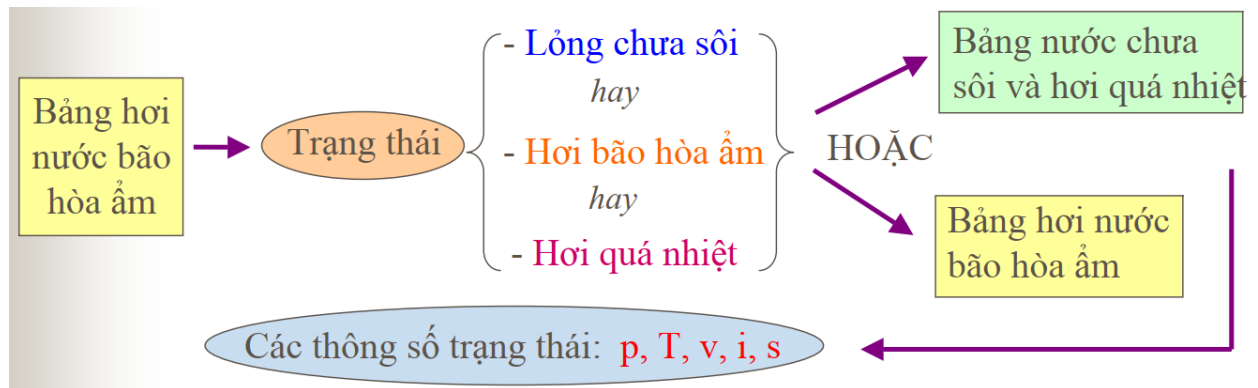
4.6. Các quá trình nhiệt động cơ bản

Có 4 quá trình nhiệt động cơ bản của chất thuần khiết:

- Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)
- Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)
- Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)
- Quá trình đoạn nhiệt ($q = 0$)

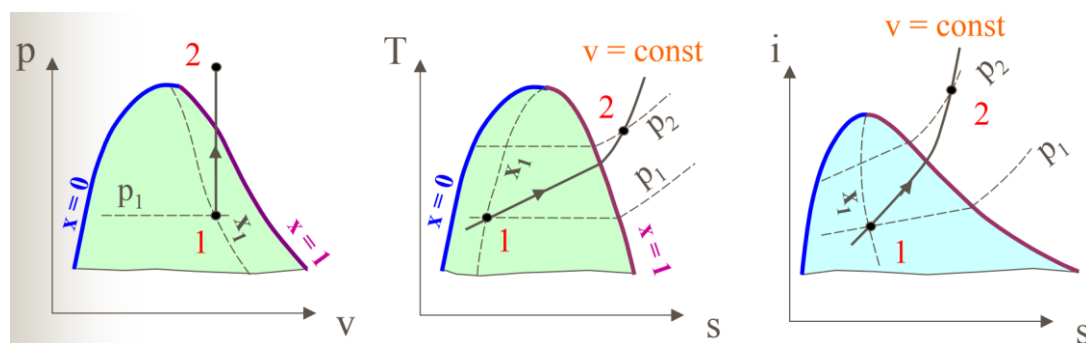
Chú ý: CTK (VD: Nước) ở trạng thái hơi là khí thực, do đó không thể dùng phương trình KLT

Bước 1: xác định các thông số trạng thái của quá trình: dùng BẢNG



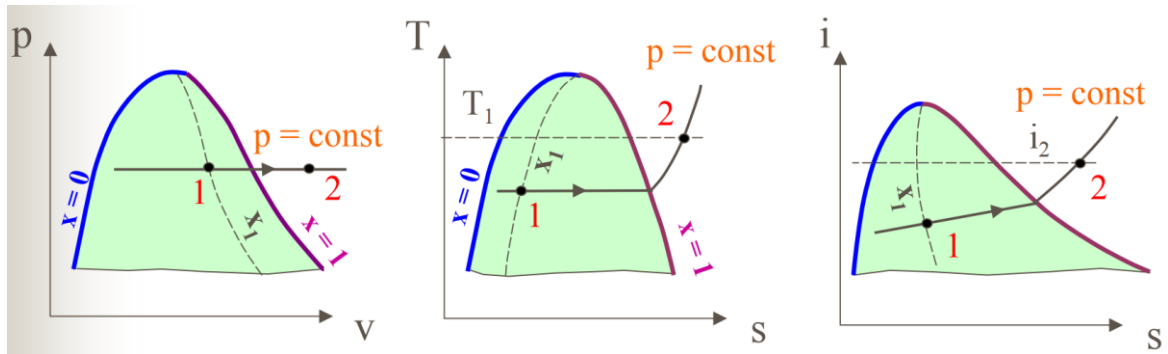
Bước 2: Dựa vào đặc tính quá trình và ĐLNĐ 1 ta tính được Công W và Nhiệt lượng Q tham gia trong quá trình.

4.6.1. Quá trình đẳng tích ($v = \text{const}$)



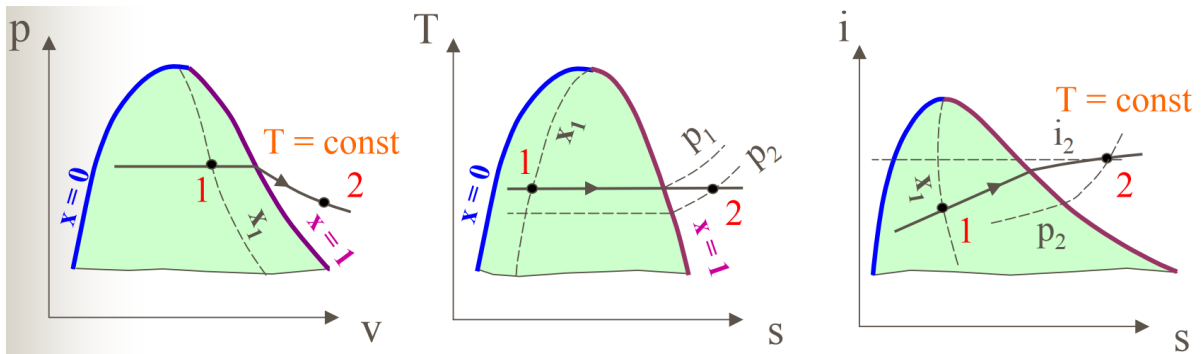
- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$
- Công của quá trình: $w = \int_1^2 p dv = 0$
- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = \Delta u + w = \Delta u$

4.6.2. Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$)

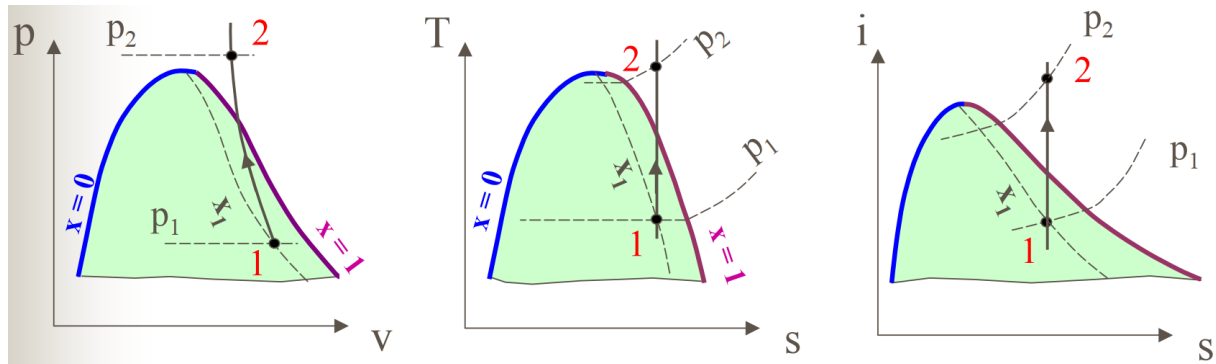


- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$
- Công của quá trình: $w = \int_1^2 p dv = p(v_2 - v_1)$
- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = \Delta u + w = i_2 - i_1$

4.6.3. Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)



- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$
- Công của quá trình: $w = q - \Delta u$
- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = T(s_2 - s_1)$

4.6.4. Quá trình đoạn nhiệt ($q = 0$)

- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 v_2) - (i_1 - p_1 v_1)$
- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $q = 0$
- Công của quá trình: $w = q - \Delta u = -\Delta u$
- Công kỹ thuật của quá trình: $w_{kt} = -\Delta i = i_1 - i_2$

Ví dụ 4.1:

Hơi nước ở áp suất $p_1 = 30$ bar và entanpi $i_1 = 1500$ kJ/kg được cấp nhiệt để đạt đến nhiệt độ $t_2 = 400^\circ\text{C}$ ở điều kiện áp suất không đổi. Cho biết lượng hơi nước đang khảo sát có khối lượng là 250 kg. Xác định:

- Trạng thái nước đầu và cuối?
- Lượng nhiệt cần cung cấp Q ?

Giải:

- Trạng thái đầu:

Tra bảng nước và hơi nước bão hòa theo áp suất (Bảng 2) ứng với $p_1 = 30$ bar, ta được:

+ Nhiệt độ sôi $t_s = 233,83^\circ\text{C}$

+ $i' = 1008,3$ kJ/kg

+ $i'' = 2804$ kJ/kg

Ta thấy $i' < i < i''$: trạng thái hơi bão hòa ẩm

- Trạng thái cuối:

$p_2 = p_1 = 30 \text{ bar}$; $t_2 > t_s = 233,83^\circ\text{C} \rightarrow$ hơi quá nhiệt

Tra bảng nước chưa sôi và hơi quá nhiệt ở $p_2 = 30 \text{ bar}$, $t_2 = 400^\circ\text{C}$ ta có $i_2 = 3229 \text{ kJ/kg}$

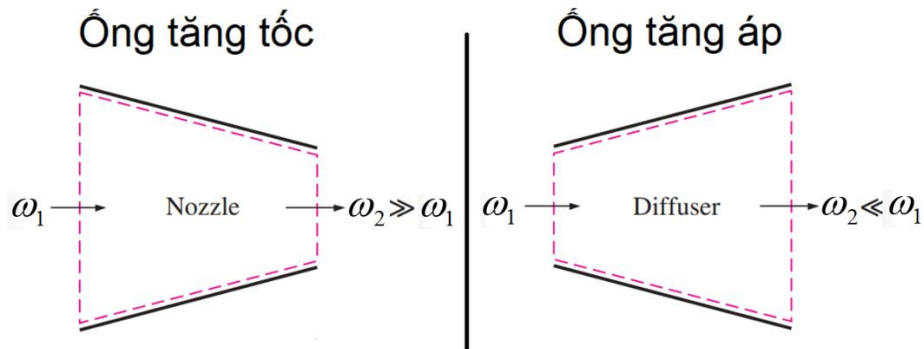
- Quá trình đẳng áp: $Q = G.q = G (i_2 - i_1) = 250.(3229-1500) = 432250 \text{ kJ}$

