

**ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HÀ NỘI
TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT NAM - HÀN QUỐC THÀNH PHỐ HÀ NỘI**

**LÊ THỊ THU HẰNG (Chủ biên)
NGUYỄN THỊ NGUYỆT – TRẦN QUANG ĐẠT**



GIÁO TRÌNH CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT LẠNH VÀ ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Nghề: Kỹ thuật máy lạnh và điều hòa không khí

Trình độ: Trung cấp

(Lưu hành nội bộ)

Hà Nội - Năm 2021

LỜI NÓI ĐẦU

Giáo trình Cơ sở kỹ thuật nhiệt lạnh và ĐHKK được biên soạn và thông qua Hội đồng sư phạm Nhà trường. Nội dung biên soạn ngắn gọn, dễ hiểu, súc tích. Các kiến thức trong toàn bộ giáo trình có mối liên hệ logic, chặt chẽ.

Khi biên soạn giáo trình chúng tôi đã cố gắng cập nhật những kiến thức mới có liên quan đến môn học và phù hợp với đối tượng sử dụng cũng như gắn những nội dung lý thuyết với những vấn đề của công việc trong thực tế

Nội dung của giáo trình được biên soạn gồm:

Chương 1: Mở đầu.

Chương 2: Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt

Chương 3: Cơ sở kỹ thuật lạnh

Chương 4: Cơ sở kỹ thuật điều hoà không khí

Cuốn giáo trình được biên soạn dựa theo nội dung các tài liệu tham khảo. Mặc dù đã có nhiều cố gắng nhưng cuốn giáo trình chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót. Chúng tôi mong nhận được ý kiến đóng góp để giáo trình được chỉnh sửa và ngày càng hoàn thiện hơn. Mọi góp ý xin gửi về Khoa điện Trường CĐN Việt Nam - Hàn Quốc thành phố Hà Nội

Xin trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, ngày tháng năm

Chủ biên: Lê Thị Thu Hằng

MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	1
MỤC LỤC	2
Chương 1 Mở đầu	5
1.1 Tầm quan trọng của những kiến thức, kỹ năng tra bảng trong chuyên ngành kỹ thuật máy lạnh và điều hòa không khí	5
1.2. Các tài liệu phục vụ cho việc học tập môn học này	5
Chương 2 Cơ sở kỹ thuật nhiệt động và truyền nhiệt	6
2.1 Nhiệt động kỹ thuật	6
2.2 Truyền nhiệt.....	31
Chương 3 Cơ sở kỹ thuật lạnh.....	70
3.1 Khái niệm chung.....	70
3.2 Môi chất lạnh và chất tải lạnh.....	74
3.3 Các hệ thống lạnh thông dụng	81
3.4 Máy nén lạnh	95
3.5 Các thiết bị khác của hệ thống lạnh.....	110
Chương 4 Cơ sở kỹ thuật điều hòa không khí.....	136
4.1 Không khí ẩm	136
4.2 Khái niệm về điều hòa không khí.....	147
4.3 Hệ thống vận chuyển và phân phối không khí	159
4.4 Các phần tử khác của hệ thống ĐHKK	177
TÀI LIỆU THAM KHẢO	190

CHƯƠNG TRÌNH MÔN HỌC

Tên môn học: Cơ sở kỹ thuật nhiệt lạnh và điều hòa không khí

Mã môn học: MH 12

Thời gian thực hiện môn học: 90 giờ (Lý thuyết: 60 giờ; Thực hành: 24 giờ; Kiểm tra: 6 giờ)

I. Vị trí, tính chất, ý nghĩa và vai trò của môn học:

- Vị trí: Là môn học cơ sở kỹ thuật chuyên ngành, chuẩn bị các kiến thức cần thiết cho các phần.

- Tính chất: Môn học thiên về lý thuyết có kết hợp với tra bảng biểu.

Mục tiêu của môn học:

- Trình bày được kiến thức cơ bản nhất về kỹ thuật Nhiệt - Lạnh và điều hòa không khí, cụ thể là: Các hiểu biết về chất môi giới trong hệ thống máy lạnh và ĐHKK, cấu tạo và nguyên lý hoạt động của máy lạnh, cấu trúc cơ bản của hệ thống máy lạnh và ĐHKK;

- Tra bảng được các thông số trạng thái của môi chất, sử dụng được đồ thị, biết chuyển đổi một số đơn vị đo và giải được một số bài tập đơn giản;

- Rèn luyện khả năng tư duy logic của sinh viên; các ứng dụng trong thực tế vận dụng để tiếp thu các kiến thức chuyên ngành.

Nội dung của môn học:

TT	Tên chương, mục	Thời gian			
		Tổng số	Lý thuyết	Thực hành, thí nghiệm, thảo luận, bài tập	Thi/Kiểm tra
1	Chương 1: Mở đầu	1	1		
2	Chương 2: Cơ sở nhiệt động kỹ thuật và truyền nhiệt	29	20	7	2
	2.1. Nhiệt động kỹ thuật	15	10	4	1
	2.2. Truyền nhiệt	14	10	3	1
3	Chương 3: Cơ sở kỹ thuật lạnh:	30	22	7	1
	3.1. Khái niệm chung	2	2	1	

	3.2. Môi chất lạnh và chất tải lạnh	4	3	1	
	3.3. Các hệ thống lạnh dân dụng	6	5		
	3.4. Máy nén lạnh				
	3.5. Các thiết bị khác của hệ thống lạnh.	10	9		
		7	7		1
4	Chương 4: Cơ sở kỹ thuật điều hoà không khí	30	17	10	3
	4.1. Không khí ẩm	2	2		
	4.2. Khái niệm về điều hoà không khí	4	4		
	4.3. Hệ thống vận chuyển và phân phối không khí.	12	6	5	1
	4.4. Các phần tử khác của hệ thống điều hoà không khí	12	5	5	2
	Cộng	90	60	24	6

Chương 1

Mở đầu

Mục tiêu:

