

TRƯỜNG CAO ĐẲNG LÝ TỰ TRỌNG THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Khoa Nhiệt – Lạnh



NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

Biên soạn:

Ths. Nguyễn Thanh Dũng

Ths. Hoàng Văn Viết

I. Giới thiệu môn học

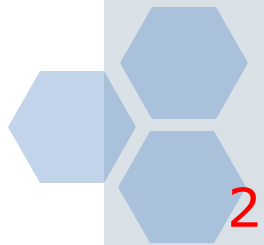
Tên môn học : NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

Số tín chỉ : 4

1.1. Mục tiêu môn học

Sau khi học môn nhiệt động kỹ thuật sinh viên có thể:

- *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.*



I. Giới thiệu môn học

- *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

I. Giới thiệu môn học

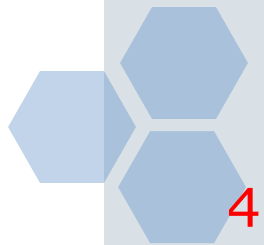
1.2. Đánh giá môn học

- Chuyên cần + thi giữa kỳ hoặc bài tập lớn + kiểm tra nhỏ trên lớp: 20% + 20%
- Thi cuối kỳ : 60% (theo lịch của trường)

Thông tin liên hệ:

Email: nguyenthanhdung@ltdc.edu.vn

Phone: 0988992616



I. Giới thiệu môn học

1.3. Tài liệu tham khảo

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

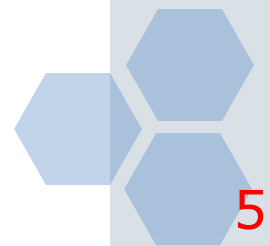
- Sách, tài liệu tham khảo:

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

[3] 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



I. Giới thiệu môn học

NỘI DUNG MÔN HỌC

CHƯƠNG I: Một số khái niệm cơ bản và phương trình trạng thái của vật chất ở thể khí

CHƯƠNG II: Định luật nhiệt động thứ nhất và các quá trình nhiệt động của khí lý tưởng

CHƯƠNG III: Định luật nhiệt động thứ hai

CHƯƠNG IV: Chất thuần khiết

CHƯƠNG V: Một số quá trình đặc biệt của khí và hơi

CHƯƠNG VI: Không khí ẩm

CHƯƠNG VII: Quá trình nén khí và hơi

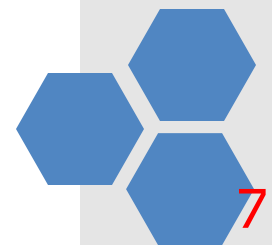
CHƯƠNG VIII: Chu trình máy lạnh và bơm nhiệt





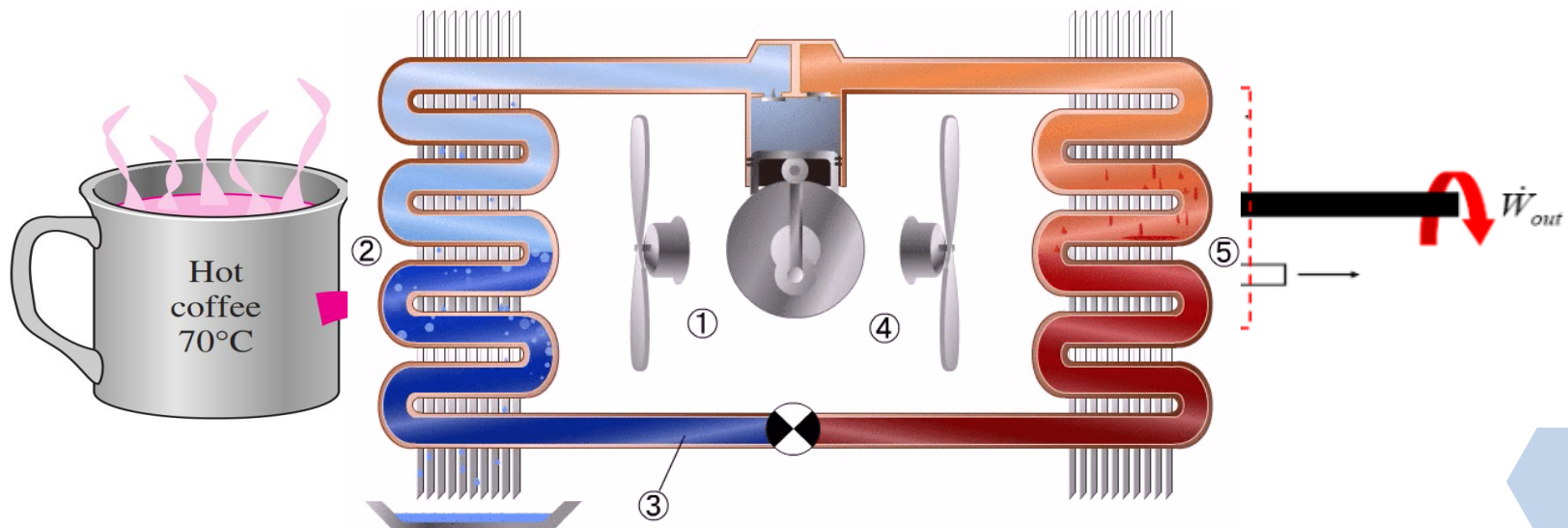
CHƯƠNG 1

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



1.1. Các vấn đề chung

- 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.



CHƯƠNG 1

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: $W (-)$

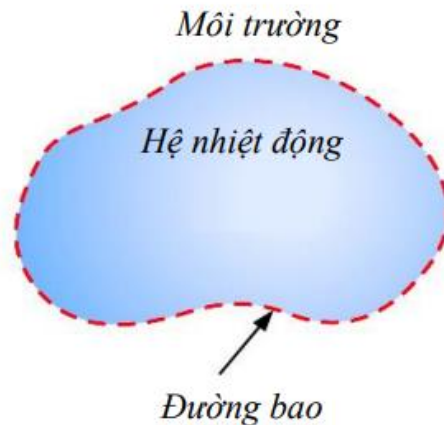
Đơn vị đo:

- Hệ SI: $1\text{J (Jun)} = 1\text{ N.m}$; $1\text{ cal (calo)} = 4,186\text{ J}$
- Hệ khác: $1\text{ Btu} = 1055\text{ J} = 252\text{ cal}$; $1\text{Wh} = 3,413\text{ Btu}$

CHƯƠNG 1

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.



- Những vật chất và vùng không gian không được lựa chọn được gọi là môi trường xung quanh, và được ngăn cách với HND bởi bề mặt ranh giới (đường bao).

CHƯƠNG 1

- **Chất môi giới** là **chất trung gian** thực hiện sự **biến đổi** và **truyền tải** năng lượng trong **HNĐ**
- **Nguồn nhiệt** là các đối tượng **trao đổi nhiệt** trực tiếp với **chất môi giới** mà **không thay đổi nhiệt độ**.
Nguồn nhiệt gồm có nguồn nóng và nguồn lạnh

Chất môi giới?, **nguồn nóng?**,
nguồn lạnh?

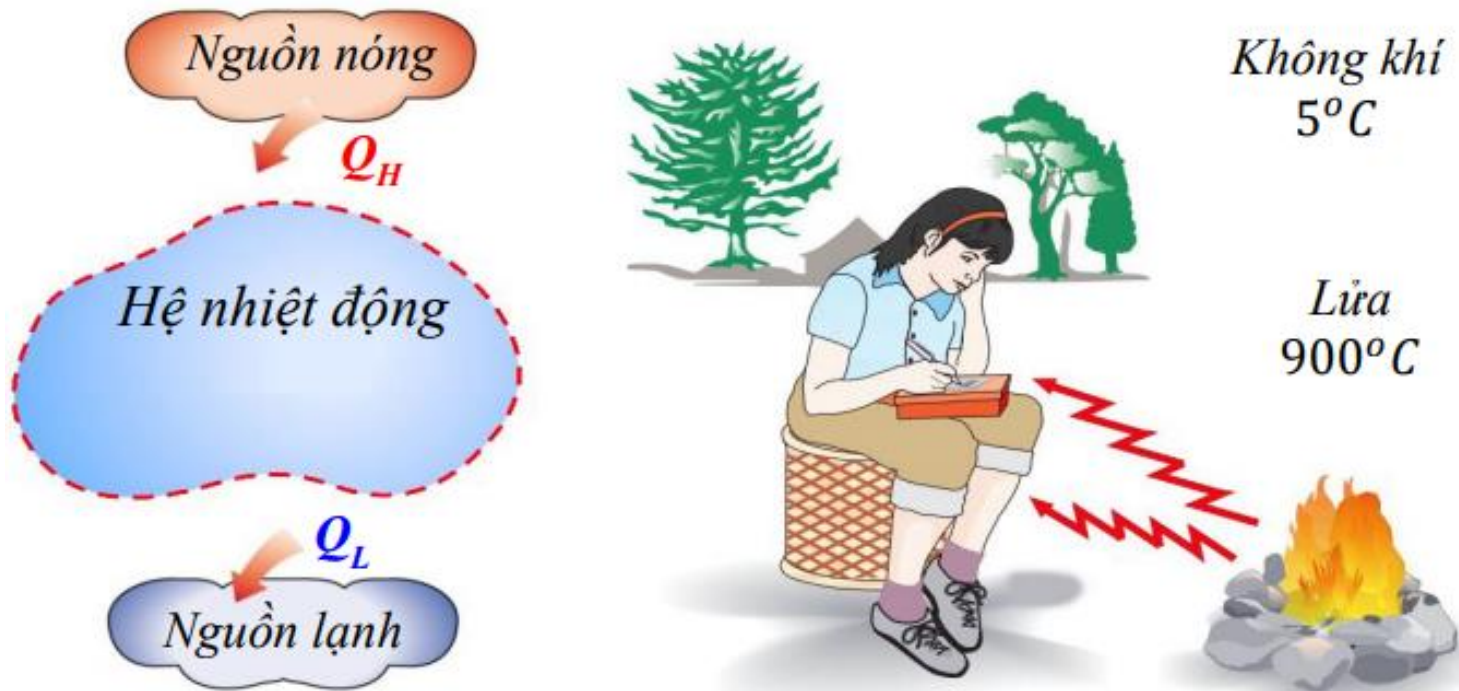
Khi xem xét một
HNĐ cần chú ý:

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

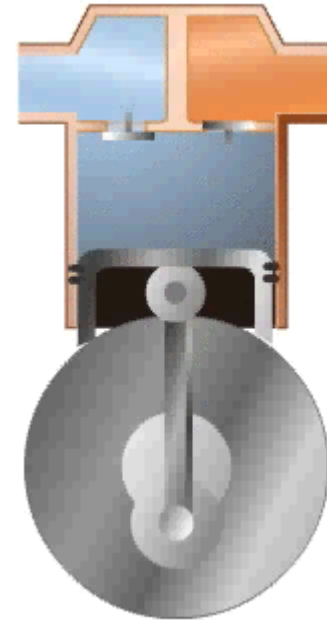
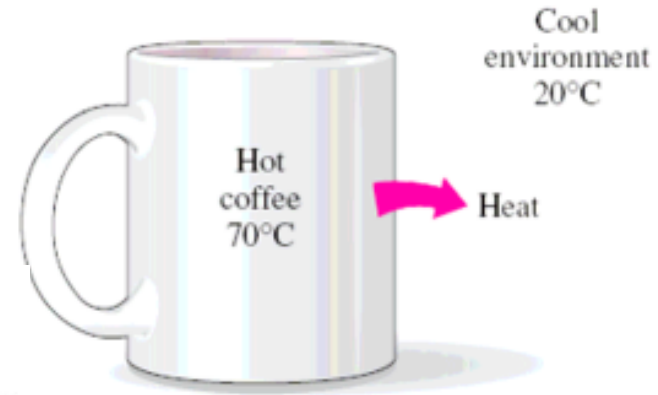
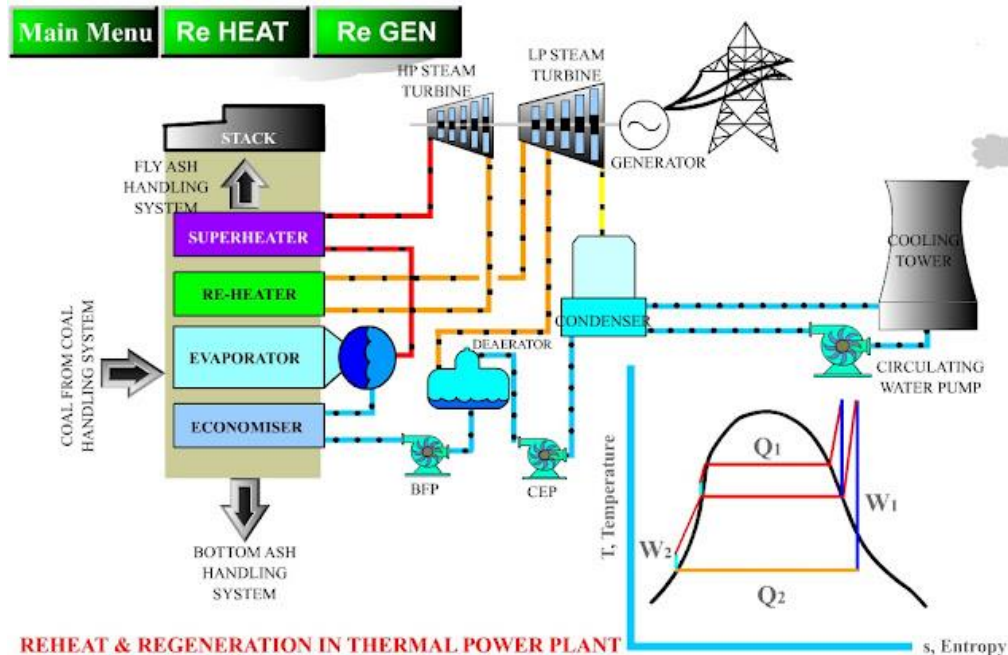
Bề mặt ranh giới ngăn cách giữa
chất môi giới và môi trường

CHƯƠNG 1

Ví dụ: về hệ nhiệt động và nguồn nhiệt



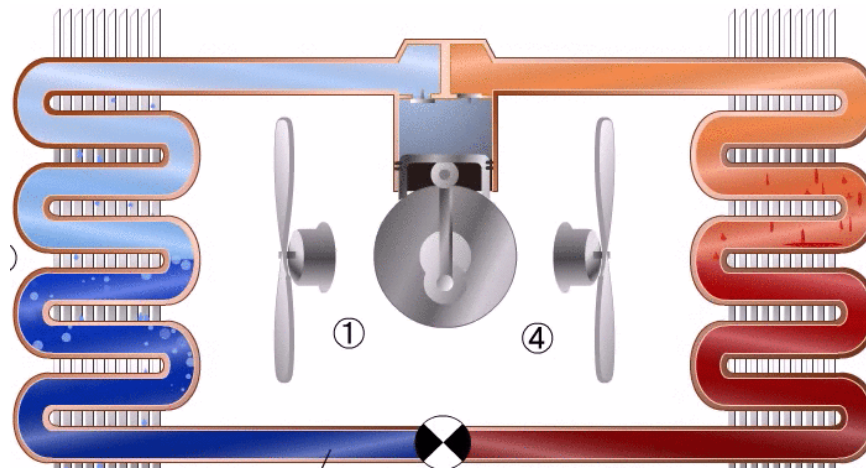
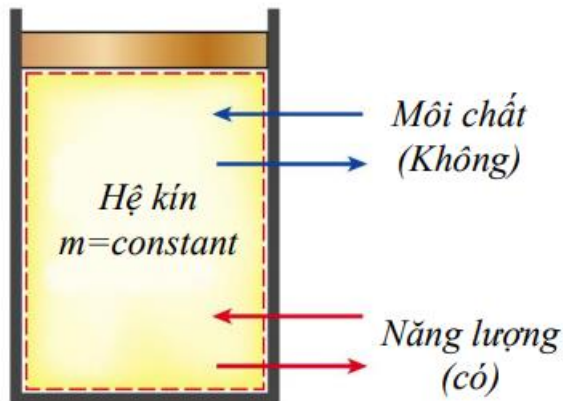
Ví dụ: về hệ nhiệt động