CHƯƠNG V: MỘT SỐ QUÁ TRÌNH ĐẶC BIỆT CỦA KHÍ VÀ HƠI

5.1. Quá trình Lưu động của Khí và Hơi

5.1.1. Giới thiệu

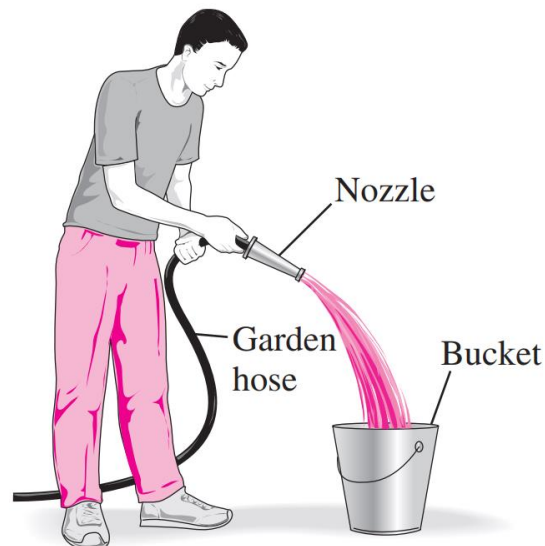
- Sự chuyển động của môi chất gọi là LƯU ĐỘNG



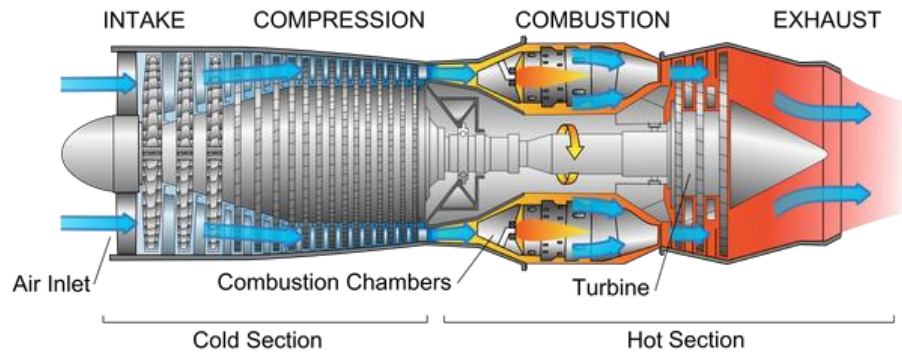
Cần xác định:

- p, v, T, i, s
- tốc độ V (m/s)
- lưu lượng G (kg/s)
- Ứng dụng quá trình LƯU ĐỘNG trong thực tế

+ Vòi phun nước:

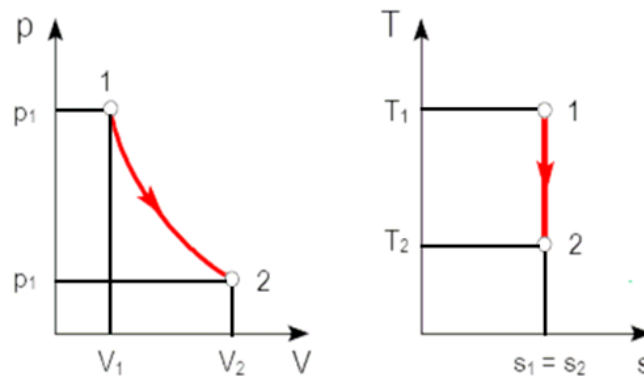


+ Động cơ phản lực:



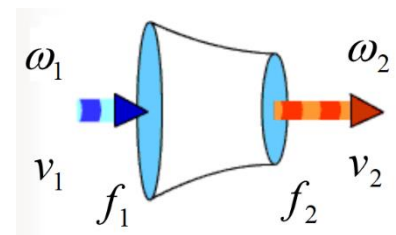
- Các giả thiết trong khi tính toán quá trình LƯU ĐỘNG

+ Quá trình lưu động là **ĐOẠN NHIỆT** $Q = 0$ ($s_1 = s_2$)



+ Lưu lượng G (kg/s) của môi chất không thay đổi theo thời gian

$$G = \frac{f_1 \omega_1}{v_1} = \frac{f_2 \omega_2}{v_2} = \text{const} \quad (\text{kg} / \text{s})$$



(f_1 , ω_1 , v_1 lần lượt là diện tích tiết diện, tốc độ và thể tích riêng của môi chất tại 1)

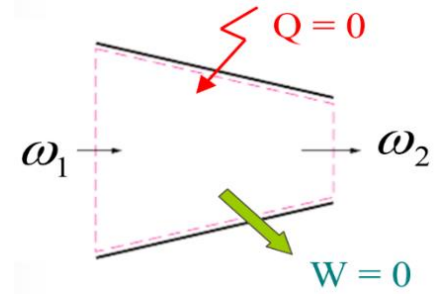
5.1.2. Một số quan hệ cơ bản của dòng lưu động

a) Quan hệ giữa ÁP SUẤT và TỐC ĐỘ của dòng

Áp dụng ĐLNĐ 1 cho hệ hở:

$$G \left(i_1 + \frac{\omega_1^2}{2} \right) = G \left(i_2 + \frac{\omega_2^2}{2} \right)$$

$$\rightarrow di = i_2 - i_1 = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} = -\frac{d\omega^2}{2} = -\omega d\omega \quad (1)$$



Mặt khác: $di = d(u + pv) = du + pdv + vdp$

Quá trình lưu động là tiết lưu nên: $q = du + pdv = 0$

Suy ra: $di = vdp \quad (2)$

Từ (1) và (2) suy ra: $\omega d\omega = -vdp$

Khi TỐC ĐỘ của dòng môi chất TĂNG thì ÁP SUẤT sẽ GIẢM và ngược lại

- Đối với ống tăng tốc: $p_2 < p_1$, áp suất ở đầu GIẢM $\rightarrow$ Ống tăng tốc dùng để tăng động năng khí như dùng trong tuabin.

- Đối với ống tang áp: $p_2 > p_1$, áp suất ở đầu TĂNG $\rightarrow$ Ống tang áp dùng để tăng áp suất khí như dùng trong máy nén khí.

b) Quan hệ giữa HÌNH DẠNG ỐNG và TỐC ĐỘ của dòng

Tốc độ âm thanh trong môi trường có dòng môi chất lưu động đoạn nhiệt:

$$a = \sqrt{kp v} \quad (m / s)$$

Trong đó:

+ a: tốc độ lan truyền của âm thanh.

+ p,v: áp suất (Pa) và thể tích riêng (m^3/kg) của môi chất trong môi trường mà âm thanh lan truyền.

+ k: Số mũ đoạn nhiệt của môi chất.

Ví dụ 5.1: Ở điều kiện không khí chuẩn $p = 1 \text{ bar}$, $t = 25^\circ\text{C}$, $k = 1,4$

$$v = \frac{RT}{p} = \frac{8314 \cdot (273 + 25)}{29 \cdot 100000} = 0,854 \text{ (m}^3 / \text{kg)}$$

$$a = \sqrt{kpv} = \sqrt{1,4 \cdot 100000 \cdot 0,854} = 346 \text{ (m / s)}$$

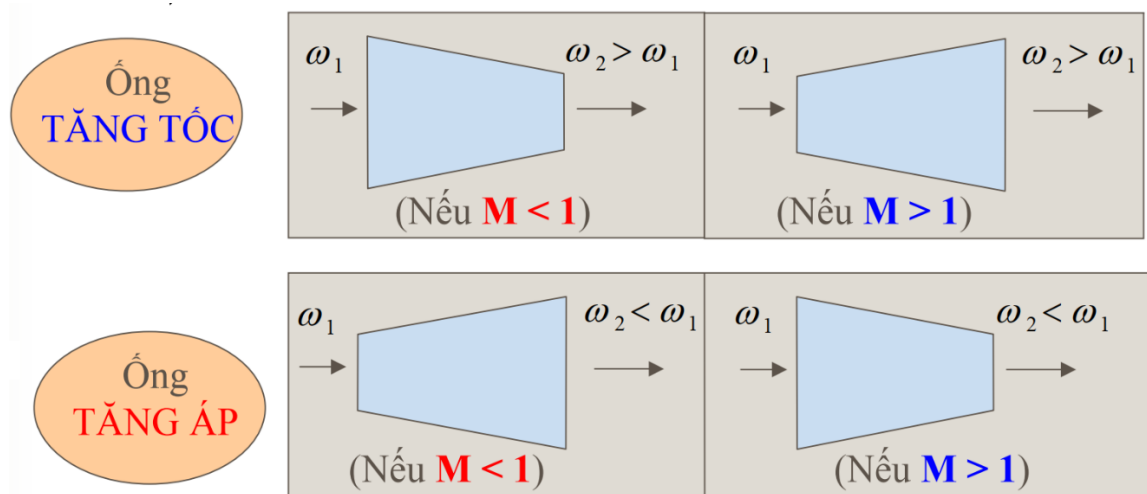
Tiêu chuẩn MACH:

$$M = \frac{\omega}{a}$$

Chú ý: khi $M > 1$ quá trình lưu động được gọi là SIÊU ÂM

Từ: $\begin{cases} \omega d\omega = -v dp \\ a = \sqrt{kpv} \\ pv^k = \text{const} \\ G = \frac{f\omega}{v} \end{cases} \Rightarrow \frac{df}{f} = (M^2 - 1) \frac{d\omega}{\omega} \Rightarrow$

Muốn xác định hình dạng ống phải xác định giá trị M trước



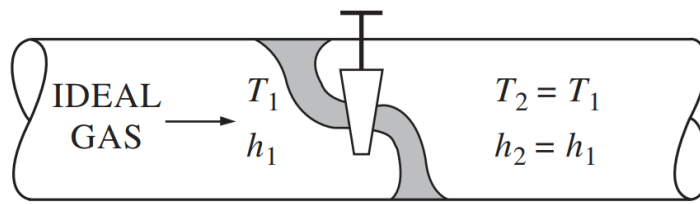
5.2. Quá trình TIẾT LƯU của Khí và Hơi

- Định nghĩa: Tiết lưu là quá trình dòng môi chất đi qua 1 tiết diện bị co hẹp đột ngột

- Tính chất:

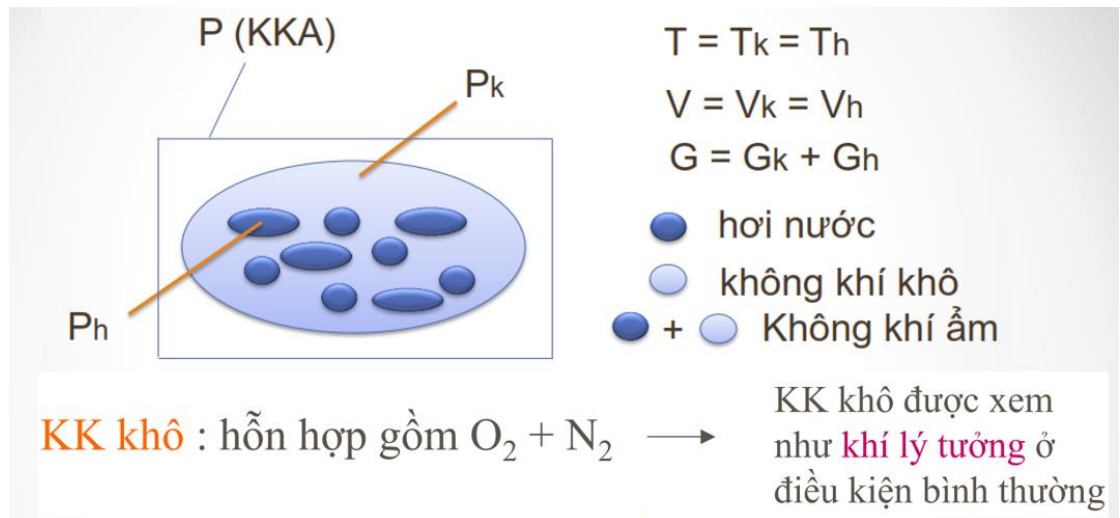
+ Do vận tốc cục bộ qua tiết diện tang $\rightarrow$ áp suất giảm