- Trình bày được tầm quan trọng của những kiến thức, kỹ năng tra bảng trong chuyên ngành kỹ thuật máy lạnh và điều hòa không khí.
- Thống kê được các tài liệu phục vụ cho việc học tập môn học này

Nội dung chính:

1.1 Tầm quan trọng của những kiến thức, kỹ năng tra bảng trong chuyên ngành kỹ thuật máy lạnh và điều hòa không khí

Những kiến thức và kỹ năng tra bảng trong môn học này là kiến thức chuyên sâu về ngành kỹ thuật máy lạnh và điều hòa không khí, tìm thông số để tính toán và so sánh nhằm đưa ra một hệ thống lạnh hoàn hảo nhất

1.2. Các tài liệu phục vụ cho việc học tập môn học này

- Nhiệt động lực học kỹ thuật, Hoàng Đình Tín – Lê Chí Hiệp, NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- Bài tập Nhiệt động lực học kỹ thuật và truyền nhiệt, Hoàng Đình Tín - Bùi Hải, NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt, Hoàng Đình Tín, NXB Đại học quốc gia TP HCM, 2003.
- Nhiệt kỹ thuật, Nguyễn Bốn – Hoàng Ngọc Đồng - NXB Giáo Dục
- Kỹ thuật lạnh Cơ sở, Nguyễn Đức Lợi – NXB Giáo Dục, 2006
- Máy lạnh, Trần Thanh Kỳ – NXB Giáo Dục, 2006
- Máy và thiết bị lạnh, Võ Chí Chính – NXB khoa học và kỹ thuật
- Thông gió và Điều hòa không khí, Võ Chí Chính – NXB khoa học và kỹ thuật.
- Cơ sở kỹ thuật điều tiết không khí, TS Hà Đăng Trung – ThS Nguyễn Quân – NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 1997
- Hướng dẫn thiết kế hệ thống điều hòa không khí, Nguyễn Đức Lợi – NXB khoa học và kỹ thuật Hà Nội, 2007

Chương 2

Cơ sở kỹ thuật nhiệt động và truyền nhiệt

Mục tiêu:

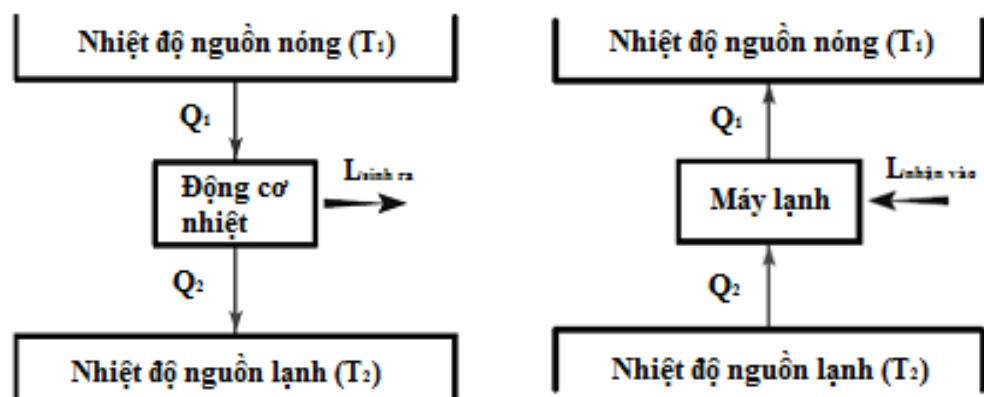
- Trình bày được các kiến thức chung nhất về kỹ thuật Nhiệt - Lạnh.
- Phân tích được các khái niệm về nhiệt động lực học.
- Trình bày được các kiến thức về hơi và thông số trạng thái hơi.
- Trình bày được các quá trình nhiệt động của hơi.
- Trình bày được các chu trình nhiệt động.
- Trình bày được các quá trình dẫn nhiệt và truyền nhiệt và các thiết bị trao đổi nhiệt.
- Phân tích được các quá trình, nguyên lý làm việc của máy lạnh và các quy luật truyền nhiệt nói chung;
- Rèn luyện tính tập trung, tỉ mỉ, tư duy logic, ứng dụng thực tiễn sản xuất áp dụng vào môn học cho HSSV.

Nội dung chính:

2.1 Nhiệt động kỹ thuật

2.1.1 Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới

a. Các khái niệm và định nghĩa:



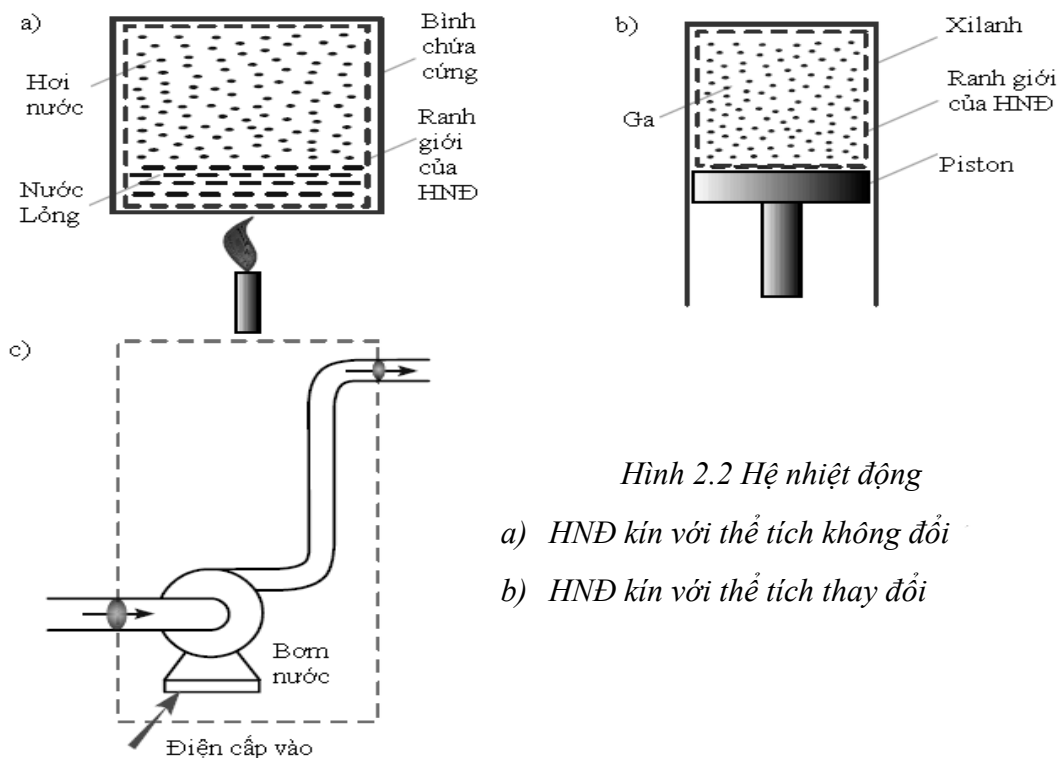
Hình 2.1 Nguyên lý làm việc của động cơ nhiệt và máy lạnh, bơm nhiệt