CHƯƠNG 1

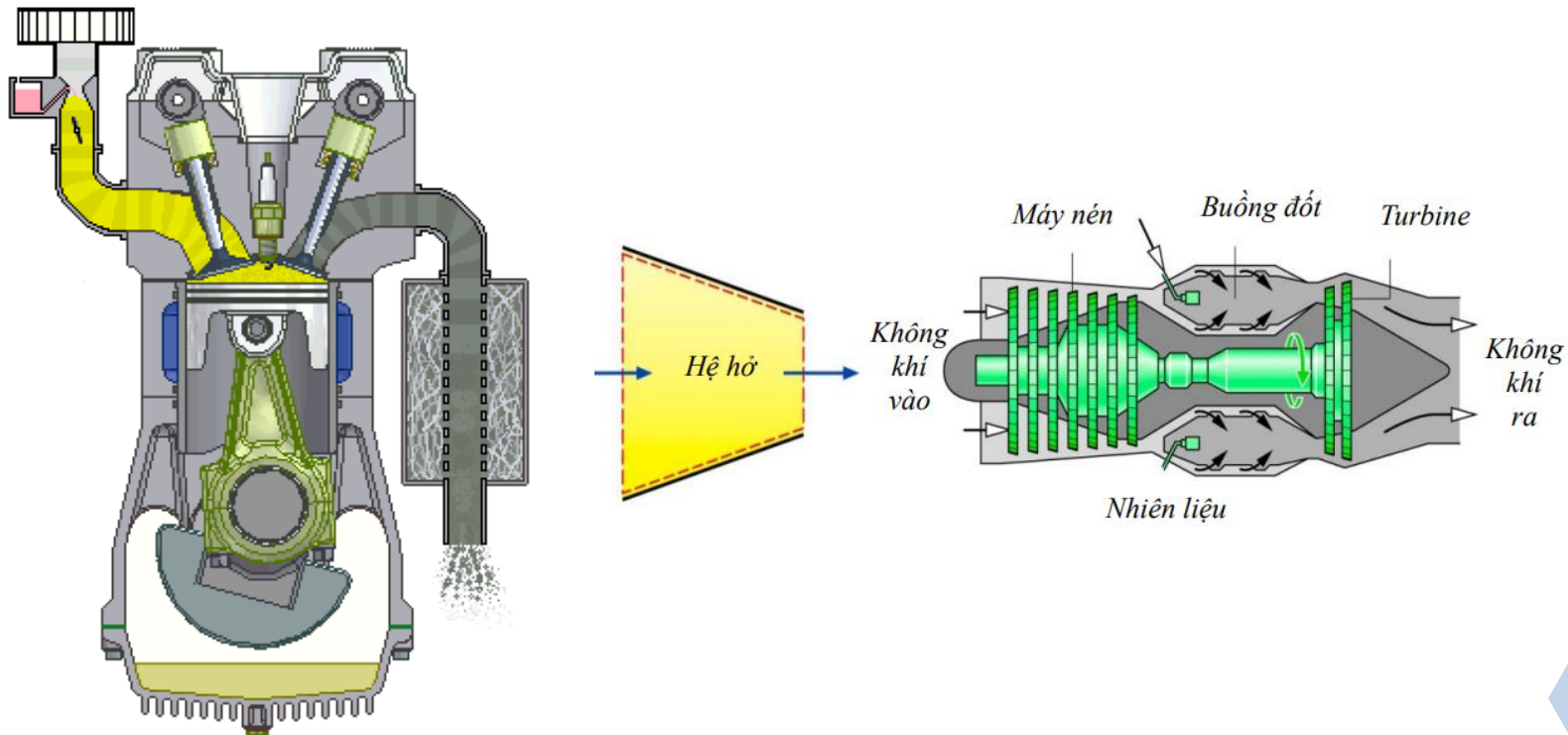
❖ Phân loại hệ nhiệt động

- **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)



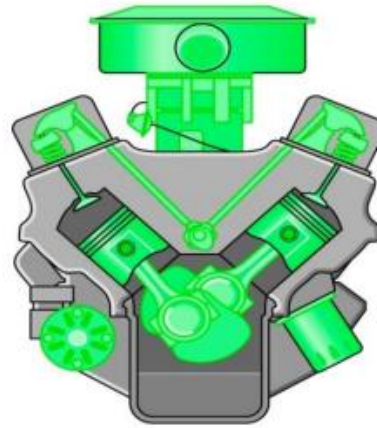
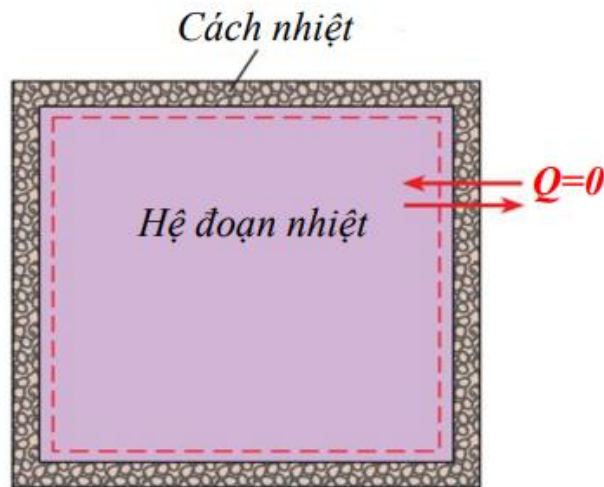
CHƯƠNG 1

- **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...)



CHƯƠNG 1

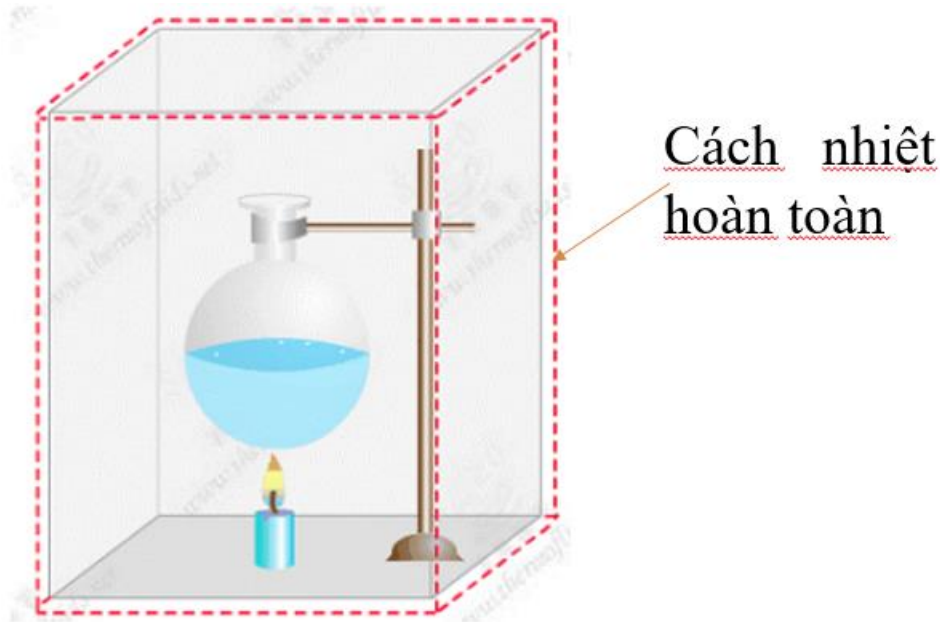
- **HND đoạn nhiệt**: trong hệ thống này, chất môi giới *không có sự trao đổi nhiệt* với môi trường trong quá trình hoạt động



Quá trình
nén lưu
chất ($s_2=s_1$)

CHƯƠNG 1

- **HNĐ 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



1.1.3 Máy nhiệt

A. Động cơ nhiệt:

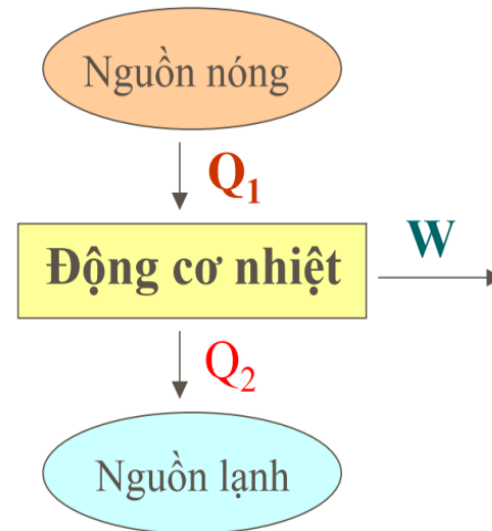
Là loại máy *dùng nhiệt để sinh công*. Trong loại máy này, chất môi giới sẽ vận chuyển nhiệt lượng theo chiều thuận từ nguồn nóng đến nguồn lạnh và giãn nở sinh công. (VD: **động cơ đốt trong, động cơ phản lực, tua bin...**)