+ Quá trình Đẳng Entanpi $i_2 = i_1$



CHƯƠNG VI: KHÔNG KHÍ ẨM

6.1. Khái niệm cơ bản



Định luật Dalton: $P = P_k + P_h$

- P_h : phân áp suất hơi nước trong không khí ẩm (KKA) (thường rất nhỏ 15-20 mmHg)

- P_k : phân áp suất không khí khô trong KKA

- P : áp suất KKA hay áp suất khí trời

- G, G_k, G_h (kg): lần lượt là khối lượng KKA, KKK và hơi nước

Tùy theo giá trị (T_h, p_h) của hơi nước trong KKA, hơi nước sẽ ở trạng thái: **Hơi bão hòa ẩm hay hơi quá nhiệt**

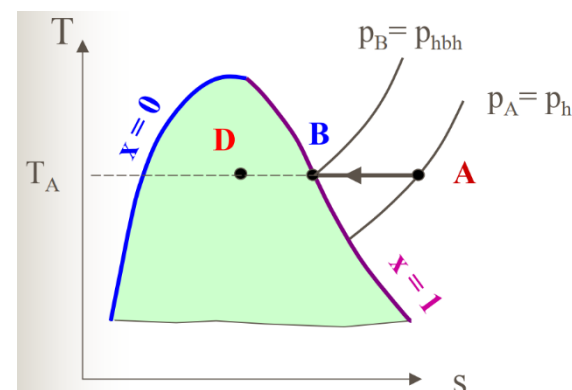
Phân loại không khí ẩm:

KKA có thể tồn tại ở 1 trong 3 trạng thái:

a) KKA chưa bão hòa

Tồn tại khi chứa hơi nước ở trạng thái HƠI QUÁ NHIỆT (Điểm A): $p_h < p_{hbb}$ → Còn có thể tiếp nhận được hơi nước

b) KKA bão hòa



Tồn tại khi có chứa hơi nước ở trạng thái BẢO HÒA KHÔ (Điểm B): $P_B = P_{hbh}$

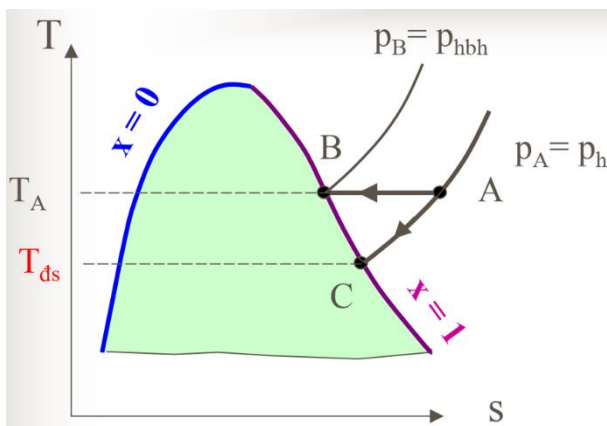
c) KKA quá bão hòa

Khi có chứa hơi nước ở trạng thái hơi bão hòa ẩm (Điểm D). Đây là trạng thái không bền vững $\rightarrow$ trở về KKA bão hòa + 1 lượng nước ngưng tụ.

Nhận xét:

- KKA chưa bão hòa (trạng thái A) là trạng thái thường gặp trong thực tế
- KKA chưa bão hòa (trạng thái A) có thể chuyển sang trạng thái KKA bão hòa bằng 2 cách:

Cách 1: Đường AB



Giữ nhiệt độ KK không thay đổi ($T = \text{const}$)

Tăng lượng hơi nước bay hơi vào KK

Tăng phân áp suất của hơi nước đến khi đạt trạng thái bão hòa B

Cách 2: Đường AC

Giữ phân áp suất của hơi nước trong KK

không thay đổi ($p_h = \text{const}$)

Giảm nhiệt độ không khí xuống cho đến khi đạt trạng thái bão hòa C ($T_C = T_{ds}$: **nhiệt độ đọng sương**)

6.2. Các thông số đặc trưng của không khí ẩm.

- Độ ẩm tuyệt đối:

$$\rho_h = \frac{G_h}{V} \quad (kg / m^3)$$

Trong đó:

+ G_h : khối lượng hơi nước chứa trong khối KKA

+ V: Thể tích khối KKA

Chú ý:

+ Độ ẩm tuyệt đối không quan trọng bằng độ ẩm tương đối

+ Vì phân áp suất của hơi nước trong KK ẩm rất nhỏ -> có thể xem hơi nước trong KKA là khí lý tưởng, do đó:

$$\rho_h V = G_h R_h T \quad \text{hay} \quad p_h = \rho_h R_h T$$

- Độ ẩm tương đối:

$$\varphi = \frac{G_h}{G_{hbh}} = \frac{p_h}{p_{hbh}} \quad (\%)$$

Là tỉ số giữa khối lượng hơi nước đang chứa trong khối KKA và khối lượng hơi nước tối đa có thể chứa trong khối KKA ở trạng thái bão hòa.

Chú ý: Độ ẩm tương đối càng nhỏ -> KKA càng có khả năng nhận thêm hơi nước bốc hơi vào.

Muốn xác định p_{hbh} tại nhiệt độ T cần tra bảng “Nước và hơi nước bão hòa” theo nhiệt độ -> Áp suất p_{hbh}

- Độ chứa hơi

$$d = \frac{G_h}{G_a} = 0,621 \frac{p_h}{p - p_h} = 0,621 \frac{\varphi p_{hbh}}{p - \varphi p_{hbh}} \left(\frac{kg_h}{kg_k} \right)$$

Là tỉ số giữa khối lượng hơi nước trong khối KKA và khối lượng không khí khô trong khối KKA.

- Entanpi của KKA

$$I = C_{pk} \cdot t + d (2500 + C_{ph} \cdot t) = 1,004 \cdot t + d (2500 + 1,842 \cdot t) \quad (kJ / kg_k)$$

Trong đó:

+ $C_{pk} = 1,004 \text{ (kJ/kg.}^{\circ}\text{C)}$ là nhiệt dung riêng của không khí khô

+ $C_{ph} = 1,842 \text{ (kJ/kg.}^{\circ}\text{C)}$ là nhiệt dung riêng của hơi nước

6.3. Đồ thị không khí ẩm.

- Để giải các bài toán về KKA, ngoài các công thức tính toán, chúng ta còn có thể giải bằng phương pháp dùng đồ thị.

- Thường sử dụng 1 trong 2 loại đồ thị: I-d hoặc t-d

- Nguyên tắc sử dụng:

Từ 2 thông số nào đó đã biết của KKA trong số:

+ Nhiệt độ $t \text{ (}^{\circ}\text{C)}$

+ Phân áp suất hơi nước p_h

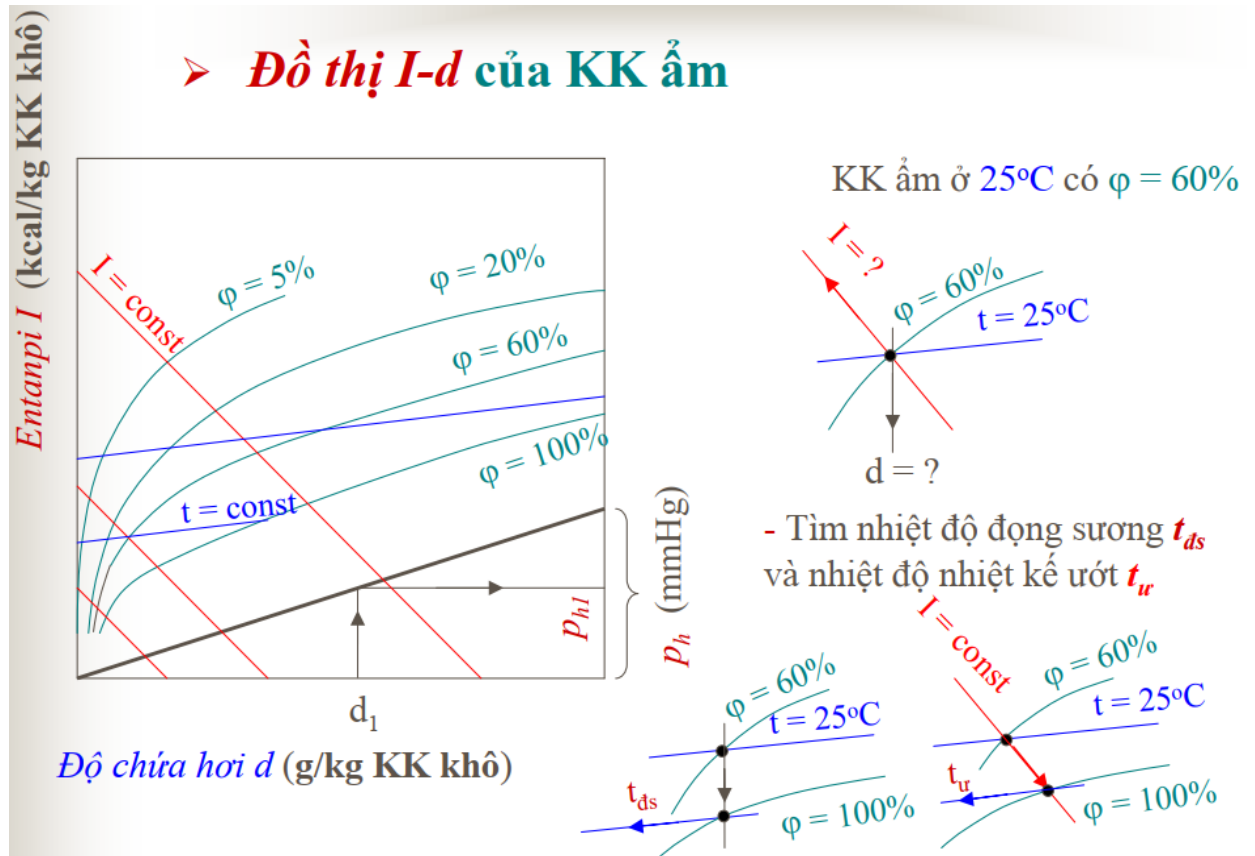
+ Độ chứa hơi $d \text{ (g/kg}_k\text{)}$

+ Độ ẩm tương đối $\phi \text{ (%)}$

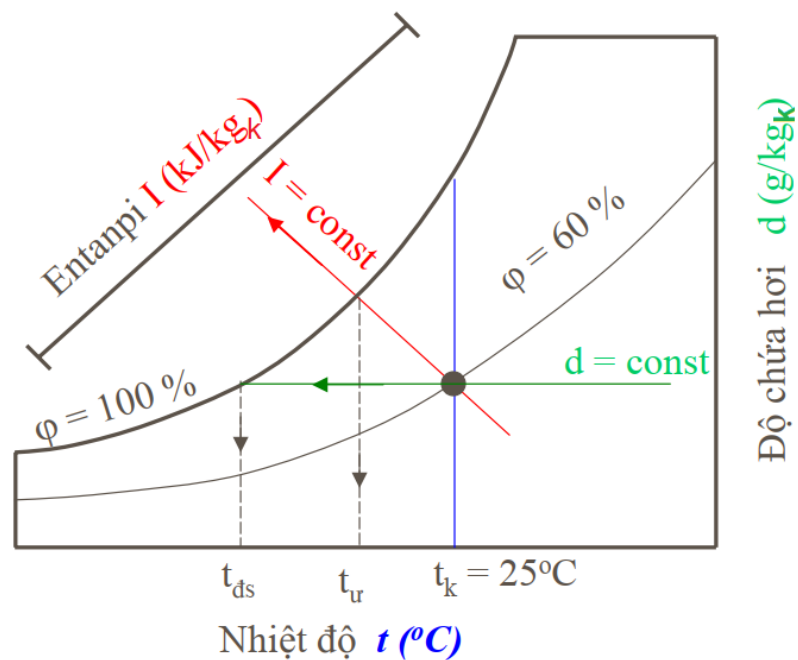
+ Entanpi KKA $I \text{ (kJ/kg)}$

Từ đây ta xác định được vị trí của KKA trên đồ thị và tiếp tục tìm được các thông số còn lại.

