

BỘ CÔNG THƯƠNG
TRƯỜNG CAO ĐẲNG CÔNG NGHIỆP VÀ THƯƠNG MẠI

GIÁO TRÌNH

**Tên mô đun: Cơ sở kỹ thuật nhiệt lạnh
và ĐHKK**

NGHỀ: KTML VÀ ĐHKK

TRÌNH ĐỘ TRUNG CẤP

*Ban hành kèm theo Quyết định số: /QĐ-CĐCN&TM, ngày tháng năm
2018*

của Hiệu trưởng trường Cao đẳng Công nghiệp và Thương mại

Vĩnh Phúc, năm 2018

MỤC LỤC

ĐỀ MỤC

TRANG

MỤC LỤC.....	1
CHƯƠNG 1: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT ĐỘNG VÀ TRUYỀN NHIỆT	5
1.1 NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT	5
1.1.1 Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới	5
1.1.1.1 Các khái niệm và định nghĩa.....	5
1.1.1.2 Chất môi giới và các thông số trạng thái của chất môi giới	6
1.1.1.3 Nhiệt dung riêng và tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng.....	9
1.1.1.4 Công	12
1.1.2 Hơi và các thông số trạng thái của hơi	13
1.1.2.1 Các thể (pha) của vật chất.....	13
1.1.2.2 Quá trình hoá hơi đẳng áp.....	14
1.1.2.3 Các đường giới hạn và các miền trạng thái của nước và hơi.....	15
1.1.2.4 Cách xác định các thông số của hơi bằng bảng và đồ thị lgp-h...	16
1.1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi	18
1.1.3.1 Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi trên đồ thị lgp-h	18
1.1.3.2 Quá trình lưu động và tiết lưu	20
1.1.3.3 Quá trình lưu động	20
1.1.3.4 Quá trình tiết lưu	20
1.1.4 Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt.....	21
1.1.4.1 Khái niệm và định nghĩa chu trình nhiệt động	21
1.1.4.2 Chu trình nhiệt động của máy lạnh và bơm nhiệt.....	25
1.1.4.3 Chu trình máy lạnh hấp thụ.....	26
1.2 TRUYỀN NHIỆT	28
1.2.1 Dẫn nhiệt.....	28
1.2.1.1 Các khái niệm và định nghĩa.....	28
1.2.1.2 Dòng nhiệt ổn định dẫn qua vách phẳng và vách trụ.....	32
1.2.1.3 Nhiệt trở của vách phẳng và vách trụ mỏng	37
1.2.2 Trao đổi nhiệt đối lưu	37
1.2.2.1 Các khái niệm và định nghĩa.....	37
1.2.2.2 Các nhân tố ảnh hưởng tới trao đổi nhiệt đối lưu	39
1.2.2.3 Một số hình thức trao đổi nhiệt đối lưu thường gặp	39
1.2.2.4 Tỏa nhiệt khi sôi và khi ngưng hơi	45
1.2.3 Trao đổi nhiệt bức xạ	47
1.2.3.1 Các khái niệm và định nghĩa.....	47
1.2.3.2 Dòng nhiệt trao đổi bằng bức xạ giữa các vật	51
1.2.3.3 Bức xạ của mặt trời (năng).....	53
1.2.4 Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt	55