- + Thiết bị nhiệt là loại thiết bị có chức năng chuyển đổi giữa nhiệt năng và cơ năng. Thiết bị nhiệt được chia thành 2 nhóm: *động cơ nhiệt* và *máy lạnh*.
- + Động cơ nhiệt có chức năng chuyển đổi nhiệt năng thành cơ năng như động cơ hơi nước, turbine khí, động cơ xăng, động cơ phản lực, v.v.
- + Máy lạnh có chức năng chuyển nhiệt năng từ nguồn lạnh đến nguồn nóng.

+ Hệ nhiệt động (HND) là hệ gồm một hoặc nhiều vật được tách riêng ra khỏi các vật khác để nghiên cứu các tính chất nhiệt động của chúng. Tất cả những vật ngoài HND được gọi là *môi trường xung quanh*.

Vật thực hoặc tượng tượng ngăn cách hệ nhiệt động với môi trường xung quanh được gọi là *ranh giới của HND*.

Hệ nhiệt động được phân loại như sau :



Hình 2.2 Hệ nhiệt động

a) HND kín với thể tích không đổi

b) HND kín với thể tích thay đổi

*** Hệ nhiệt động kín:**

HND trong đó không có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

*** Hệ nhiệt động hở:**

HND trong đó có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

*** Hệ nhiệt động cô lập:**

HND được cách ly hoàn toàn với môi trường xung quanh.

b. Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới

*** Chất môi giới hay môi chất công tác:**

Được sử dụng trong thiết bị nhiệt là chất có vai trò trung gian trong quá trình biến đổi giữa nhiệt năng và cơ năng.

*** Thông số trạng thái của CMG:**

Là các đại lượng vật lý đặc trưng cho trạng thái nhiệt động của CMG.

+ Các thông số trạng thái của chất môi giới

Nhiệt độ:

Nhiệt độ (T) - số đo trạng thái nhiệt của vật. Theo thuyết động học phân tử, nhiệt độ là số đo động năng trung bình của các phân tử .

$$\frac{m_{\mu} \cdot \omega^2}{3} = kT \quad [1-1]$$

Trong đó: m_{μ} - khối lượng phân tử

ω - vận tốc trung bình của các phân tử

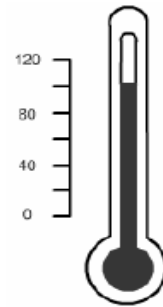
k - hằng số Bonzman , $k = 1,3805 \cdot 10^{-18}$ J/độ

T - nhiệt độ tuyệt đối.

Nhiệt kế: Nhiệt kế hoạt động dựa trên sự thay đổi một số tính chất vật lý của vật thay đổi theo nhiệt độ, ví dụ: chiều dài, thể tích, màu sắc, điện trở , v.v.

Thang nhiệt độ:

- 1) Thang nhiệt độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- 2) Thang nhiệt độ Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- 3) Thang nhiệt độ Kelvin (K)
- 4) Thang nhiệt độ Rankine ($^{\circ}\text{R}$)



Hình 2.3 Nhiệt kế

Mối quan hệ giữa các đơn vị đo nhiệt độ:

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

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

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \cdot ^{\circ}\text{R} - 273$$

Áp suất:

Áp suất của lưu chất (p) - lực tác dụng của các phân tử theo phương pháp tuyến lên một đơn vị diện tích thành chứa.

$$p = \frac{F}{A} \quad [1-2]$$

Theo thuyết động học phân tử :

$$p = \alpha \cdot n \cdot \frac{m_{\mu} \omega^2}{3} \quad [1-3]$$

trong đó : p - áp suất ;

F - lực tác dụng của các phân tử ;

A - diện tích thành bình chứa ;

n - số phân tử trong một đơn vị thể tích ;

α - hệ số phụ thuộc vào kích thước và lực tương tác của các phân tử.

* Đơn vị áp suất:

1) N/m^2 ; 5) mm Hg (tor - Torricelli, 1068-1647)

2) Pa (Pascal) ; 6) mm H₂O

3) at (Technical Atmosphere) ; 7) psi (Pound per Square Inch)

4) atm (Physical Atmosphere) ; 8) psf (Pound per Square Foot)

Mối quan hệ giữa các đơn vị đo áp suất:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg (at } 0^\circ \text{C)} = 10,13 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 2116 \text{ psf (lbf/ft}^2\text{)}$$

$$1 \text{ at} = 2049 \text{ psf}$$

$$1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 735,5 \text{ mmHg} = 14,7 \text{ psi}$$

+ Phân loại áp suất:

Áp suất khí quyển (p_0):

Áp suất của không khí tác dụng lên bề mặt các vật trên trái đất.