➤ **Đồ thị $I-d$ của KK ẩm**



➤ **Đồ thị $t-d$ của KK ẩm**



6.4. Các quá trình nhiệt động cơ bản.

Có 4 quá trình nhiệt động cơ bản của KKA

- Quá trình gia nhiệt và làm lạnh không khí
- Quá trình bốc hơi, tăng ẩm
- Hỗn hợp các dòng không khí
- Quá trình Sấy

6.4.1. Quá trình gia nhiệt và làm lạnh

a) Quá trình **GIA NHIỆT** không khí

- Quá trình gia nhiệt là quá trình có $d = \text{const}$
- Sau khi gia nhiệt:

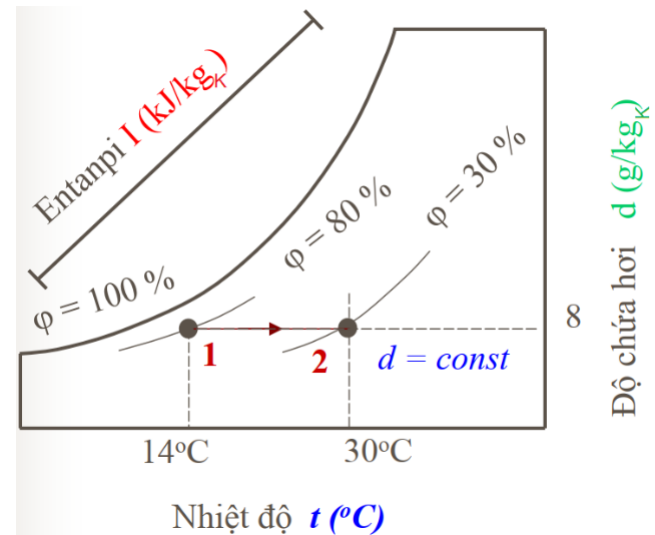
$$t_2(^{\circ}\text{C}) > t_1(^{\circ}\text{C})$$

$$\varphi_2 < \varphi_1$$

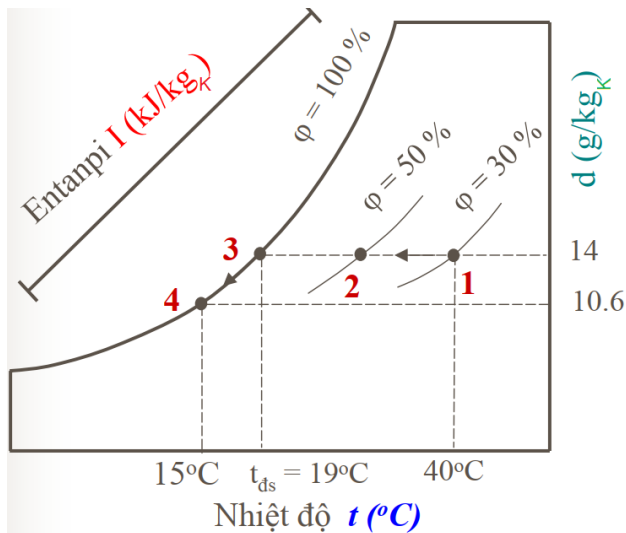
- Nhiệt lượng cung cấp cho quá trình gia nhiệt:

$$Q_{12} = G_k (I_2 - I_1) \quad (\text{kJ})$$

Trong đó: G_k là khối lượng không khí khô (kg_k)



b) Quá trình **LÀM LẠNH** không khí



- Làm lạnh KK trên nhiệt độ điểm sương (Quá trình 1-2)

Ở quá trình này: $d = \text{const}$ và

$$Q_{12} = G_k (I_1 - I_2) \quad (\text{kJ})$$

- Làm lạnh KK dưới nhiệt độ điểm sương (Quá trình 1-4)

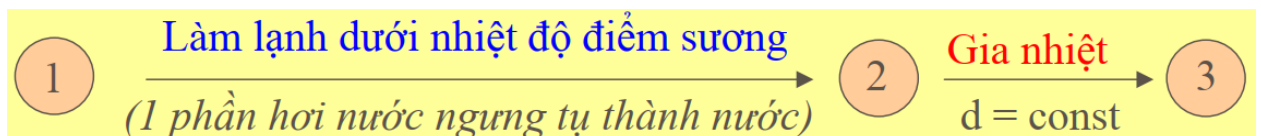
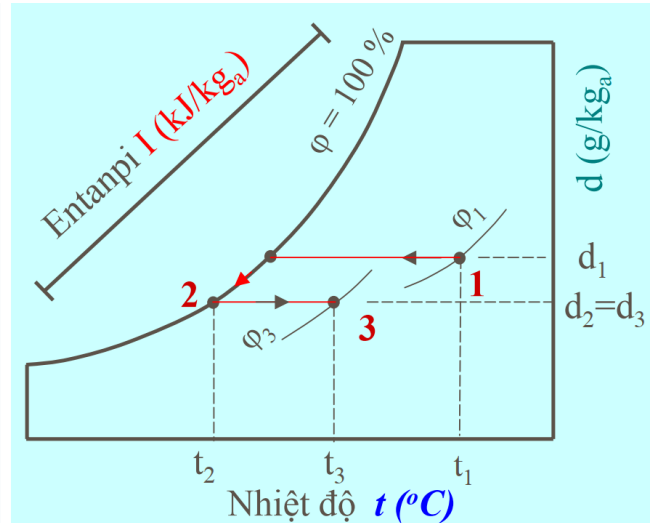
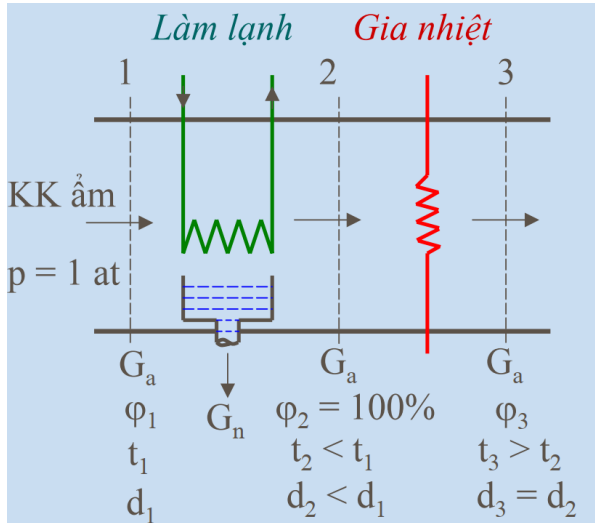
Ở quá trình này:

+ Lượng nước ngưng tụ:

$$G_n = G_k (d_1 - d_4) \quad (\text{kg})$$

+ Nhiệt lượng lấy đi: $Q_{14} = G_k (I_1 - I_4) \quad (\text{kJ})$

c) Quá trình **KHỬ ẨM** (giảm ẩm) không khí



Lượng nước ngưng tụ: $G_n = G_k (d_1 - d_4) \quad (\text{kg})$

6.4.2. Quá trình bốc hơi, tăng ẩm

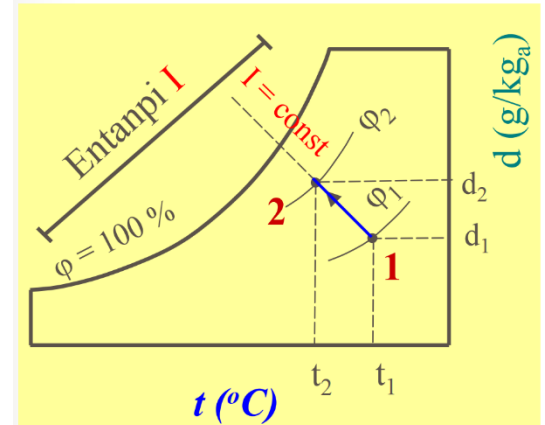
Có thể tăng độ ẩm của KK bằng 2 cách phụ thuộc khác nhau:

a) Phun bằng nước lạnh: quá trình này có $I = \text{const}$

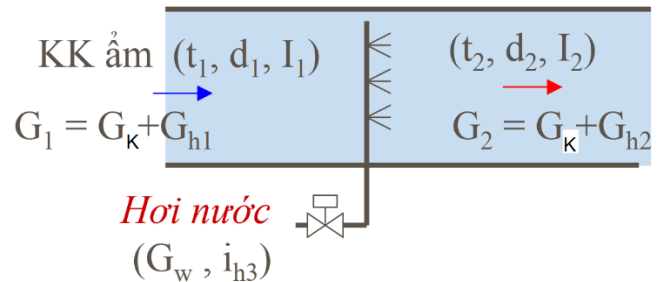
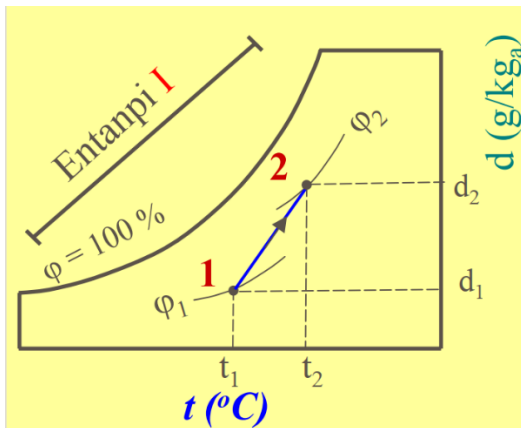
Lượng nước cần phun vào:

$$G_w = G_k (d_2 - d_1) \quad (\text{kg} / \text{h})$$

Trong đó G_k là lưu lượng không khí đi vào (kg / h)