1.2.4.1 Truyền nhiệt tổng hợp.....	55
1.2.4.2 Truyền nhiệt qua vách.....	55
1.2.4.3 Truyền nhiệt qua vách phẳng và vách trụ.....	55
1.2.4.4 Truyền nhiệt qua vách có cánh	56
1.2.4.5 Tăng cường truyền nhiệt và cách nhiệt.....	57
1.2.4.6 Thiết bị trao đổi nhiệt.....	58
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KỸ THUẬT LẠNH	61
2.1 KHÁI NIỆM CHUNG.....	61
2.1.1 Ý nghĩa của kỹ thuật lạnh trong đời sống và kỹ thuật.....	61
2.1.2 Các phương pháp làm lạnh nhân tạo	62
2.2 MÔI CHẤT LẠNH VÀ CHẤT TẢI LẠNH.....	65
2.2.1 Các môi chất lạnh thường dùng trong kỹ thuật lạnh	65
2.2.2 Chất tải lạnh	70
2.2.3 Bài tập về môi chất lạnh và chất tải lạnh.....	70
2.3 CÁC HỆ THỐNG LẠNH THÔNG DỤNG.....	71
2.3.1 Hệ thống lạnh với một cấp nén.....	71
2.3.1.1 Sơ đồ 1 cấp nén đơn giản.....	71
2.3.1.2 Sơ đồ có quá nhiệt hơi hút, quá lạnh lỏng và hồi nhiệt	72
2.3.2 Sơ đồ 2 cấp nén có làm mát trung gian	74
2.3.3 Các sơ đồ khác	81
2.3.4 Bài tập	83
2.4 MÁY NÉN LẠNH	83
2.4.1 Khái niệm.....	83
2.4.1.1 Vai trò của máy nén lạnh	83
2.4.1.2 Phân loại máy nén lạnh	84
2.4.1.3 Các thông số đặc trưng của máy nén lạnh	84
2.4.2 Máy nén pittông	87
2.4.2.1 Máy nén lí tưởng một cấp nén (không có không gian thừa).....	87
2.4.2.2 Cấu tạo và chuyển vận	87
2.4.2.3. Các hành trình và đồ thị P-V.....	89
2.4.2.4. Máy nén có không gian thừa.....	89
2.4.2.5 Năng suất nén V khi có không gian thừa.....	90
2.4.2.6 Máy nén nhiều cấp có làm mát trung gian.....	90
2.4.2.7 Cấu tạo và nguyên lý làm việc	91
2.4.2.8 Đồ thị P-V	91
2.4.2.9 Tỷ số nén ở mỗi cấp.....	92
2.4.2.10 Lợi ích của máy nén nhiều cấp	92
2.4.2.11 Bài tập tính toán máy nén piston	92
2.4.3 Giới thiệu một số chủng loại máy nén khác	93
2.4.3.1 Máy nén rô to	93

2.4.3.2 Máy nén scroll (đĩa xoắn):	94
2.4.3.3 Máy nén trục vít	95
2.5 CÁC THIẾT BỊ KHÁC CỦA HỆ THỐNG LẠNH.....	97
2.5.1 Các thiết bị trao đổi nhiệt chủ yếu	97
2.5.1.1 Thiết bị ngưng tụ.....	97
2.5.1.2 Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh	97
2.5.1.3 Các kiểu thiết bị ngưng tụ thường gặp.....	97
2.5.1.4 Tháp giải nhiệt	103
2.5.1.5 Thiết bị bay hơi	103
2.5.1.6 Vai trò của thiết bị trong hệ thống lạnh	103
2.5.1.7 Các kiểu thiết bị bay hơi thường gặp	103
2.5.2 Thiết bị tiết lưu (giảm áp)	108
2.5.2.1 Giảm áp bằng ống mao	108
2.5.2.2 Van tiết lưu.....	108
2.5.3 Thiết bị phụ, dụng cụ và đường ống của hệ thống lạnh	111
2.5.3.1 Thiết bị phụ của hệ thống lạnh.....	111
2.5.3.2 Dụng cụ của hệ thống lạnh.....	116
2.5.3.3 Đường ống của hệ thống lạnh	118
CHƯƠNG 3: CƠ SỞ KỸ THUẬT ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ	119
3.1 KHÔNG KHÍ ẨM	119
3.1.1 Các thông số trạng thái của không khí ẩm.....	119
3.1.1.1 Thành phần của không khí ẩm	119
3.1.1.2 Các thông số trạng thái của không khí ẩm.....	120
3.1.2 Đồ thị I - d và d - t của không khí ẩm.....	123
3.1.2.1 Đồ thị I – d	123
3.1.2.2 Đồ thị t – d	124
3.1.3 Một số quá trình của không khí ẩm khi ĐHKK	124
3.1.4 Bài tập về sử dụng đồ thị	129
3.2 KHÁI NIỆM VỀ ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ.....	129
3.2.1 Khái niệm về thông gió và ĐHKK	129
3.2.1.1 Thông gió là gì?	129
3.2.1.2 Khái niệm về ĐHKK	130
3.2.1.3 Khái niệm về nhiệt thừa và tải lạnh cần thiết của công trình	130
3.2.2 Bài tập về tính toán tải lạnh đơn giản.....	131
3.2.3 Các hệ thống ĐHKK.....	133
3.2.3.1 Các khâu của hệ thống ĐHKK.....	133
3.2.3.2 Phân loại hệ thống ĐHKK	134
3.2.4 Các phương pháp và thiết bị xử lý không khí	134
3.2.4.1 Làm lạnh không khí	136
3.2.4.2 Sưởi ấm	136