Áp suất dư (p_d):

Là phần áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển

$$p_d = p - p_0 \quad [1-4]$$

Áp suất tuyệt đối (p):

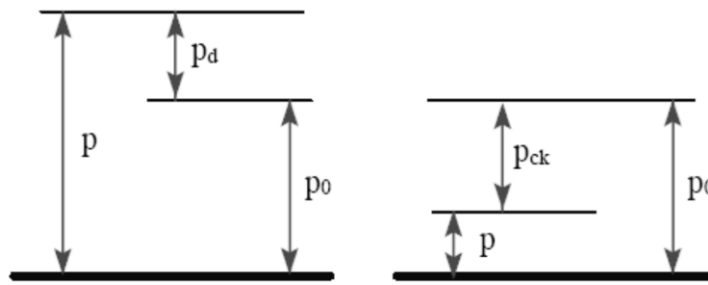
Áp suất của lưu chất so với chân không tuyệt đối.

$$p = p_d + p_0 \quad [1-5]$$

Áp suất chân không (p_{ck}):

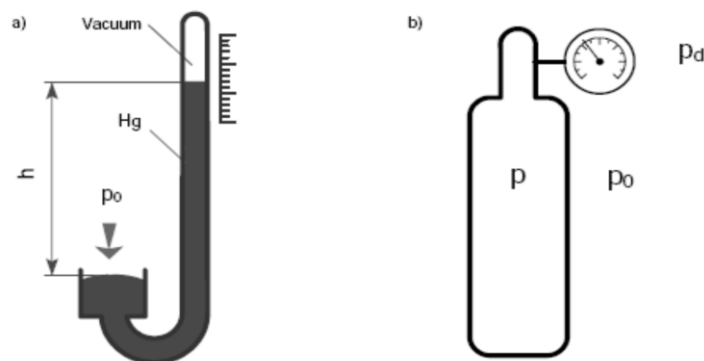
Phần áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển.

$$p_{ck} = p_0 - p \quad [1-6]$$



Hình 2.4 Các loại áp suất

+ Áp kế:



Hình 2.5 Dụng cụ đo áp suất

a) Barometer, b) Áp kế

* Ghi chú: Khi đo áp suất bằng áp kế thủy ngân, chiều cao cột thủy ngân cần được hiệu chỉnh về nhiệt độ 0°C .

$$h_0 = h (1 - 0,000172 \cdot t) \quad [1-7]$$

trong đó : t - nhiệt độ cột thủy ngân, $^{\circ}\text{C}$

h_0 - chiều cao cột thủy ngân hiệu chỉnh về nhiệt độ 0°C

h - chiều cao cột thủy ngân ở nhiệt độ $t^{\circ}\text{C}$

+ Thể tích riêng và khối lượng riêng:

Thể tích riêng (v) - Thể tích riêng của một chất là thể tích ứng với một đơn vị khối lượng chất đó : $v = \frac{V}{m} \quad [\text{m}^3/\text{kg}] \quad [1-8]$

Khối lượng riêng (ρ) - Khối lượng riêng - còn gọi là *mật độ* - của một chất là khối lượng ứng với một đơn vị thể tích của chất đó :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg}/\text{m}^3] \quad [1-9]$$

+ Nội năng:

Nội nhiệt năng (u) - gọi tắt là *nội năng* - là năng lượng do chuyển động của các phân tử bên trong vật và lực tương tác giữa chúng.

Nội năng gồm 2 thành phần: nội động năng (u_d) và nội thế năng (u_p).

- Nội động năng liên quan đến chuyển động của các phân tử nên nó phụ thuộc vào nhiệt độ của vật.

- Nội thế năng liên quan đến lực tương tác giữa các phân tử nên nó phụ thuộc vào khoảng cách giữa các phân tử. Như vậy, nội năng là một hàm của nhiệt độ và thể tích riêng: $u = u(T, v)$

Đối với khí lý tưởng, lực tương tác giữa các phân tử bằng 0 nên nội năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Lượng thay đổi nội năng của khí lý tưởng được xác định bằng các biểu thức:

$$du = C_v dT \quad \text{và} \quad \Delta u = C_v(T_2 - T_1) \quad [1-10]$$

Đối với 1kg môi chất, nội năng kí hiệu là u , đơn vị là J/kg; Đối với Gkg môi chất, nội năng kí hiệu là U , đơn vị là J. Ngoài ra nội năng còn có một số đơn vị khác như: kCal; kWh; Btu...

$$1\text{kJ} = 0,239 \text{ kCal} = 277,78 \cdot 10^{-6} \text{ kWh} = 0,948 \text{ Btu}$$

e. Enthalpy:

Enthalpy (i hoặc h) - là đại lượng được định nghĩa bằng biểu thức :

$$i = h = u + p.v \quad [1-11]$$

Như vậy, cũng tương tự như nội năng, enthalpy của khí thực là hàm của các thông số trạng thái. Đối với khí lý tưởng, enthalpy chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

+ Entropy:

Entropy (s) là một hàm trạng thái được định nghĩa bằng biểu thức :

$$ds = \frac{dq}{T} \quad [\text{J/K}] \quad [1-12]$$

c. Nhiệt dung riêng và tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng

+ *Nhiệt năng (nhiệt lượng)*: là dạng năng lượng truyền từ vật này sang vật khác do sự chênh lệch nhiệt độ.

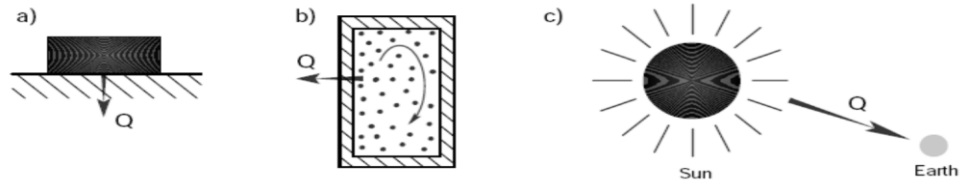
Đơn vị đo nhiệt năng:

Calorie (Cal) - 1 Cal là nhiệt năng cần thiết để làm nhiệt độ của 1 gam nước tăng từ 14.5°C đến 15.5°C .