- Xét bảo toàn năng lượng cho Động cơ nhiệt:

$$Q_1 = |Q_2| + W$$

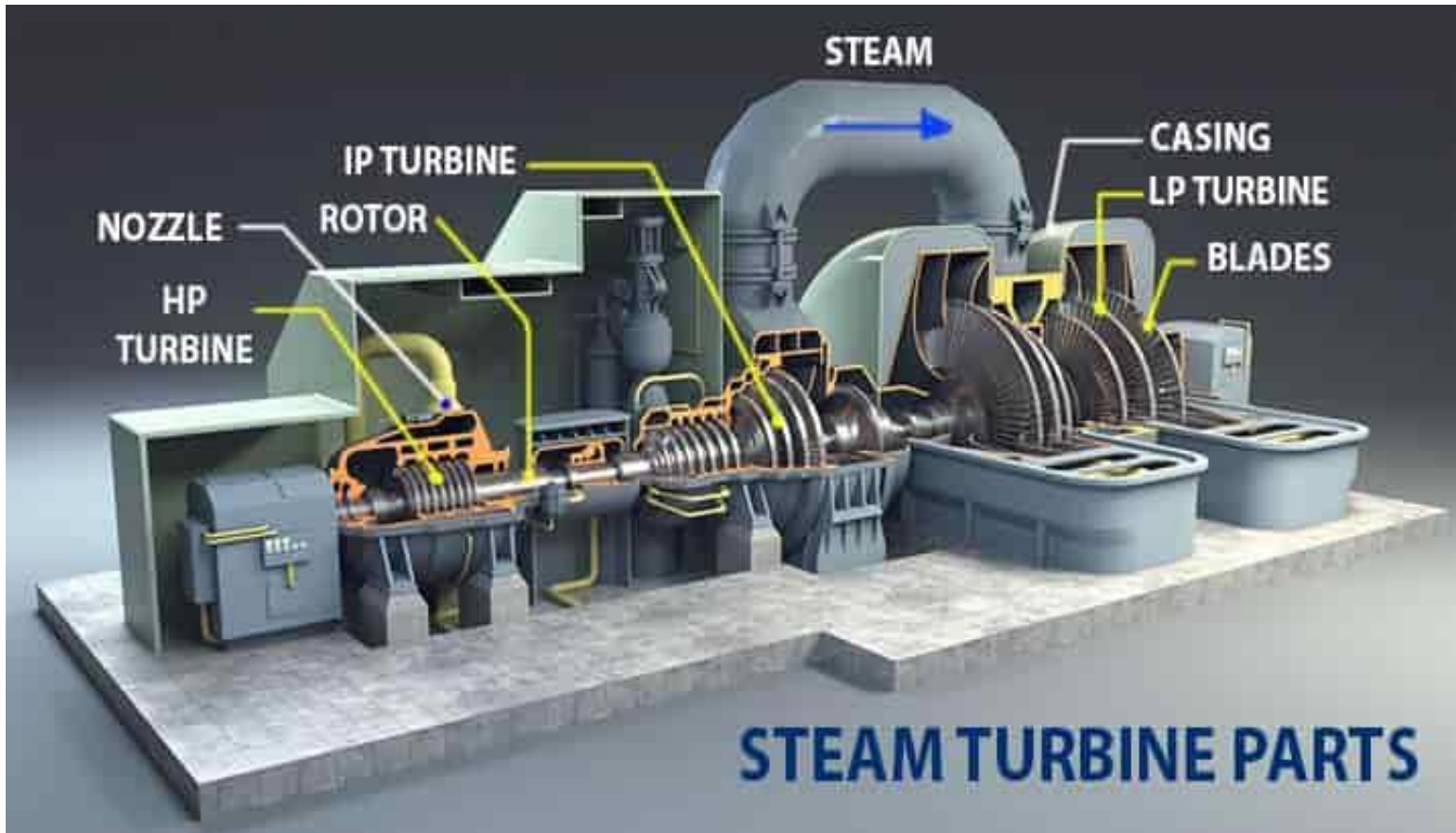
- Hiệu suất nhiệt:

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



CHƯƠNG 1

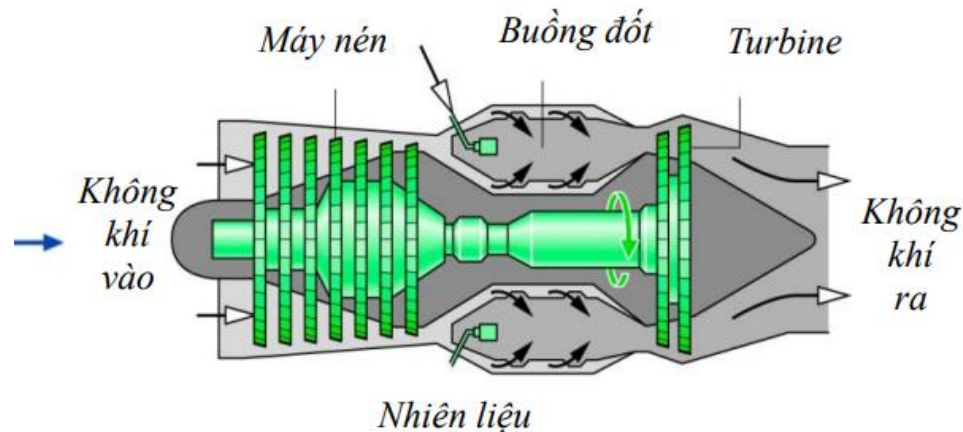
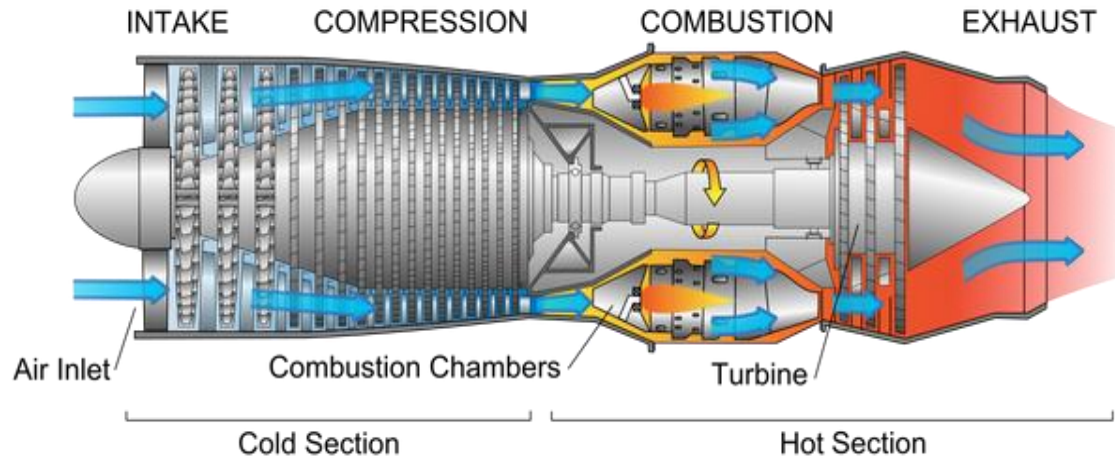
Ví dụ: động cơ nhiệt



© S.E 2012

CHƯƠNG 1

Ví dụ: động cơ nhiệt



B. Bơm nhiệt, máy làm lạnh

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)

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

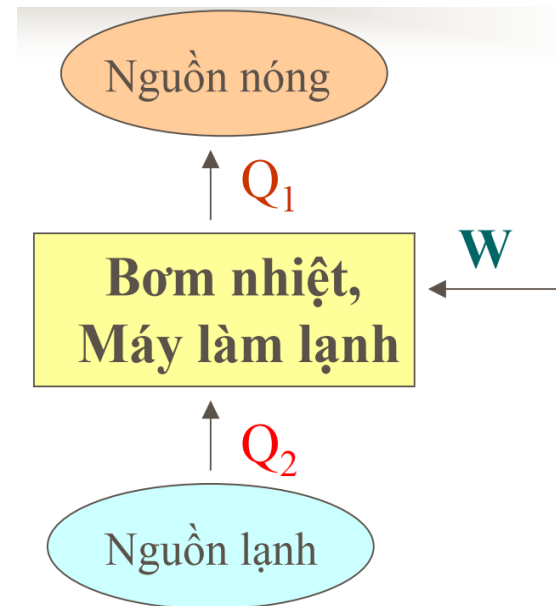
$$|Q_1| = Q_2 + |W|$$

- 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**):