3.2.4.3 Khử ẩm.....	137
3.2.4.4 Tăng ẩm.....	138
3.2.4.5 Lọc bụi và tiêu âm.....	138
3.3 HỆ THỐNG VẬN CHUYỂN VÀ PHÂN PHỐI KHÔNG KHÍ	140
3.3.1 Trao đổi không khí trong phòng	140
3.3.1.1 Các dòng không khí tham gia trao đổi không khí trong phòng .	141
3.3.1.2 Các hình thức cấp gió và thải gió.....	145
3.3.1.3 Các kiểu miệng cấp và miệng hồi	148
3.3.2 Đường ống gió	149
3.3.2.1 Cấu trúc của hệ thống	149
3.3.2.2 Các loại trở kháng thủy lực của đường ống.....	151
3.3.3 Quạt gió.....	152
3.3.3.1 Phân loại quạt gió.....	152
3.3.3.2 Đường đặc tính của quạt và điểm làm việc trong mạng đường ống	152
3.4 CÁC PHẦN TỬ KHÁC CỦA HỆ THỐNG ĐHKK	155
3.4.1 Khâu tự động điều chỉnh nhiệt độ và độ ẩm trong phòng	155
3.4.1.1 Tự động điều chỉnh nhiệt độ	155
3.4.1.2 Tự động điều chỉnh độ ẩm trong một số hệ thống ĐHKK công nghệ	157
3.4.2 Lọc bụi và tiêu âm trong ĐHKK	157
3.4.2.1 Tác dụng của lọc bụi	157
3.4.2.2 Tiếng ồn khi có ĐHKK- nguyên nhân và tác hại	159
3.4.3 Cung cấp nước cho ĐHKK.....	160
3.4.3.1 Các sơ đồ cung cấp nước lạnh cho hệ thống Water Chiller.....	160
3.4.3.2 Cung cấp nước cho các buồng phun	161
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	165
PHỤ LỤC	166

CHƯƠNG 1: CƠ SỞ KỸ THUẬT NHIỆT ĐỘNG VÀ TRUYỀN NHIỆT

Giới thiệu:

Chương này cung cấp cho sinh viên học sinh những kiến thức cơ bản ban đầu về cơ sở nhiệt động và truyền nhiệt: các khái niệm nhiệt động cơ bản, thông số của hơi, các chu trình nhiệt động cũng như quy luật của các hình thức truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt

Mục tiêu:

- Hiểu được các kiến thức chung nhất về kỹ thuật Nhiệt-Lạnh.
- Nắm rõ các khái niệm về nhiệt động lực học.
- Hơi và thông số trạng thái hơi.
- Các quá trình nhiệt động của hơi.
- Các chu trình nhiệt động.
- Trình bày 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:

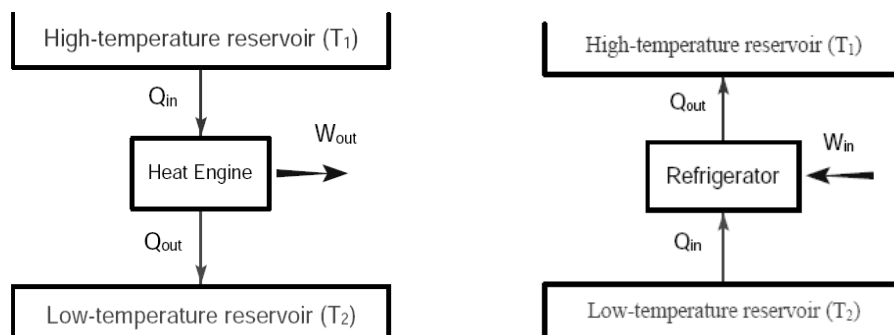
1.1 NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

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

1.1.1.1 Các khái niệm và định nghĩa

a) 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.