b) Phun bằng hơi nước



Lượng nước phun thêm vào: $G_w = G_k (d_2 - d_1) \quad (\text{kg} / \text{h})$

Phương trình cân bằng chất: $G_{h2} = G_{h1} + G_w$

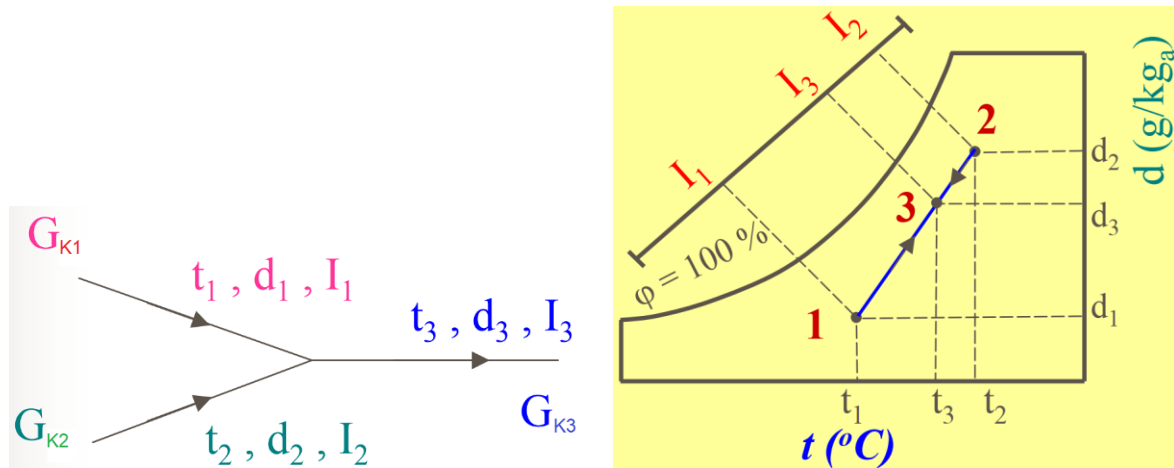
Phương trình cân bằng năng lượng: $G_k I_1 + G_w i_{h3} = G_k I_2$

Trong đó G_w và i_{h3} lần lượt là khối lượng và entanpi của hơi phun vào.

6.4.3. Hỗn hợp của các dòng không khí

Hai trường hợp hòa trộn KK thường gặp trong thực tế

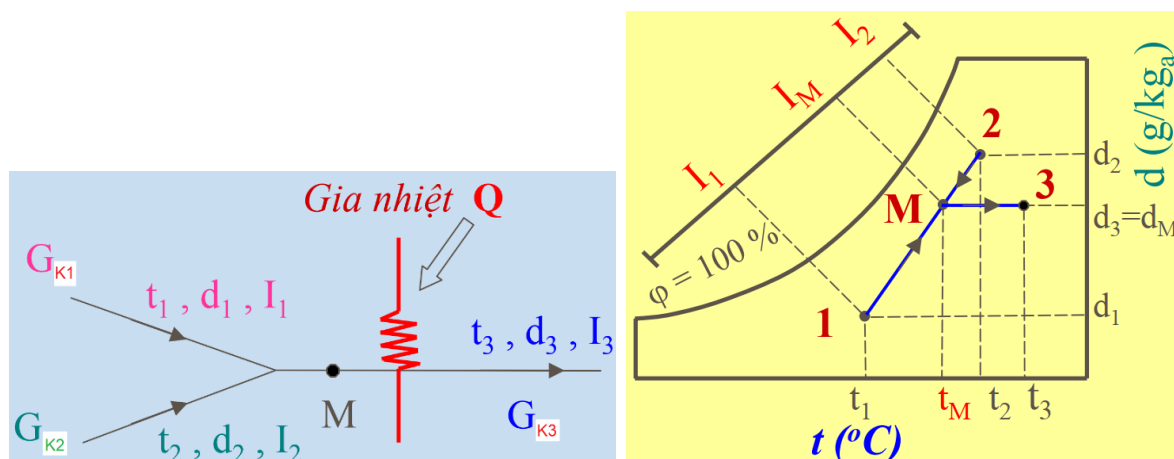
a) Hỗn hợp đoạn nhiệt của các dòng KK



Cân bằng phương trình ta có:

$$\left. \begin{aligned} G_{k1} + G_{k2} &= G_{k3} \\ G_{k1}I_1 + G_{k2}I_2 &= G_{k3}I_3 \\ G_{k1}d_1 + G_{k2}d_2 &= G_{k3}d_3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} t_3 = \frac{G_{k1}t_1 + G_{k2}t_2}{G_{k1} + G_{k2}} \\ d_3 = \frac{G_{k1}d_1 + G_{k2}d_2}{G_{k1} + G_{k2}} \\ I_3 = \frac{G_{k1}I_1 + G_{k2}I_2}{G_{k1} + G_{k2}} \end{cases}$$

b) Hỗn hợp phi đoạn nhiệt của các dòng KK

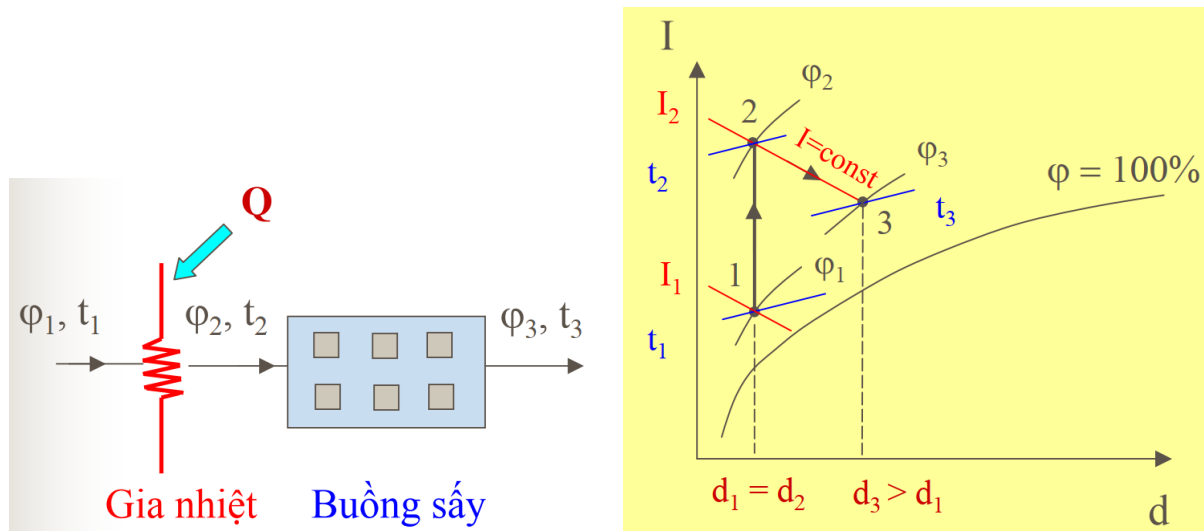


Ta có:

$$\begin{cases} t_M = \frac{G_{k1}t_1 + G_{k2}t_2}{G_{k1} + G_{k2}} \\ d_M = \frac{G_{k1}d_1 + G_{k2}d_2}{G_{k1} + G_{k2}} \\ I_M = \frac{G_{k1}I_1 + G_{k2}I_2}{G_{k1} + G_{k2}} \end{cases}$$

Quá trình gia nhiệt ta có $d_M = d_3$, với t_3 đã biết ta suy ra các thông số còn lại tại điểm 3

6.4.4. Quá trình Sấy



- KK lạnh ban đầu ở trạng thái 1 được gia nhiệt đến trạng thái 2. Quá trình 1 – 2 có $d = \text{const}$
- Sau đó KK nóng ở trạng thái 2 được đưa qua buồng sấy để lấy ẩm của vật liệu sấy. Quá trình 2-3 có $I = \text{const}$
- Lượng hơi nước lấy đi từ vật liệu sấy: $G_n = G_k(d_3 - d_2) \quad (\text{kg} / \text{h})$
- Nhiệt lượng cần cung cấp cho bộ gia nhiệt: $Q = G_k(I_2 - I_1) \quad (\text{kJ} / \text{h})$

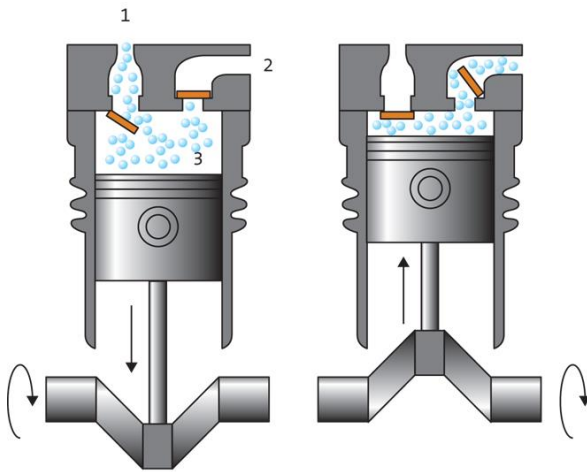
CHƯƠNG VII: QUÁ TRÌNH NÉN KHÍ VÀ HƠI

7.1. Khái niệm chung.

- Máy nén khí (hơi) dùng để tăng áp suất khí (hơi)
- Nếu $p < 2$ bar: đây là phạm vi sử dụng các loại QUẠT
- Nếu $p > 2$ bar: dùng các loại MÁY NÉN
 - + Nhóm 1: dùng công cơ học để nén khí: Máy nén Piston và Máy nén Turbine
 - + Nhóm 2: dùng nhiệt năng để nén khí: Máy nén Ejector