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



CHƯƠNG 1

Ví dụ: bơm nhiệt



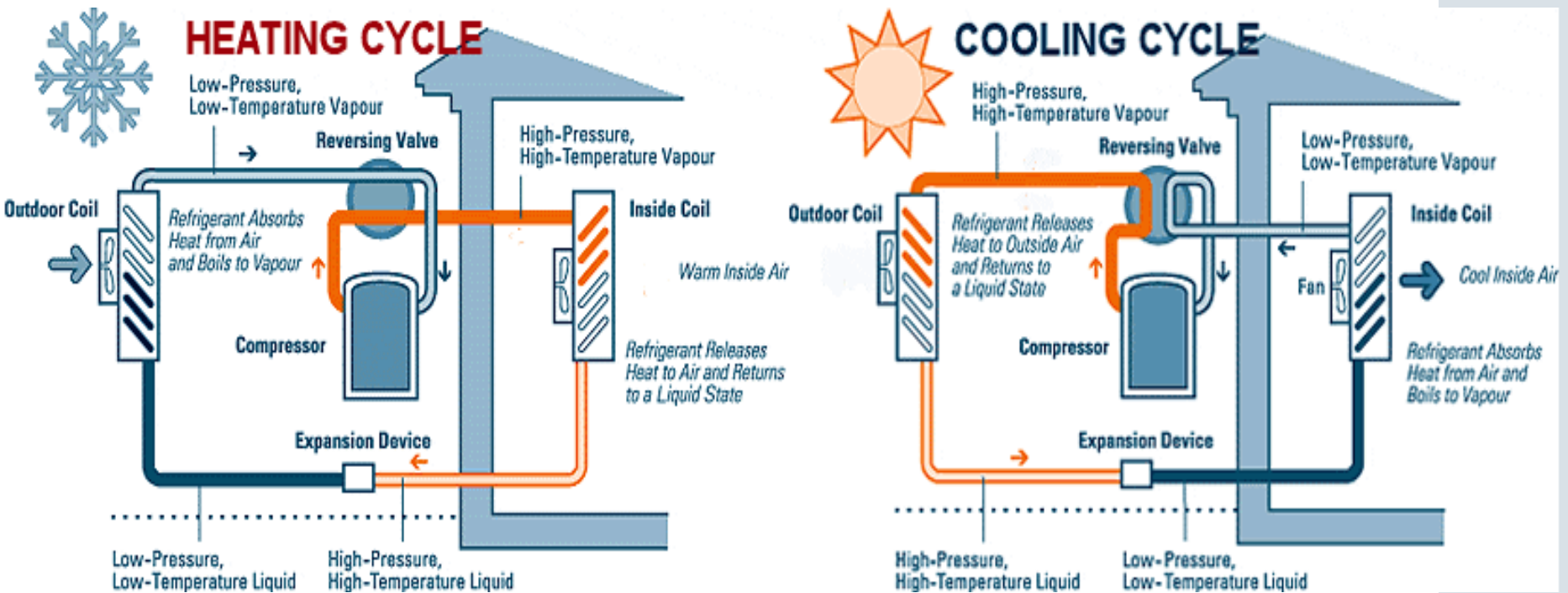
CHƯƠNG 1

Ví dụ: máy lạnh



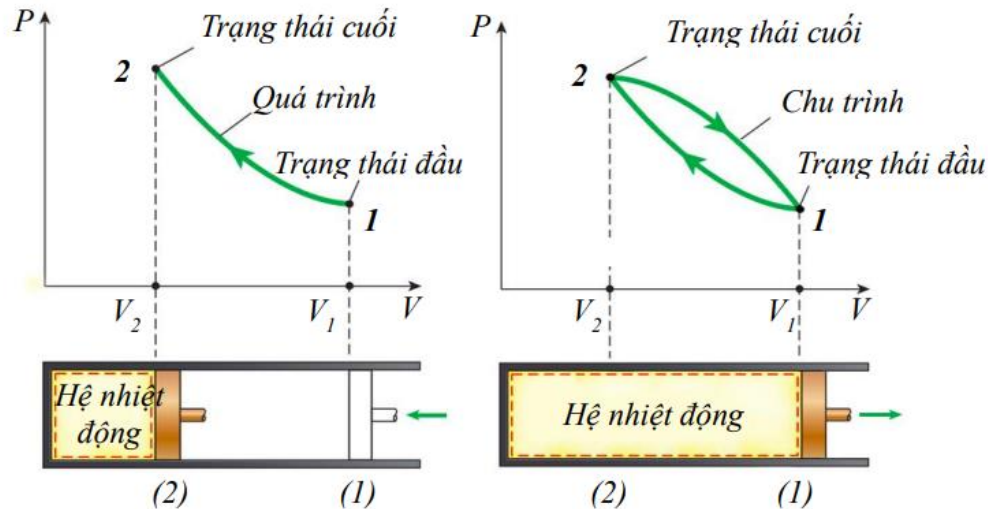
CHƯƠNG 1

Ví dụ: bơm nhiệt (sưởi) – máy lạnh (điều hòa không khí)



CHƯƠNG 1

1.2 Quá trình nhiệt động và chu trình nhiệt động

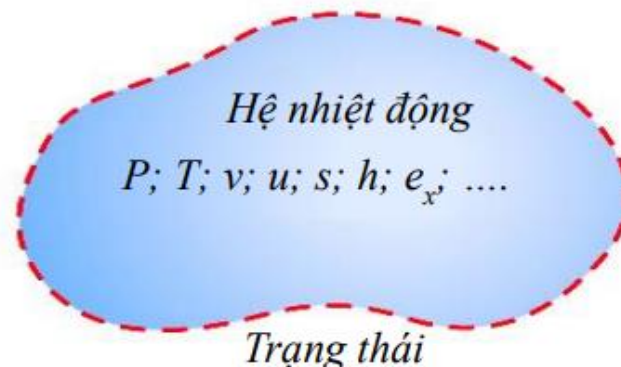


- Khi một **HND** đang ở trạng thái cân bằng mà trao đổi năng lượng với môi trường của nó thì hệ sẽ biến đổi sang một trạng thái khác. Toàn bộ quá trình biến đổi đó được gọi là **quá trình nhiệt động**.
- Khi một **HND** biến đổi theo những quá trình khép kín thì được gọi là **chu trình nhiệt động**.

CHƯƠNG 1

1.3 Thông số trạng thái

- **Trạng thái** của môi chất là điều kiện của môi chất tại một thời điểm nhất định được mô tả hoặc đo bằng những thông số trạng thái của nó.
- Mỗi một trạng thái được xác định bởi một bộ các thông số trạng thái. Khi một trong những thông số trạng thái thay đổi thì trạng thái của môi chất sẽ thay đổi.



CHƯƠNG 1

- Tại một điều kiện bất kỳ, trạng thái của **môi chất** 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**

CHƯƠNG 1

1.3.1 Nhiệt độ (T)

➤ Là thông số trạng thái thể hiện **mức độ nóng lạnh** của vật

➤ Dụng cụ đo: Nhiệt kế

+ 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**

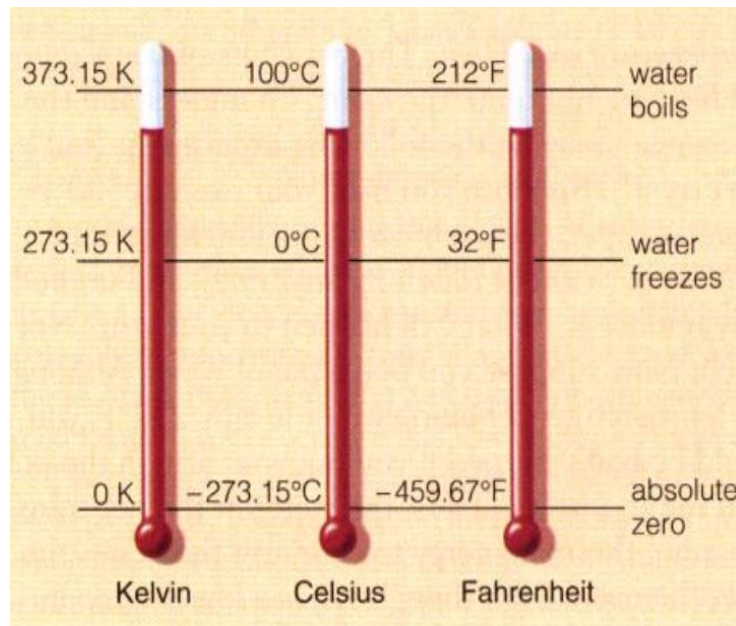
CHƯƠNG 1

➤ Đơn vị đo nhiệt độ:

+ 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): $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$



CHƯƠNG 1

1.3.2 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_d là phần áp suất của chất khí lớn hơn áp suất khí trời
 - + **Parometer**: dùng để đo áp suất khí trời p_a
 - + **Vacumeter** (chân không kế): dùng để đo áp suất chân không p_{ck} , phần áp suất của chất khí nhỏ hơn áp suất khí trời