British thermal unit (Btu) - 1 Btu là nhiệt năng cần thiết để làm nhiệt độ của 1 pound nước tăng từ 59.5°F lên 60.5°F .

Joule (J) - 1 [J]

$$1 \text{ Cal} = 4.187 \text{ J} \quad 1 \text{ Btu} = 252 \text{ Cal} = 1055 \text{ J}$$



Hình 2.6 Các hình thức truyền nhiệt

- *Nhiệt dung và nhiệt dung riêng:*

Nhiệt dung của một vật là lượng nhiệt cần cung cấp cho vật hoặc từ vật tỏa ra để nhiệt độ của nó thay đổi 1° .

$$C = \frac{dQ}{dt} \quad [\text{J}/^{\circ}\text{độ}] \quad [1-13]$$

Nhiệt dung riêng (NDR) - còn gọi là *Tỷ nhiệt* - là lượng nhiệt cần cung cấp hoặc tỏa ra từ 1 đơn vị số lượng vật chất để nhiệt độ của nó thay đổi 1° .

Phân loại NDR theo đơn vị đo lường vật chất:

$$\text{Nhiệt dung riêng khối lượng } c = \frac{C}{m}, [\text{J}/\text{kg}.\text{độ}] \quad [1-14]$$

$$\text{Nhiệt dung riêng thể tích } c' = \frac{C}{V_{tc}}, [\text{J}/\text{m}^3.\text{độ}] \quad [1-15]$$

$$\text{Nhiệt dung riêng mol } c_{\mu} = \frac{C}{N} [\text{J}/\text{kmol}.\text{độ}] \quad [1-16]$$

Phân loại NDR theo quá trình nhiệt động:

- NDR đẳng tích $c_v, c_v', c_{\mu v}$

- NDR đẳng áp $c_p, c_p', c_{\mu p}$

Công thức Mayer :

$$c_p - c_v = R \quad [1-17]$$

$$c_{\mu p} - c_{\mu v} = R_{\mu} = 8314 [\text{J}/\text{kmol}.\text{độ}] \quad [1-18]$$

Chỉ số đoạn nhiệt:

$$k = \frac{c_p}{c_v} \quad [1-19]$$

Trị số k của khí thực phụ thuộc vào loại chất khí và nhiệt độ. Đối với khí lý tưởng, k chỉ phụ thuộc vào loại chất khí.

Quan hệ giữa c , k và R :

$$c_v = \frac{1}{k-1} \cdot R; c_p = \frac{k}{k-1} \cdot R \quad [1-20]$$

+ Nhiệt dung riêng của khí thực:

NDR của khí thực phụ thuộc vào bản chất của chất khí, nhiệt độ, áp suất và quá trình nhiệt động:

$$c = f(T, p, \text{quá trình}).$$

Trong phạm vi áp suất thông dụng, áp suất có ảnh hưởng rất ít đến NDR. Bởi vậy có thể biểu diễn NDR dưới dạng một hàm của nhiệt độ như sau:

$$c = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \dots + a_n \cdot t^n \quad [1-21]$$

+ Nhiệt dung riêng của khí lý tưởng:

NDR của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào loại chất khí mà không phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất.

Bảng 1.1 Chỉ số đoạn nhiệt và nhiệt dung riêng của khí lý tưởng

Loại khí	k	$c_{\mu v}$ [kJ/kmol.độ]	$c_{\mu p}$ [kJ/kmol.độ]
Khí 1 nguyên tử	1,6	12,6	20,9
Khí 2 nguyên tử	1,4	20,9	29,3
Khí nhiều nguyên tử	1,3	29,3	37,4

+ Nhiệt dung riêng của hỗn hợp khí:

$$c = \sum_{i=1}^n g_i \cdot c_i; c = \sum_{i=1}^n r_i \cdot c'_i; c = \sum_{i=1}^n r_i \cdot c_{\mu i} \quad [1-22]$$

* Tính NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \div t_2$ khi biết NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $0 \div t$:

• NDR trung bình trong khoảng nhiệt độ $0 \div t$:

$$c \Big|_0^t = a_0 + a_1 \cdot t$$

• Theo định nghĩa NDR: $c = dq/dt$

• Nhiệt trao đổi trong quá trình 1 - 2: $q \Big|_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt = c \Big|_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1)$

- Mặt khác có thể viết:

$$q\Big|_{t_1}^{t_2} = q\Big|_0^{t_2} - q\Big|_0^{t_1} = c\Big|_0^{t_2} \cdot (t_2 - 0) - c\Big|_0^{t_1} \cdot (t_1 - 0) = c\Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c\Big|_0^{t_1} \cdot t_1$$

- Từ đó ta có:

$$c\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{c\Big|_0^{t_2} \cdot t_2 - c\Big|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} = a_0 + a_1 \cdot (t_2 - t_1) \quad [1-23]$$

* Tính nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \div t_2$ khi biết NDR

thực $c = a_0 + a_1 \cdot t$:

$$c\Big|_{t_1}^{t_2} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt}{t_2 - t_1} = \frac{\left(a_0 \cdot t_2 + a_1 \cdot \frac{t_2^2}{2}\right) - \left(a_0 \cdot t_1 + a_1 \cdot \frac{t_1^2}{2}\right)}{t_2 - t_1}$$

$$c\Big|_{t_1}^{t_2} = a_0 + a_1 \cdot \frac{t_2 + t_1}{2} \quad [1-24]$$

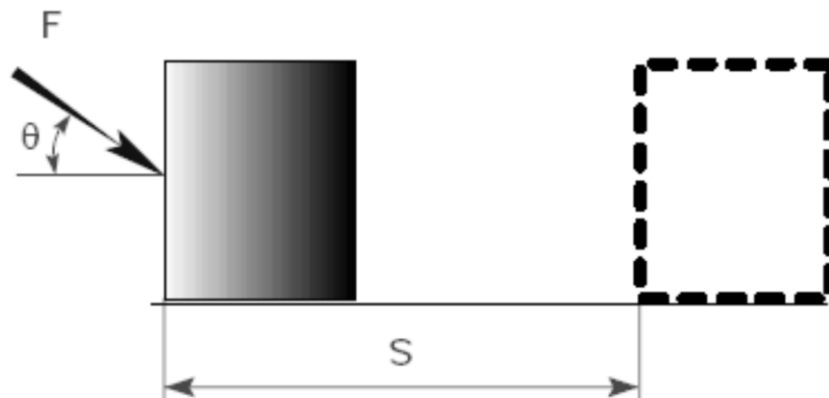
* Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng trung bình:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt = C\Big|_{t_1}^{t_2} \cdot (t_2 - t_1) \quad [1-25]$$