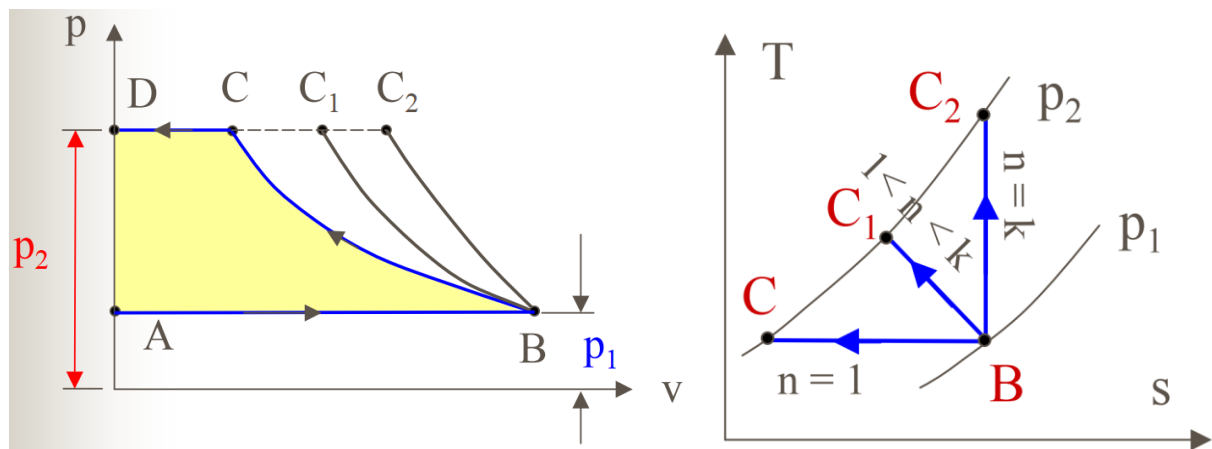
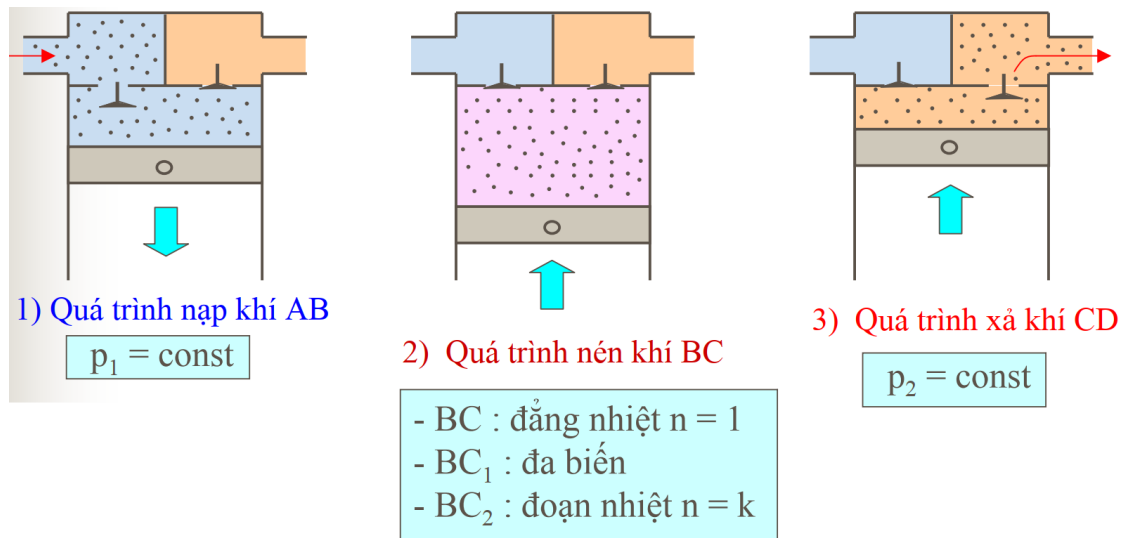
Dù khác nhau về cấu tạo, nguyên lý hoạt động...nhưng các máy nén này đều có quá trình nhiệt động như nhau.

7.2. Máy nén Piston



7.2.1. Máy nén Piston 1 cấp

Những quá trình cơ bản của máy nén piston 1 cấp



Hình 7.1. Biểu đồ $p-v$ và $T-s$ biểu diễn những quá trình cơ bản của máy nén piston 1 cấp

a) Tính công tiêu hao của máy nén piston 1 cấp

Công tiêu hao để nén 1 kg khí từ áp suất p_1 đến áp suất p_2 được tính theo công thức tính công kỹ thuật:

$$w = - \int_{p_1}^{p_2} v dp = w_{KT} \quad (J / kg)$$

+ Nén theo quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) ($n = 1$)

$$w = -RT \ln \frac{p_2}{p_1} = -p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (J / kg)$$

+ Nén theo quá trình đoạn nhiệt $pv^k = \text{const}$ ($n=k$)

$$w = \frac{-k}{k-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \frac{-k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (J / kg)$$

+ Nén theo quá trình đa biến $pv^n = \text{const}$ ($1 < n < k$)

Tương tự quá trình đoạn nhiệt, công nén cho 1 kg khí của quá trình đa biến là:

$$w = \frac{-n}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1) = \frac{-n}{n-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (J / kg)$$

Nhận xét:

Dựa vào đồ thị p-v (hình 7.1) ta thấy:

+ Công nén của quá trình ĐẲNG NHIỆT là NHỎ NHẤT (Diện tích ABCD)

+ Công nén của quá trình ĐOẠN NHIỆT là LỚN NHẤT (Diện tích ABC₂D)

b) Tính nhiệt lượng thải qua xylanh của máy nén piston 1 cấp

+ Nén theo quá trình ĐẲNG NHIỆT ($T=\text{const}$) ($n=1$)

$$q=w = -RT \ln \frac{p_2}{p_1} = -p_1 v_1 \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (J / kg)$$

Nhiệt lượng thải ra = Công nhận vào

+ Nén theo quá trình đoạn nhiệt $pv^k = \text{const}$ ($n=k$) ($q=0$)

Nhiệt độ cuối quá trình:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} [K]$$

+ Nén theo quá trình đa biến $pv^n = \text{const}$ ($1 < n < k$)

Nhiệt độ cuối quá trình:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} [K]$$

Nhiệt lượng thải quá xylanh của quá trình

$$q = c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1) \quad (kJ / kg)$$

c) Tác hại của dung tích thừa

Để tránh va đập trên thực tế giữa nắp xylanh và piston có 1 khoảng trống, gọi là dung tích thừa V_t .

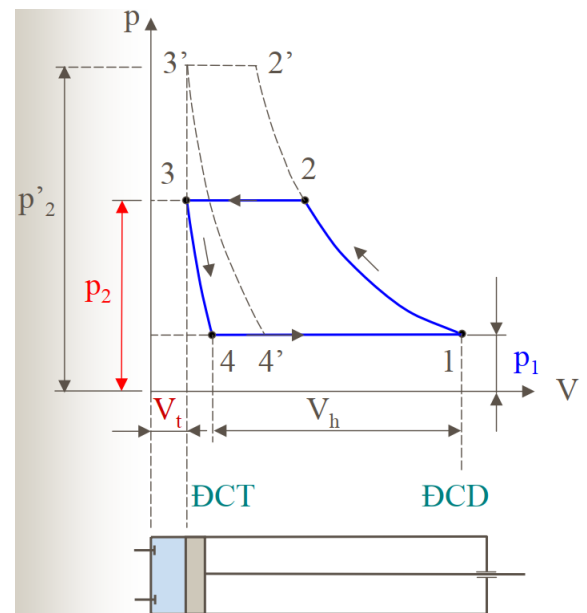
- Quá trình 1234 trên hình 7.2 thể hiện máy nén có dung tích thừa

- Do dung tích thừa, lượng khí nạp thực sự vào xi lanh chỉ còn $(V_1 - V_4)$

- Để đánh giá năng suất của máy nén piston bị suy giảm do dung tích thừa ta sử dụng hiệu suất thể tích

$$\lambda = \frac{V_1 - V_4}{V_1 - V_3} \quad (\lambda = 0,7 \div 0,9)$$

- Khi áp suất nén càng cao ($1'2'3'4'$) $\rightarrow \lambda$ càng thấp $\rightarrow$ dùng máy nén nhiều cấp.

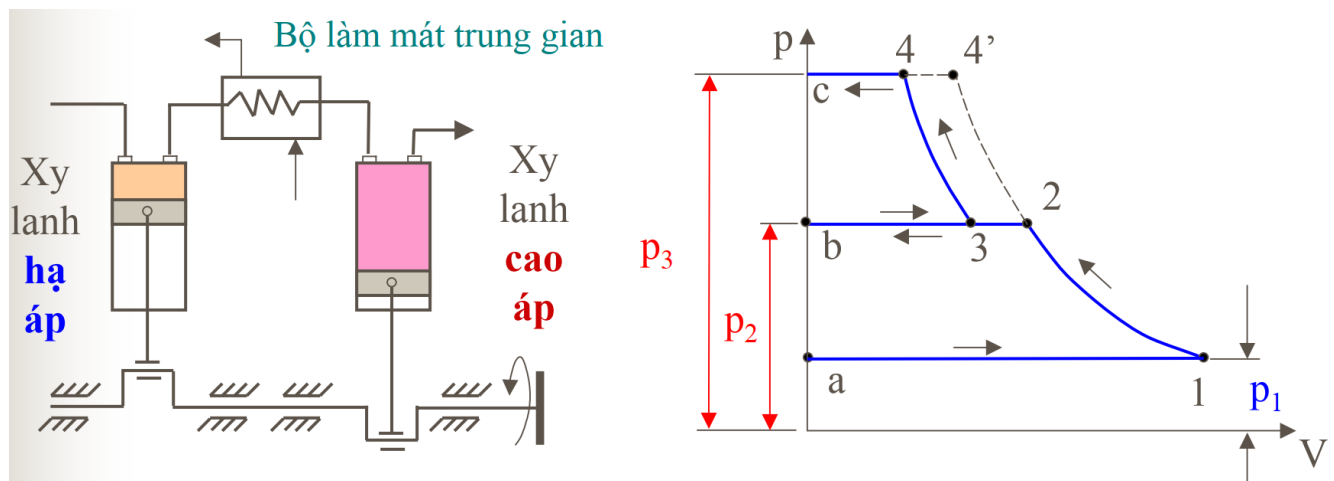


Hình 7.2. *Giản đồ p-V thể hiện dung tích thừa*

7.2.2. Máy nén piston nhiều cấp

- Dùng để nén khí ở áp suất cao: $\frac{p_2}{p_1} > 10$

- Giảm được công tiêu hao do có bộ làm mát trung gian (diện tích 2344')



Hình 7.3. Sơ đồ nguyên lý và giản đồ p - V của máy nén piston 2 cấp

a-1: Quá trình hút khí vào xy lanh cấp 1

1-2: Quá trình nén đa biến trong xy lanh cấp 1

2-b: Quá trình đẩy khí qua bình làm mát trung gian trước khi nạp khí vào xy lanh cấp 2

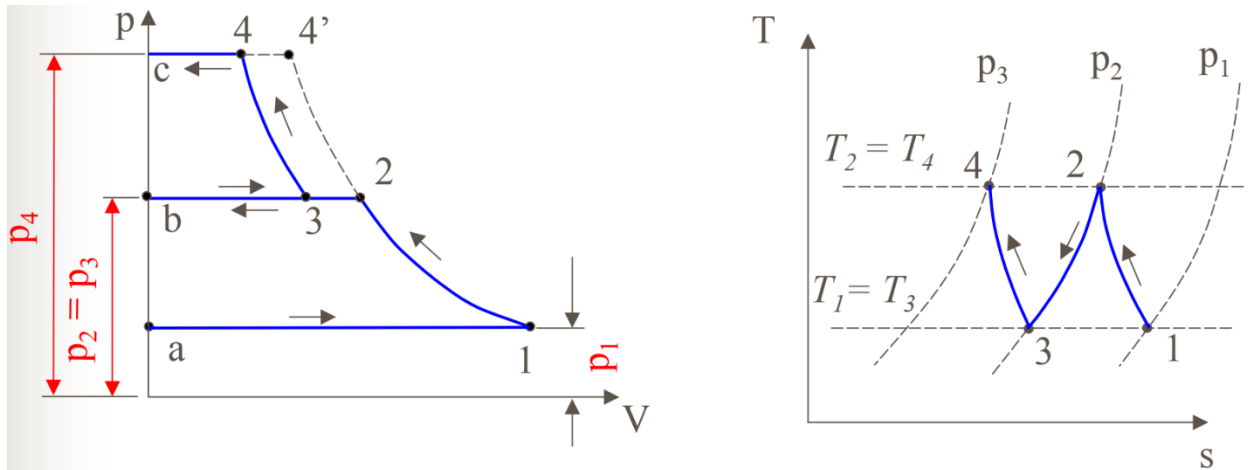
b-3: Quá trình làm mát khí trong bình làm mát trung gian và nạp vào xy lanh cấp 2