CHƯƠNG 1

➤ *Mối quan hệ giữa áp suất tuyệt đối, áp suất dư và áp suất chân không*

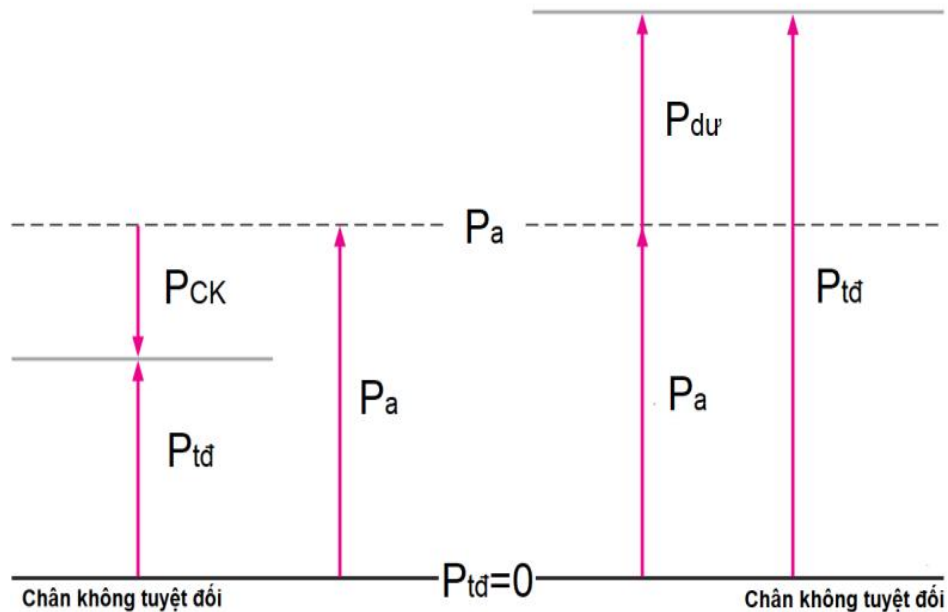
Trong đó:

p_{td} là áp suất tuyệt đối

p_a là áp suất khí trời

p_{du} là áp suất dư

p_{ck} là áp suất chân không



➤ Ta có:

$$p_{td} = p_{du} + p_a$$

$$p_{ck} = p_a - p_{td}$$

$$\Rightarrow p_{du} = -p_{ck}$$

CHƯƠNG 1

➤ Ví dụ:

- Đồng hồ áp suất chỉ $p = 0,3 \text{ at} \Rightarrow p_{\text{dur}} = 0,3 \text{ at} \Rightarrow p_{\text{tđ}} = 1,3 \text{ at}$

- Đồng hồ áp suất chỉ $p = -0,3 \text{ at} \Rightarrow p_{\text{dur}} = -0,3 \text{ at} \Rightarrow p_{\text{ck}} = 0,3 \text{ at}$
 $\Rightarrow p_{\text{tđ}} = 0,7 \text{ at}$

+ Đơn vị đo trong hệ SI là Pa

$1 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \text{ N/m}^2$; $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 750 \text{ mmHg}$;

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

$1 \text{ mmHg} = 133,3 \text{ N/m}^2$; $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,81 \text{ N/m}^2$

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

Ví dụ 1: về áp suất

➤ Ta có:

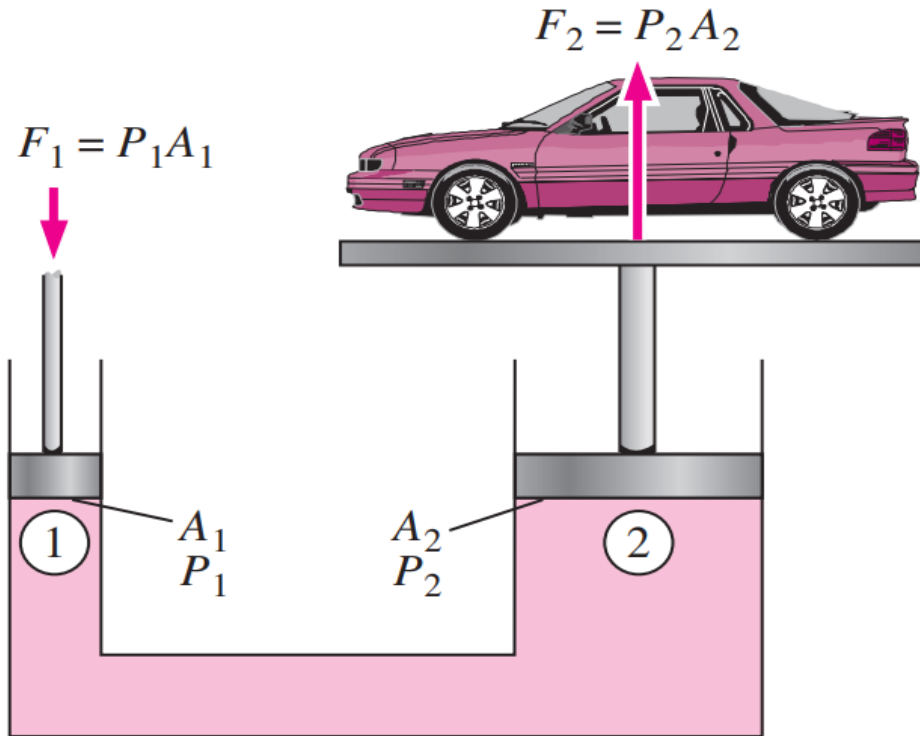
$$p = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

➤ Vì:

$$p_1 = p_2 \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$

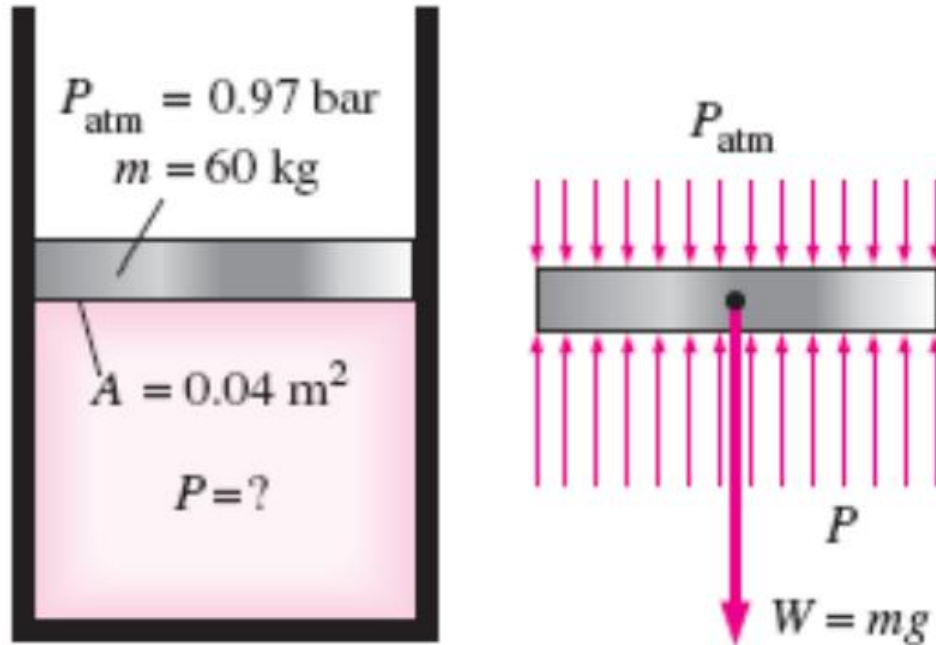
Hoặc

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$



CHƯƠNG 1

Ví dụ 2: về áp suất



➤ Đáp án: $P = 111,7 \text{ kPa}$

CHƯƠNG 1

1.3.3 Thể tích riêng (v)

➤ Thể tích riêng (v) là thể tích (V) ứng với một đơn vị khối lượng (m)

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

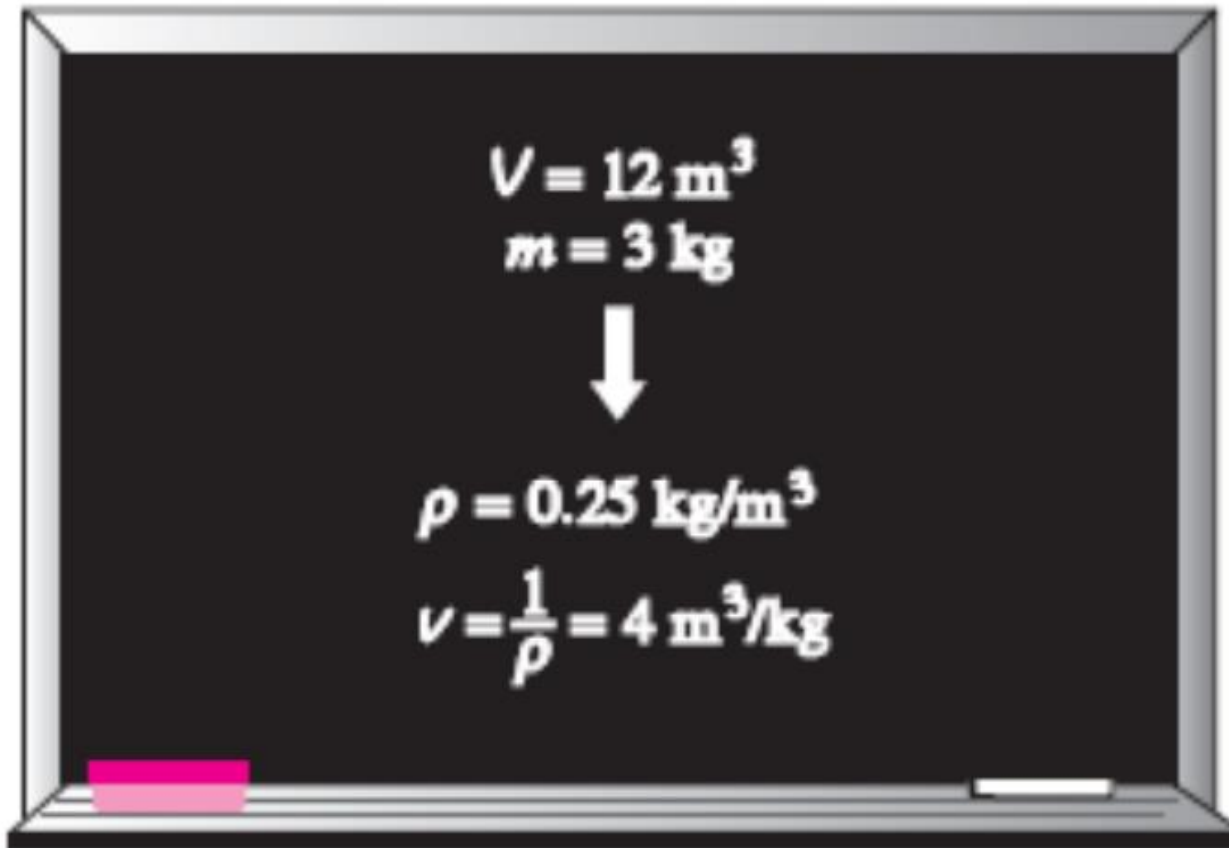
Trong đó:

- + 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*

CHƯƠNG 1

Ví dụ: về thể tích riêng



$$V = 12 \text{ m}^3$$
$$m = 3 \text{ kg}$$
$$\downarrow$$
$$\rho = 0.25 \text{ kg/m}^3$$
$$\nu = \frac{1}{\rho} = 4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

1.3.4 Nội năng (u)

➤ **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:

$$U = U_{đ} + U_t$$

- Trong đó:

$U_{đ}$ là động năng

U_t là thế năng

CHƯƠNG 1

- Theo thuyết động học phân tử thì nội năng là hàm trạng thái phụ thuộc vào nhiệt độ và thể tích riêng.

$$u = f(T, v)$$

- Nhưng 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.*

1.3.5 Entanpi (i)

- 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:

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

- **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**

CHƯƠNG 1

1.3.5 Entropi (s)

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

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

Nếu xét cho G kg chất môi giới ta có: $dS = G.ds$

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

CHƯƠNG 1

1.4. Phương trình trạng thái của chất khí

- Tại trạng thái cân bằng, thực nghiệm và lý thuyết cho thấy:

$$f(p, v, T) = 0$$

- ⇒ Từ hàm trạng thái trên, nếu biết 2 thông số trạng thái sẽ tìm được thông số trạng thái thứ 3.
- ⇒ Việc xác định các thông số trạng thái có thể thực hiện bằng nhiều cách khác nhau như: Xác định công thức; Xác định bằng đồ thị; Xác định bằng bảng tra; Xác định bằng phần mềm...

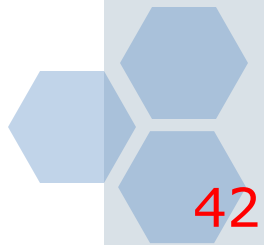
CHƯƠNG 1

Ví dụ 1.1:

Dựa vào bảng tra, hãy xác định các thông số trạng thái (i, s, v) của nước bão hòa ở nhiệt độ 100°C .

Ví dụ 1.2:

Dựa vào bảng tra, hãy xác định các thông số trạng thái (i, s, v) của nước bão hòa ở áp suất 10 bar.



CHƯƠNG 1

1.4.1. 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** khi ở điều kiện *áp suất khá thấp và nhiệt độ khá cao.*
- Mọi 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.*

CHƯƠNG 1

➤ 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

CHƯƠNG 1

$$R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{\mu}$$

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, CO_2 là 44,...)

Ví dụ 1.3: Xác định thể tích riêng của CO_2 tại $p = 70$ bar, $t = 40^\circ C$ nếu xem khí CO_2 ở điều kiện trên là khí lý tưởng.

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

$$R_{CO_2} = \frac{8314}{44} = 188,955 \left(\frac{J}{kg.K} \right)$$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng:

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

CHƯƠNG 1

Ví dụ 1.4: Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của N_2 tại $p = 30 \text{ bar}$, $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ nếu xem khí N_2 ở điều kiện trên là khí lý tưởng.

Giải:

$$N_2 \Rightarrow \mu = 2.14 = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$R_{N_2} = \frac{8314}{28} = 296,93 \left(\frac{J}{kg.K} \right)$$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{p} = \frac{296,93.(20 + 273)}{30.10^5} = 0,029 \left(\frac{m^3}{kg} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,029} = 34,48 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

CHƯƠNG 1

Ví dụ 1.5: Cho một bình kín có thể tích $0,5 \text{ m}^3$ (không đổi), chứa đầy không khí ở nhiệt độ 25°C và áp suất hiển thị trên đồng hồ là 6 at . Biết khối lượng phân tử của 1 kmol không khí là $\mu = 29 \text{ kg}$ và coi không khí là khí lý tưởng. Xác định:

- Áp suất tuyệt đối của không khí
- Khối lượng của không khí
- Thể tích riêng của không khí
- Khối lượng riêng của không khí

CHƯƠNG 1

Giải:

$$R_{kk} = \frac{8314}{29} = 286,69 \left(\frac{J}{kg.K} \right)$$

Ta có áp suất hiển thị trên đồng hồ $p_{dur} = 6 \text{ at}$

$\Rightarrow$ Áp suất tuyệt đối $p = p_{dur} + p_a = 6 + 1 = 7 \text{ at}$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$pV = GRT \Rightarrow G = \frac{pV}{RT} = \frac{7.0,981.10^5.0,5}{286,69.(25 + 273)} = 4,02 (kg)$$

$$v = \frac{V}{G} = \frac{0,5}{4,02} = 0,1244 \left(\frac{m^3}{kg} \right); \rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{0,1244} = 8,04 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

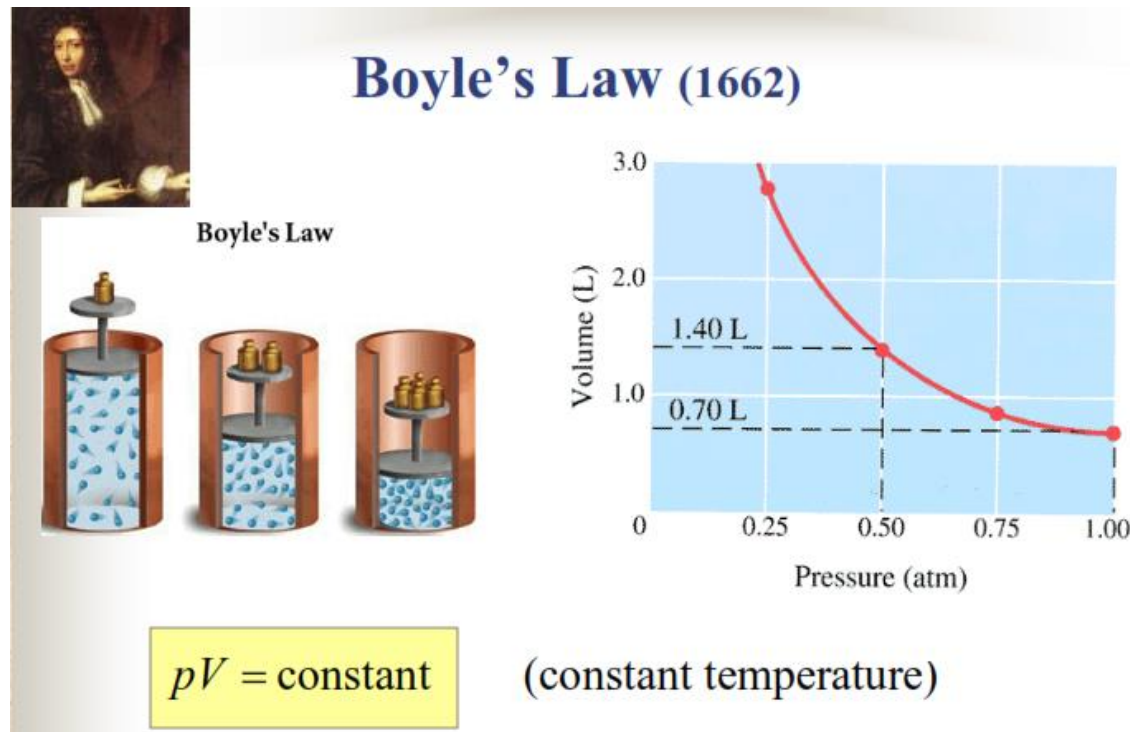
CHƯƠNG 1

➤ Từ PT trạng thái khí lý tưởng (pt Clapeyron):