+ Công

Công - còn gọi là *cơ năng* - là dạng năng lượng hình thành trong quá trình biến đổi năng lượng trong đó có sự dịch chuyển của lực tác dụng. Về trị số, công bằng tích của thành phần lực cùng phương chuyển động và quãng đường dịch chuyển:

$$L = (F \cdot \cos\theta) \cdot S$$



Hình 2.7 Thực hiện công

* Đơn vị:

Công là một dạng năng lượng nên đơn vị của công là đơn vị của năng lượng. Đơn vị thông dụng là *Joule* (J). 1J là công của lực 1N tác dụng trên quãng đường 1 m.

* Phân loại công:

Công thay đổi thể tích (l) - còn gọi là *công cơ học* - là công do CMG sinh ra khi giãn nở hoặc nhận được khi bị nén. Công thay đổi thể tích gắn liền với sự dịch chuyển ranh giới của HNĐ.

Công thay đổi thể tích được xác định bằng biểu thức :

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv \Rightarrow dl = p \cdot dv \quad [1-26]$$

Công kỹ thuật (l_{kt}) - là công của dòng khí chuyển động được thực hiện khi áp suất của chất khí thay đổi.

Công kỹ thuật được xác định bằng biểu thức:

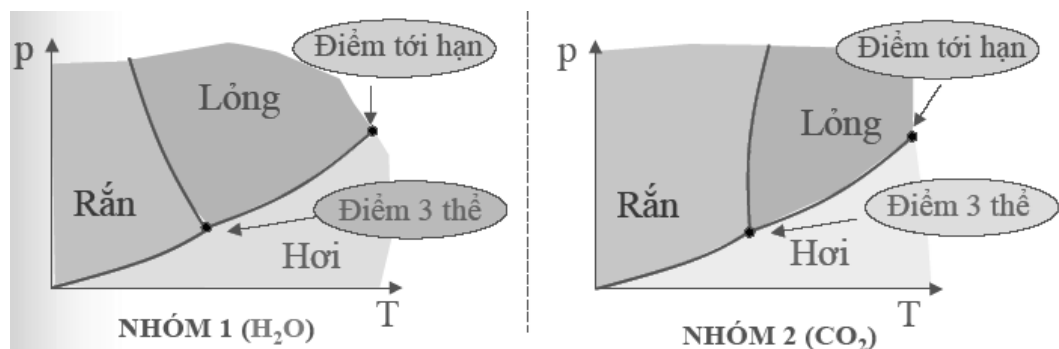
$$l_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp \Rightarrow dl_{kt} = - v \cdot dp \quad [1-27]$$

Qui ước: Công do HNĐ sinh ra mang dấu (+), công do môi trường tác dụng lên HNĐ mang dấu (-).

2.1.2 Hơi và các thông số trạng thái của hơi

a. Các thể (pha) của vật chất

Chất môi giới là chất có vai trò trung gian trong các quá trình biến đổi năng lượng trong các thiết bị nhiệt. Dạng đồng nhất về vật lý của CMG được gọi là pha. Ví dụ, nước có thể tồn tại ở pha lỏng, pha rắn và pha hơi (khí). Thiết bị nhiệt thông dụng thường sử dụng CMG ở pha khí vì chất khí có khả năng thay đổi thể tích rất lớn nên có khả năng thực hiện công lớn.



Hình 2.8 Đồ thị biểu diễn pha của chất thuần khiết

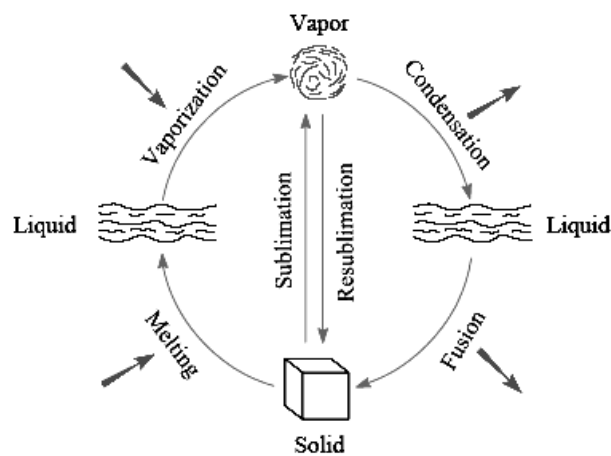
* Ví dụ các quá trình chuyển pha của nước:

+ Sự hóa hơi và ngưng tụ:

Hóa hơi là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha hơi. Ngược lại, quá trình chuyển từ pha hơi sang pha lỏng gọi là ngưng tụ. Để hóa hơi, phải cấp nhiệt cho CMG. Ngược lại, khi ngưng tụ CMG sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cấp cho 1kg CMG lỏng hóa hơi hoàn toàn gọi là nhiệt ẩn hóa hơi (r_{hh}), nhiệt lượng tỏa ra khi 1kg CMG ngưng tụ gọi là nhiệt ngưng tụ (r_{nt}). Nhiệt ẩn hóa hơi và nhiệt ngưng tụ có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt ẩn hóa hơi của nước là 2257 kJ/kg.