3-4: Quá trình nén đa biến trong xy lanh cấp 2

4-c: Quá trình thải khí từ xy lanh cấp 2 vào bình chứa.

a) Phân phối áp suất nén giữa các cấp

Chọn $T_1 = T_3$; $T_2 = T_4$



Hình 7.4. *Giản đồ p-V và T-s của máy nén piston 2 cấp*

Vì các cấp nén đều có cùng số mũ đa biến n như nhau, ta có:

Cấp 1:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

Cấp 2:

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{n}{n-1}}$$

Tỉ số tăng áp mỗi cấp là: $x = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3} = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$ (Vì $p_2 = p_3$)

Tỉ số tăng áp của máy nén 2 cấp là: $x^2 = \frac{p_4}{p_1}$

b) Tính toán cho máy nén 2 cấp

Ta có:

$$+ p_2 = p_3$$

$$+ T_3 = T_1$$

$$+ T_4 = T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

- Tỉ số tăng áp của từng cấp là như nhau: $x = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3} = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$

Do đó tỉ số tăng áp của toàn máy nén 2 cấp là: $x^2 = \frac{p_4}{p_1}$

- Dung tích xy lanh cấp 1 (Xylanh hạ áp) là V_1 (m^3)

- Dung tích xy lanh cấp 2 (Xylanh cao áp) là V_3 (m^3)

Vì $T_1 = T_3$, áp dụng pt khí lý tưởng suy ra quan hệ: $V_3 = \frac{V_1}{x} (m^3)$

- Công tiêu hao (cho 1 kg khí) của máy nén 2 cấp:

+ Cấp 1:

$$w = \frac{-n}{n-1} RT_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] (J / kg)$$

+ Cấp 2:

$$w = \frac{-n}{n-1} RT_3 \left[\left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] (J / kg)$$

Chú ý: n là số mũ đa biến của quá trình nén đa biến nói chung

Vì: $T_1 = T_3$ và $x = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_4}{p_3}$ nên $w_1 = w_2$

=> Công tiêu hao cho 1 kg khí của máy nén 2 cấp là:

$$w_{mn} = w_1 + w_2 = \frac{-2n}{n-1} RT_3 \left[\left(\frac{p_4}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] (J / kg)$$

- Nhiệt lượng khí nén thải qua xylanh và qua bình làm mát trung gian của máy nén 2 cấp:

+ Nhiệt lượng thải qua vỏ xylanh của mỗi cấp nén là như nhau và bằng:

$$q_1 = c_v \frac{n-k}{n-1} \Delta T = c_v \frac{n-k}{n-1} T_1 \left(x^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) (kJ / kg)$$

Với $x = \sqrt{\frac{p_4}{p_1}}$ là tỉ số tăng áp của từng cấp

=> Nhiệt lượng thải qua 2 vỏ xylanh của máy nén 2 cấp là: $2.q_1$

+ Nhiệt lượng thải qua bình làm mát trung gian của máy nén là:

$$q_2 = c_p (T_2 - T_1) (kJ / kg)$$

Với c_p là nhiệt dung riêng đẳng áp của khí nén

=> Nhiệt lượng thải qua xylanh và qua bình làm mát trung gian của máy nén 2 cấp là:

$$q_{mn} = 2q_1 + q_2 (kJ / kg)$$

7.3. Máy nén Tuabin.

Nhược điểm lớn nhất của máy nén piston là cho sản lượng khí (hơi) thấp, ngoài ra nó còn có một số khuyết điểm như:

- Tốc độ vòng quay không cao
- Nạp và thải khí gián đoạn
- Ảnh hưởng xấu của dung tích thừa

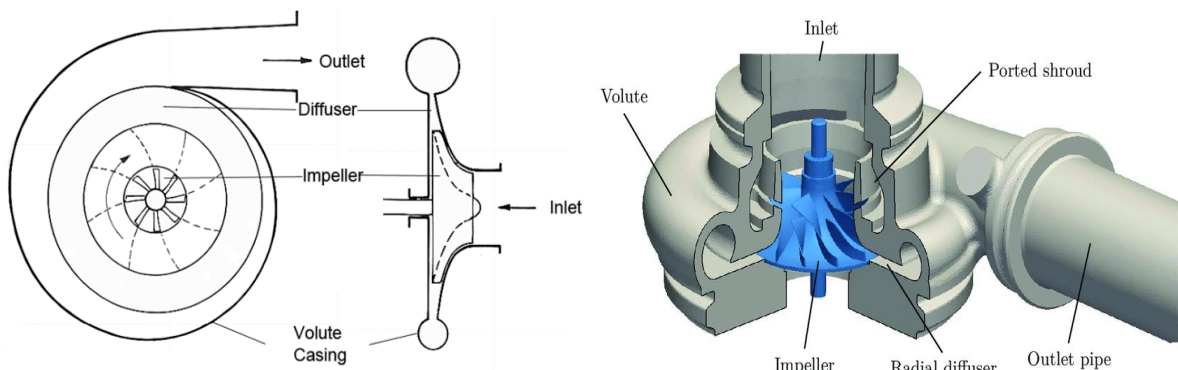
- Độ rung động cao
- Mô men khởi động lớn

Máy nén Tuabin có thể khắc phục những nhược điểm này, máy nén tuabin có quá trình nạp và thải khí liên tục, lưu lượng rất lớn, tốc độ quay có thể gấp hàng chục lần máy nén piston, không bị ảnh hưởng của dung tích thừa, mô men khởi động, độ rung nhỏ, tuổi thọ cao, kích thước nhỏ gọn và hiệu suất cao tuy nhiên công nghệ chế tạo đòi hỏi cao, chi phí lớn.

Máy nén tuabin có 2 loại chính:

- + Máy nén ly tâm
- + Máy nén hướng trục

7.3.1. Máy nén ly tâm



Hình 7.5. Cấu tạo máy nén ly tâm (Centrifugal Compressor)

Nguyên lý hoạt động: Chất khí được hút vào các rãnh của đĩa công tác, đĩa công tác quay với tốc độ cao (nhờ động lực bên ngoài truyền qua trục máy), dưới tác dụng của lực ly tâm dòng khí được tăng tốc, dòng khí ra khỏi đĩa công tác có tốc độ cao được dẫn vào ống tăng áp (ở đây là ống hình xoắn ốc có tiết diện tang dần), tốc độ giảm xuống và áp suất tăng.

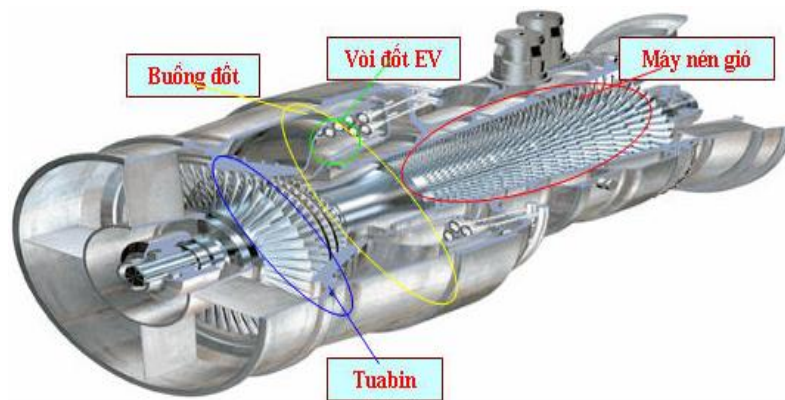
Công thức tế cung cấp cho máy nén ứng với 1 kg khí sẽ là:

$$W = (i_1 - i_2) + q - \left(\frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right)$$

Nếu bỏ qua sự thay đổi động năng ở cửa vào và ra thì phương trình trên có dạng:

$$W = (i_1 - i_2) + q$$

7.3.2. Máy nén hướng trục



Hình 7.6. Máy nén hướng trục trong động cơ tuabin khí

Máy nén hướng trục có nguyên lý làm việc tương tự máy nén ly tâm, chỉ khác là dòng khí đi dọc trục.

Máy nén hướng trục thường cho 1 lưu lượng cực lớn nên được sử dụng trong động cơ tuabin khí, động cơ phản lực, trong máy nén hướng trục dòng khí ít khi bị uốn dòng hơn máy nén ly tâm nên hiệu suất cao hơn. Muốn có áp suất cao máy nén hướng trục phải ghép nhiều tầng, mỗi tầng có tỷ số nén $\varepsilon = 1,1 \div 1,3$.

7.4. Công suất tiêu hao của máy nén và hiệu suất.

- Công suất của máy nén piston được tính:

$$N = \frac{G \cdot W_{TC}}{1000 \cdot \eta_{TC} \cdot \eta_m}$$

Trong đó:

$$+ \eta_{TC} = \frac{W_{TC}}{W_C} = 0,65 \div 0,85 : \text{hiệu suất nén đẳng nhiệt}$$

+ W_{TC} : Công lý thuyết khi nén theo quá trình đẳng nhiệt

+ W_C : Công thực tế cấp vào máy nén (Sau khi đã cộng các tổn thất)

+ G : Lưu lượng khí (hơi) kg/s

+ η_m : Hiệu suất cơ khí, thông thường khi thiết kế $\eta_{mp} = 0,8 \div 0,93$

- Công suất của máy nén ly tâm và hướng trục được tính:

$$N = \frac{G \cdot W_{sc}}{1000 \cdot \eta_{sc} \cdot \eta_m}$$

Trong đó:

$$+ \eta_{SC} = \frac{W_{SC}}{W_C} : \text{hiệu suất nén đoạn nhiệt (hiệu suất đẳng entropi). Với máy nén ly}$$

tâm $\eta_{SC} = 0,8 \div 0,9$, đối với máy nén hướng trục $\eta_{SC} = 0,85 \div 0,95$.