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

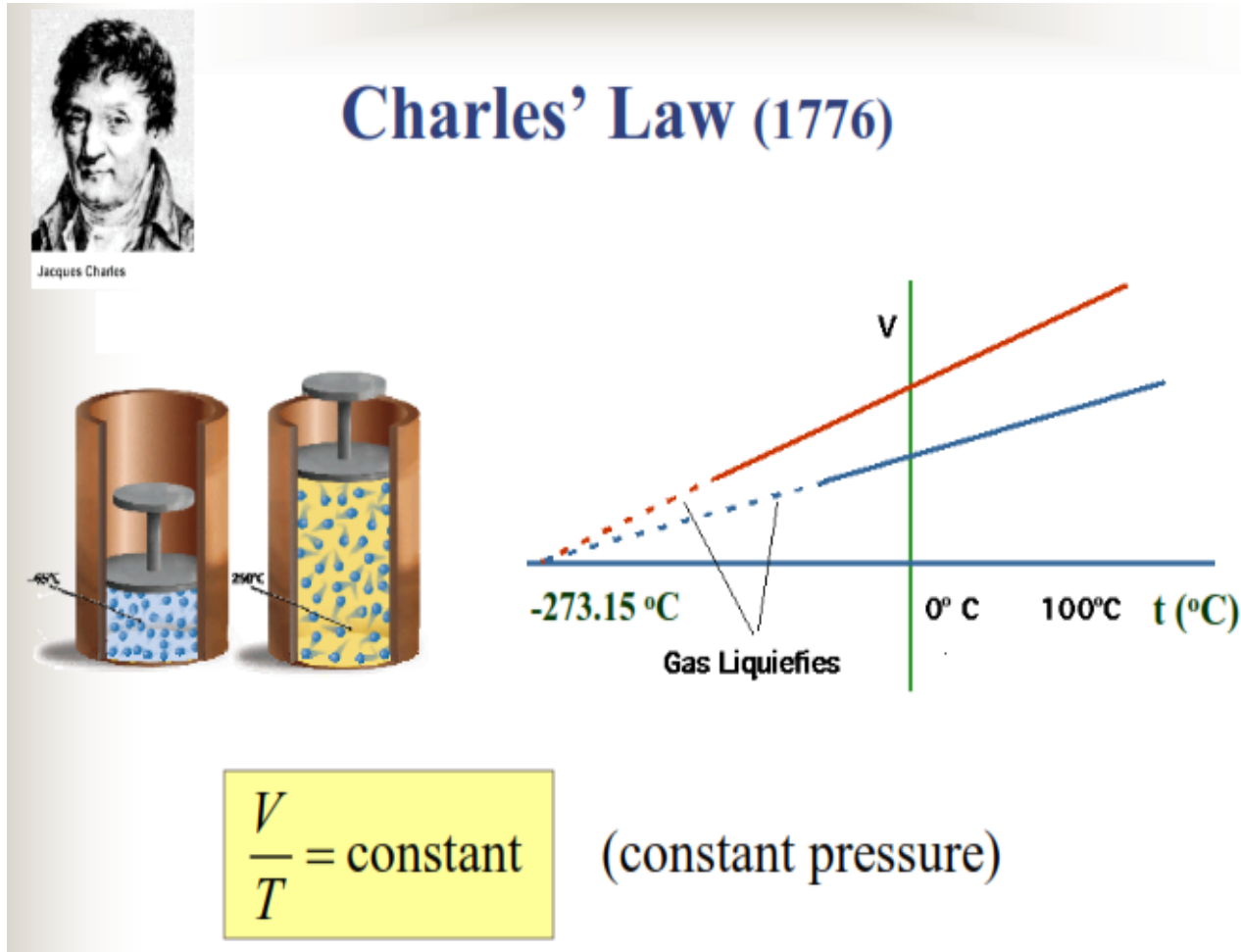
➤ Mà ta có các định luật sau:

❖ *Định luật Boyle (Nhiệt độ không đổi)*



CHƯƠNG 1

❖ Định luật Charles (Áp suất không đổi)



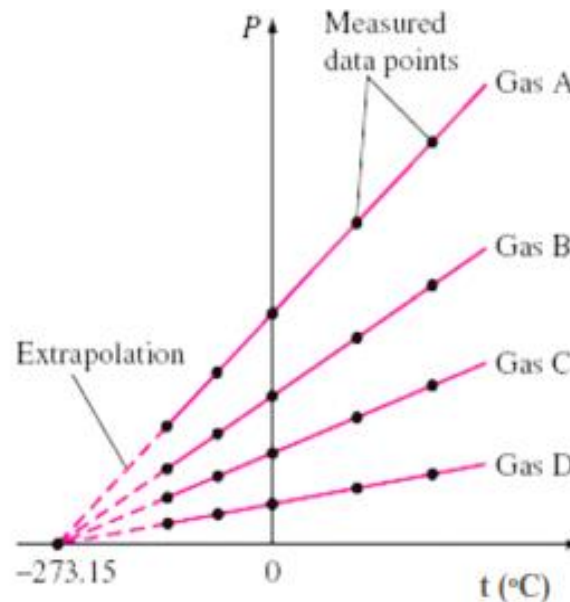
CHƯƠNG 1

❖ Định luật gay-Lussac (Thể tích không đổi)

Gay-Lussac's Law (1802)



Gay Lussac



$$\frac{P}{T} = \text{constant}$$

(constant volume)

CHƯƠNG 1

1.4.2. 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:

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

CHƯƠNG 1

➤ 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:

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

+ 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:

$$R_{hh} = \frac{R_\mu}{\mu_{hh}} = \frac{8314}{\mu_{hh}} \left(\frac{J}{kg.K} \right)$$

CHƯƠNG 1

- 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

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

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

CHƯƠNG 1

Ví dụ 1. 6: Hỗn hợp khí 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:

Nếu xem hỗn hợp là khí lý tưởng ta có:

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

Tính R_{hh} :

$$R_{hh} = \frac{R_\mu}{\mu_{hh}} = \frac{8314}{\mu_{hh}} \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right)$$

Với

$$\mu_{hh} = r_1 \mu_1 + r_2 \mu_2 + r_3 \mu_3 \quad (kg/kmol)$$

CHƯƠNG 1

Thay số vào ta có:

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

$$\text{suy ra: } R_{hh} = \frac{8314}{30,16} = 275,66 \text{ (J/kg.K)}$$

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

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

1.4.3. 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

CHƯƠNG 1

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

CHƯƠNG 1

Ví dụ 1.7: 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 $b = 0,0428 \text{ m}^3/\text{kmol}$.

$$\begin{aligned} \text{Từ PT Van der Waals: } & \left(p + \frac{a}{v_\mu^2} \right) (v_\mu - b) = R_\mu T \\ \Leftrightarrow & \left(70 \cdot 10^5 + \frac{3,647 \cdot 10^5}{v_\mu^2} \right) (v_\mu - 0,0428) = 8314 \cdot (40 + 273) \\ \Leftrightarrow & 70v_\mu^3 - 29,019v_\mu^2 + 3,647v_\mu - 0,1561 = 0 \\ \Rightarrow & v_\mu = 0,23 (\text{m}^3/\text{k mol}) \\ \Rightarrow & v = \frac{v_\mu}{\mu} = \frac{0,23}{44} = 0,005227 (\text{m}^3/\text{k g}) \end{aligned}$$

BÀI TẬP RÈN LUYỆN

Bài 1.1: Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của O_2 tại $p = 30 \text{ at}$, $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ nếu xem khí O_2 ở điều kiện trên là khí lý tưởng.

Bài 1.2: Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của không khí tại $p = 5 \text{ at}$, $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ nếu xem khí không khí ở điều kiện trên là khí lý tưởng.

Bài 1.3: Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của N_2 tại $p = 30 \text{ bar}$, $t = 20^\circ\text{C}$ khi xem N_2 ở điều kiện trên là khí thực, sử dụng pt Van der Waals

Bài 1.4: Xác định thể tích riêng và khối lượng riêng của Propan tại $p = 5 \text{ bar}$, $t = 30^\circ\text{C}$ khi xem Propan ở điều kiện trên là khí thực, sử dụng pt Van der Waals

BÀI TẬP RÈN LUYỆN

Bài 1.5: Cho một bình kín có thể tích $0,6 \text{ m}^3$ (không đổi), chứa đầy O_2 ở nhiệt độ 30°C và áp suất hiển thị trên đồng hồ là $-0,6 \text{ bar}$. Biết khối lượng phân tử của $1 \text{ kmol } \text{O}_2$ là $\mu = 32 \text{ kg}$ và coi không khí là khí lý tưởng. Xác định:

- Áp suất tuyệt đối của O_2
- Khối lượng của O_2
- Thể tích riêng của O_2
- Khối lượng riêng của O_2



Thanks You!