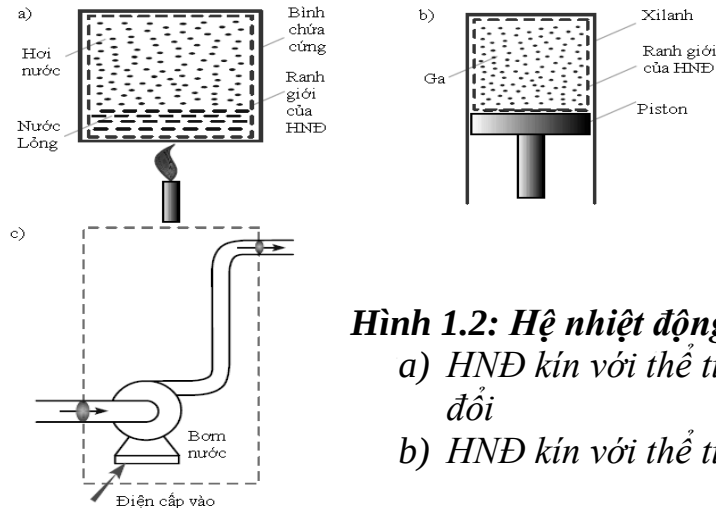


Hình 1.1: Nguyên lý làm việc của động cơ nhiệt và máy lạnh, bơm nhiệt

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

Hệ nhiệt động được phân loại như sau:



Hình 1.2: Hệ nhiệt động

a) HNĐ kín với thể tích không đổi

b) HNĐ kín với thể tích thay đổi

- *Hệ nhiệt động kín* - HNĐ trong đó không có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

- *Hệ nhiệt động hở* - HNĐ trong đó có sự trao đổi vật chất giữa hệ và môi trường xung quanh.

- *Hệ nhiệt động cô lập* - HNĐ được cách ly hoàn toàn với môi trường xung quanh.

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

a) Khái niệm chất môi giới (CMG):

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.

b) Các thông số trạng thái của chất môi giới

1. 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, $k = 1,3805 \cdot 10^{-16}$ 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**

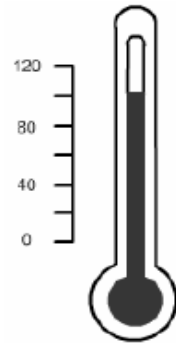
- 1) Thang nhiệt độ Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- 2) Thang nhiệt độ Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)
- 3) Thang nhiệt độ Kelvin (K)
- 4) Thang nhiệt độ Rankine ($^{\circ}\text{R}$)

Mối quan hệ giữa các đơn vị đo nhiệt độ:

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

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

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



Hình 1.3: Nhiệt kế

2. Áp suất

- **Khái niệm**

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 H_2O |
| 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**

1) *Áp suất khí quyển* (p_0) - áp suất của không khí tác dụng lên bề mặt các vật trên trái đất.

2) *Áp suất dư* (p_d) - là phần áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển

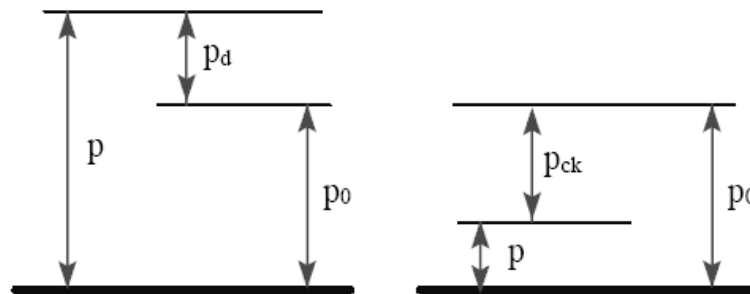
$$p_d = p - p_0 \quad [1-4]$$

3) *Áp suất tuyệt đối* (p) - áp suất của lưu chất so với chân không tuyệt đối.