+ W_{SC} : Công lý thuyết khi nén theo quá trình đoạn nhiệt

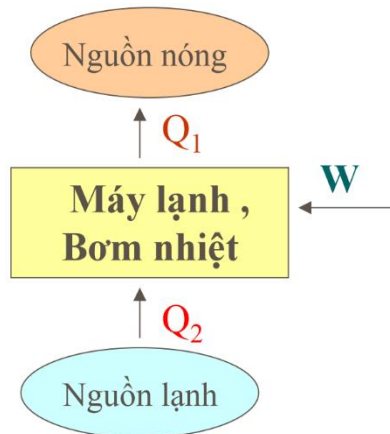
+ W_C : Công thực tế cấp vào máy nén (Sau khi đã cộng các tổn thất)

+ η_m : Hiệu suất cơ khí, thông thường khi thiết kế $\eta_{mp} = 0,96 \div 0,98$

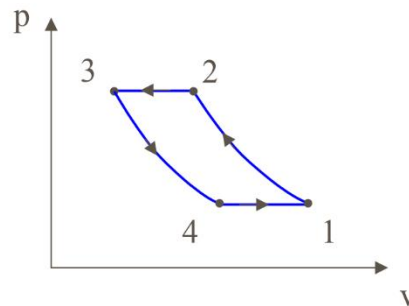
CHƯƠNG VIII: CHU TRÌNH MÁY LẠNH VÀ BƠM NHIỆT

8.1. Khái niệm.

Máy lạnh/Bơm nhiệt: chuyển CÔNG thành NHIỆT NĂNG



Chu trình **ngược chiều**



Cả Máy lạnh hoặc Bơm nhiệt đều hoạt động theo chu trình ngược chiều nhưng mục đích của Máy lạnh và bơm nhiệt hoàn toàn khác nhau:

- Máy lạnh: mục đích lấy đi nhiệt lượng Q_2 từ không gian cần làm lạnh

$$\text{Hệ số làm lạnh: } \varepsilon = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$$

- Bơm nhiệt: mục đích đưa nhiệt lượng Q_1 vào không gian cần sưởi ấm

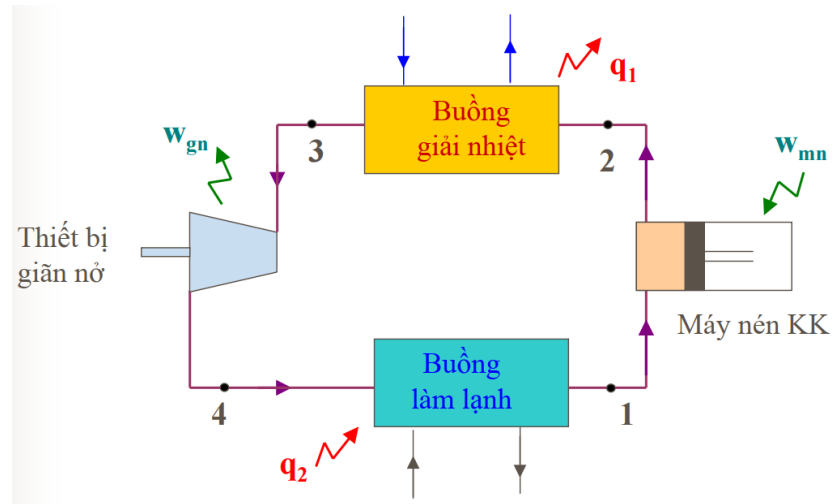
$$\text{Hệ số làm nóng: } \varphi = \frac{|Q_1|}{|W|} = \frac{|Q_1|}{|Q_1| - Q_2} > 1$$

8.2. Chu trình lạnh dùng không khí.

Không khí có thể xem là khí lý tưởng, nên sử dụng các công thức của khí lý tưởng để tính toán.

- Đây là một trong những máy lạnh được sử dụng,
- Hệ số làm lạnh không cao
- Vì hệ số tỏa nhiệt đối lưu của KK khá nhỏ $\rightarrow$ Kích thước hệ thống lớn

Hiện nay không còn sử dụng máy làm lạnh bằng KK. Trường hợp duy nhất còn sử dụng hệ thống này là hệ thống ĐHKK trên máy bay.



Hình 8.1. Sơ đồ nguyên lý chu trình lạnh dùng không khí

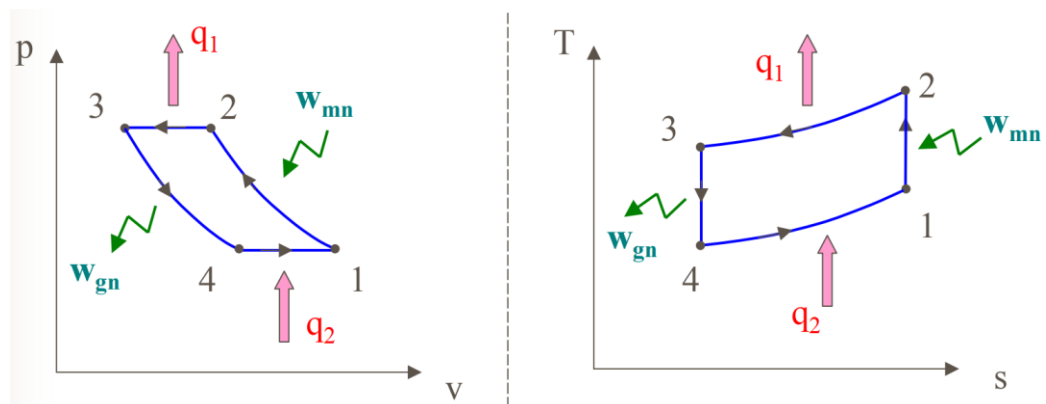
1-2: Quá trình nén KK đoạn nhiệt

2-3: Quá trình KK thải nhiệt đẳng áp

3-4: Quá trình giãn nở KK đoạn nhiệt

4-1: Quá trình KK nhận nhiệt đẳng áp

Tính toán chu trình lạnh dùng không khí



- Điểm 1: Biết $p_1, T_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} \text{ (m}^3 / \text{kg)}$ với $R = 8314/29 \text{ (J/kgK)}$

- Điểm 2: Biết p_2 , 1-2 đoạn nhiệt $\rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$ với $k = 1,4$

- Điểm 3: Biết T_3 , 2-3 đẳng áp $\rightarrow p_3 = p_2$

- Điểm 4:

$$3-4 \text{ đoạn nhiệt } \rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_3 \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

4-1 đẳng áp $\rightarrow p_4 = p_1$

- Công máy nén cần cung cấp cho 1 kg KK: vì 1-2 là quá trình đoạn nhiệt

$$W_{mn} = W_{KT(1-2)} = k \cdot c_v (T_1 - T_2) = c_p (T_1 - T_2) \text{ (kJ / kg)}$$

- Công do 1 kg KK sinh ra tại thiết bị giãn nở:

$$W_{gn} = W_{KT(3-4)} = c_p (T_3 - T_4) \text{ (kJ / kg)}$$

- Nhiệt lượng mà 1 kg KK nhận vào tại buồng lạnh:

$$q_2 = q_{(4-1)} = c_p (T_1 - T_4) \text{ (kJ / kg)}$$

- Nhiệt lượng mà 1 kg KK thải ra tại buồng giải nhiệt:

$$q_1 = q_{(2-3)} = c_p (T_3 - T_2) \text{ (kJ / kg)}$$

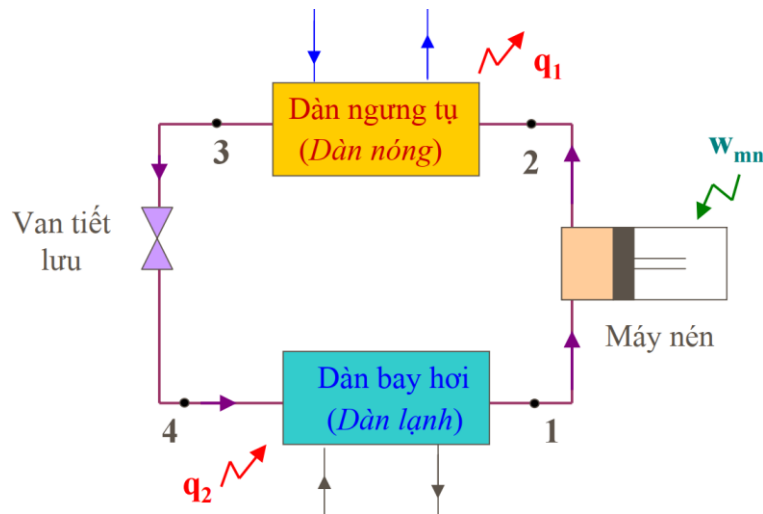
- Hệ số làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|W_{mn} + W_{gn}|}$$

8.3. Chu trình lạnh dùng hơi.

Không giống với chu trình lạnh dùng không khí, chu trình lạnh dùng hơi cần phải tra bảng:

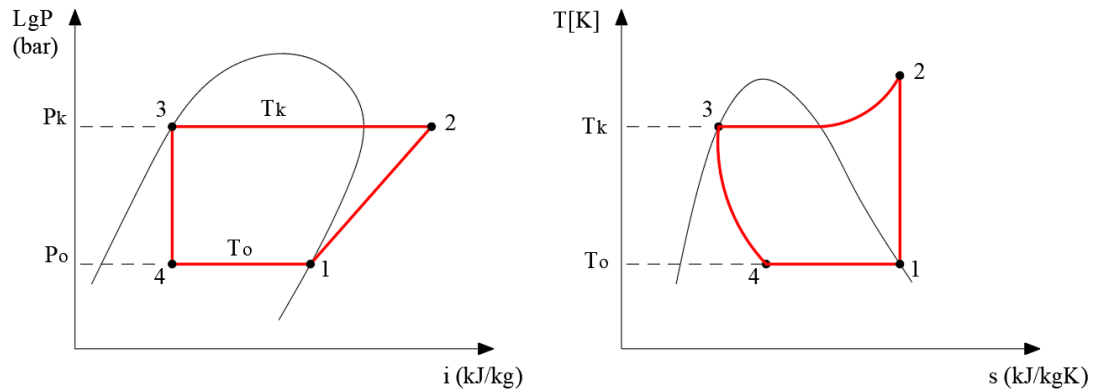
- + Bảng bão hòa
- + Bảng hơi quá nhiệt
- Đây là hệ thống máy lạnh được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay
- Một số tác nhân lạnh thường được sử dụng:
 - + Freon 22 (R22)
 - + R410a
 - + R32
 - + Ammonia (NH_3) thường sử dụng trong hệ thống lạnh lớn và rất lớn



Hình 8.2. Sơ đồ nguyên lý chu trình lạnh dùng hơi

- 1-2: Quá trình nén hơi đoạn nhiệt
- 2-3: Quá trình hơi thải nhiệt đẳng áp
- 3-4: Quá trình hơi giãn nở đẳng entanpi ($i_3 = i_4$)
- 4-1: Quá trình hơi nhận nhiệt đẳng áp

Tính toán chu trình lạnh dùng hơi



Hình 8.3. *Giản đồ logp-i và T-s của chu trình lạnh dùng hơi*

- Để xác định thông số trạng thái của các điểm 1, 2, 3, 4 ta cần biết 2 thông số:

Ví dụ bài toán cho biết p_3 , T_1 , hơi sử dụng là R22

- Điểm 1:

Hơi bão hòa khô, biết $T_1 \rightarrow$ Tra bảng hơi R22 bão hòa ứng với T_1 ta được áp suất sôi p_1 và

enthalpy $i_1 = i''$, entropy $s_1 = s''$

- Điểm 2:

Hơi quá nhiệt, biết $p_2 = p_3$ và $s_2 = s_1 \rightarrow$ Tra bảng hơi R22 quá nhiệt ta được i_2

- Điểm 3:

Lỏng sôi, biết $p_3 \rightarrow$ tra bảng hơi R22 bão hòa ta được $i_3 = i'$

- Điểm 4:

Hơi bão hòa ẩm, biết $T_4 = T_1$ và $i_4 = i_3$ ta tìm được x_4

- Công cần cung cấp cho 1 kg hơi của máy lạnh:

$$|w_{ml}| = |w_{KT(1-2)}| = i_2 - i_1 \quad (kJ / kg)$$

- Nhiệt lượng 1 kg hơi nhận vào tại dàn lạnh:

$$q_2 = i_1 - i_4 \quad (kJ / kg)$$

- Nhiệt lượng 1 kg hơi thải ra tại dàn nóng:

$$|q_1| = i_2 - i_3 \quad (kJ / kg)$$

- Hệ số lạnh của chu trình:

$$\varepsilon = \frac{q_2}{|w_{ml}|} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{i_1 - i_3}{i_2 - i_1} \quad (kJ / kg)$$