+ Sự nóng chảy và đông đặc:

Nóng chảy là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng, quá trình ngược lại được gọi là đông đặc. Cần cung cấp nhiệt để làm nóng chảy CMG. Ngược lại, khi đông đặc CMG sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cần cung cấp để 1 kg CMG nóng chảy gọi là nhiệt nóng chảy (r_{nc}), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg CMG đông đặc gọi là nhiệt đông đặc (r_{dd}). Nhiệt nóng chảy và nhiệt đông đặc có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt nóng chảy của nước bằng 333 kJ/kg.



Hình 2.9 Các quá trình chuyển pha của nước

+ Sự thăng hoa và ngưng kết:

Thăng hoa là quá trình chuyển trực tiếp từ pha rắn sang pha hơi. Ngược lại với quá trình thăng hoa là ngưng kết. CMG nhận nhiệt khi thăng hoa và nhả nhiệt khi ngưng kết. Nhiệt thăng hoa (r_{th}) và nhiệt ngưng kết (r_{nk}) có trị số bằng nhau. Ở áp suất $p = 0,006$ bar, nhiệt thăng hoa của nước bằng 2818 kJ/kg.

b. Quá trình hoá hơi đẳng áp

Giả sử có 1 kg nước trong xylanh, trên bề mặt nước có một piston có khối lượng không đổi. Như vậy, áp suất tác dụng lên nước sẽ không đổi trong

quá trình hóa hơi. Giả sử nhiệt độ ban đầu của nước là t_0 , nếu ta cấp nhiệt cho nước, quá trình hóa hơi đẳng áp sẽ diễn ra. Hình 1.10 thể hiện quá trình hóa hơi đẳng áp, trong đó nhiệt độ phụ thuộc vào lượng nhiệt cấp: $t = f(q)$.

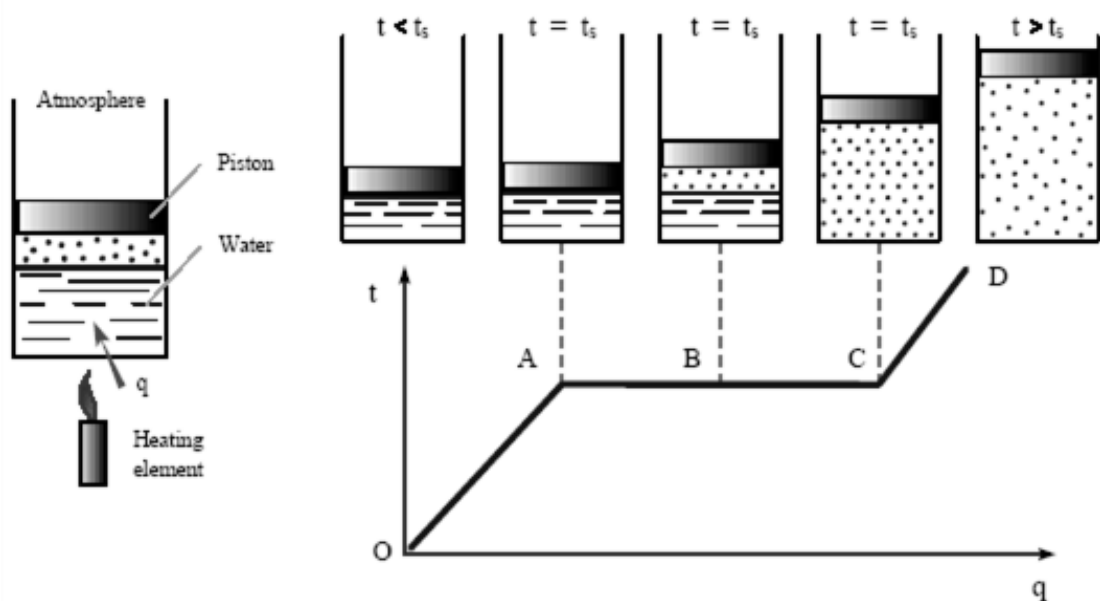
* Đoạn OA biểu diễn quá trình đốt nóng nước từ nhiệt độ ban đầu t_0 đến nhiệt độ sôi t_s . Nước ở nhiệt độ $t < t_s$ gọi là nước chưa sôi. Khi chưa sôi, nhiệt độ của nước sẽ tăng khi tăng lượng nhiệt cấp vào.

* Đoạn AC thể hiện quá trình sôi. Trong quá trình sôi, nhiệt độ của nước không đổi ($t_s = \text{const}$), nhiệt được cấp vào được sử dụng để biến đổi pha mà không làm tăng nhiệt độ của chất lỏng. Thông số trạng thái của nước ở điểm A được ký hiệu là : $i', s', u', v', \dots$. Hơi ở điểm C gọi là hơi bão hòa khô, các thông số trạng thái của nó được ký hiệu là : $i'', s'', u'', v'', \dots$. Hơi ở trạng thái giữa A và C được gọi là hơi bão hòa ẩm, các thông số trạng thái của nó được ký hiệu là $i_x, s_x, u_x, v_x, \dots$.

* Sau khi toàn bộ lượng nước được hóa hơi, nếu tiếp tục cấp nhiệt thì nhiệt độ của hơi sẽ tăng (đoạn CD). Hơi có nhiệt độ $t > t_s$ gọi là hơi quá nhiệt. Hơi bão hòa ẩm là hỗn hợp của nước sôi và hơi bão hòa khô. Hàm lượng hơi bão hòa khô trong hơi bão hòa ẩm được đánh giá bằng đại lượng độ khô (x) hoặc độ ẩm (y):

$$x = \frac{G_h}{G_x} = \frac{G_h}{G_n + G_h} \quad [1-28]$$

Trong đó: x - độ khô; y - độ ẩm; G_x - lượng hơi bão hòa ẩm; G_h - lượng hơi bão hòa khô; G_n - lượng nước sôi.



Hình 2.10 Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước

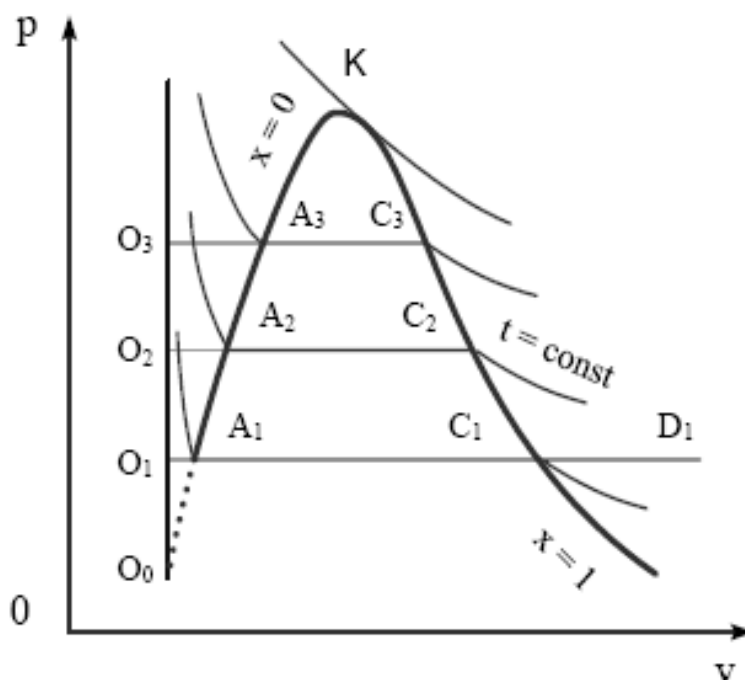
c. Các đường giới hạn và các miền trạng thái của nước và hơi

Tương tự, nếu tiến hành quá trình hóa hơi đẳng áp ở những áp suất khác nhau ($p_1, p_2, p_3, \dots$) và cùng biểu diễn trên đồ thị trạng thái $p - v$, sẽ được các đường, điểm và vùng đặc trưng biểu diễn trạng thái của nước như sau:

+ Đường trạng thái của nước chưa sôi: đường nối các điểm $O_0, O_1, O_2, O_3 \dots$ gần như thẳng đứng vì thể tích của nước thay đổi rất ít khi tăng hoặc giảm áp suất.

+ Đường giới hạn dưới: đường nối các điểm $\dots A_1, A_2, A_3 \dots$ biểu diễn trạng thái nước sôi độ khô $x = 0$.

+ Đường giới hạn trên: đường nối các điểm $\dots C_1, C_2, C_3 \dots$ biểu diễn trạng thái hơi bão hòa khô có độ khô $x = 1$.



Hình 2.11 Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước trên đồ thị $p-v$

+ Điểm tới hạn K: điểm gặp nhau của đường giới hạn dưới và giới hạn trên. Trạng thái tại K gọi là trạng thái tới hạn, ở đó không còn sự khác nhau giữa chất lỏng sôi và hơi bão hòa khô. Các thông số trạng thái tại K gọi là các thông số trạng thái tới hạn. Nước có các thông số trạng thái tới hạn: $p_k = 221 \text{ bar}$, $t_k = 374^\circ \text{C}$, $v_k = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$.

+ Vùng chất lỏng chưa sôi ($x = 0$): vùng bên trái đường giới hạn dưới.

+ Vùng hơi bão hòa ẩm ($0 < x < 1$): vùng giữa đường giới hạn dưới và trên.

+ Vùng hơi quá nhiệt ($x = 1$): vùng bên phải đường giới hạn trên.

d. Cách xác định các thông số của hơi bằng bảng và đồ thị lgp-h

Hơi của các chất lỏng thường phải được xem như là khí thực, nếu sử dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng cho hơi thì sai số sẽ khá lớn. Trong tính toán kỹ thuật cho hơi người ta thường dùng các bảng số hoặc đồ thị đã được xây dựng sẵn cho từng loại hơi.

+ Bảng hơi nước:

Trạng thái của CMG được xác định khi biết hai thông số trạng thái độc lập:

Đối với nước sôi ($x = 0$) và hơi bão hòa khô ($x = 1$) chỉ cần biết áp suất (p) hoặc nhiệt độ (t) sẽ xác định được trạng thái vì đã biết trước độ khô. Đối với nước chưa sôi và hơi quá nhiệt người ta thường chọn áp suất (p) và nhiệt độ (t) là hai thông số độc lập để xây dựng bảng trạng thái. Các bảng trạng thái của nước (chưa sôi, nước sôi, hơi bão hòa khô, hơi quá nhiệt) và một số chất lỏng thông dụng thường được cho trong phần phụ lục.

Đối với hơi bão hòa ẩm, người ta không lập bảng trạng thái mà xác định trạng thái của nó trên cơ sở độ khô và các thông số trạng thái của nước sôi và hơi bão hòa khô như sau :

$$v_x = v' + x (v'' - v') \quad [1-29]$$

$$i_x = i' + x (i'' - i') \quad [1-30]$$

$$s_x = s' + x (s'' - s') \quad [1-31]$$

$$u_x = u' + x (u'' - u') \quad [1-32]$$

Nội năng không có trong các bảng và đồ thị. Nội năng được xác định theo enthalpy bằng công thức sau :

$$u = i - pv \quad [1-33]$$

+ Đồ thị lgp - h (hay lgp - i):

Bên cạnh việc dùng bảng, người ta có thể sử dụng các đồ thị trạng thái để tính toán cho hơi.

Trên đồ thị lgp-h các đường đẳng áp là đường thẳng song song với trục hoành. Các đường đẳng nhiệt trong vùng hơi bão hòa ẩm trùng với các đường đẳng áp tương ứng, ở vùng hơi quá nhiệt là những đường cong hướng xuống gần như thẳng đứng trong khi đó ở vùng lỏng chưa sôi có thể xem là đường thẳng đứng song song với trục tung. Chiều tăng của nhiệt độ cùng với chiều tăng của áp suất. Các đường đẳng entropy và đẳng tích là các đường cong có bề lồi quay về phía trên nhưng đường đẳng entropy dốc hơn so với đường đẳng tích. Các