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

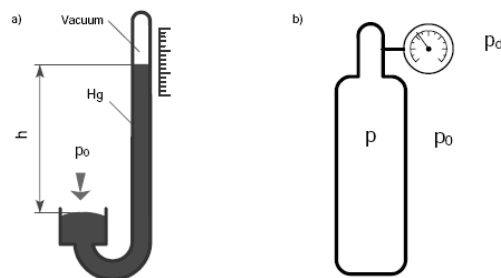
4) *Áp suất chân không* (p_{ck}) - phần áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển.

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



Hình 1.4: Các loại áp suất

• **Áp kế**



Hình 1.5: 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 $t^{\circ}\text{C}$

3. 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: $v = \frac{V}{m}$ $[m^3/kg]$ [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:

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

4. 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...

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

5. Enthalpy

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

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

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.

6. Entropy

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

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

1.1.1.3 Nhiệt dung riêng và tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng

a) Các khái niệm chung

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

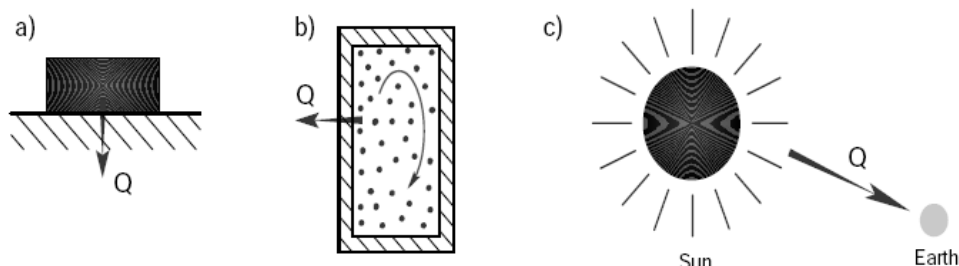
Đơn vị đo nhiệt năng :

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

2) *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 .

3) *Joule (J)* - 1 [J]

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



Hình 1.6: 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° .

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

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:*

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

$$2) \text{ Nhiệt dung riêng thể tích } c' = \frac{C}{V_{tc}}, [\text{J/m}^3_{tc} \cdot \text{độ}] \quad [1-15]$$

$$3) \text{ Nhiệt dung riêng mol } c_{\mu} = \frac{C}{N} [\text{J/kmol} \cdot \text{độ}] \quad [1-16]$$

• *Phân loại NDR theo quá trình nhiệt động:*

1) NDR đẳng tích $c_v, c'_v, c_{\mu v}$

2) NDR đẳng áp $c_p, c'_p, c_{\mu p}$

• *Công thức Mayer:*

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

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

• *Chỉ số đo độ 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

<i>Loại khí</i>	<i>k</i>	<i>c_{uv} [kJ/kmol. deg]</i>	<i>c_{un} [kJ/kmol. deg]</i>
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

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

b) Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng trung bình

❖ *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 $0 \div t$:

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

- Theo định nghĩa NDR : $c = dq/dt$

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

- Mặt khác có thể viết :

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

- Từ đó ta có :

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

- ❖ *Tính nhiệt dung riêng trung bình trong khoảng nhiệt độ $t_1 \div t_2$ khi biết NDR thực $c = a_0 + a_1 \cdot t$:*

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

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

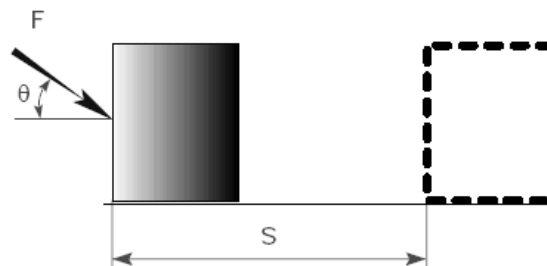
- ❖ *Tính nhiệt lượng theo nhiệt dung riêng trung bình*

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

1.1.1.4 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 1.7

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). 1 J là công của lực 1 N tác dụng trên quãng đường 1 m.

Phân loại công

1) *Công thay đổi thể tích (l)* - còn gọi là *công cơ học* - là công do CMG sinh ra khi dẫn 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:

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

2) *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:

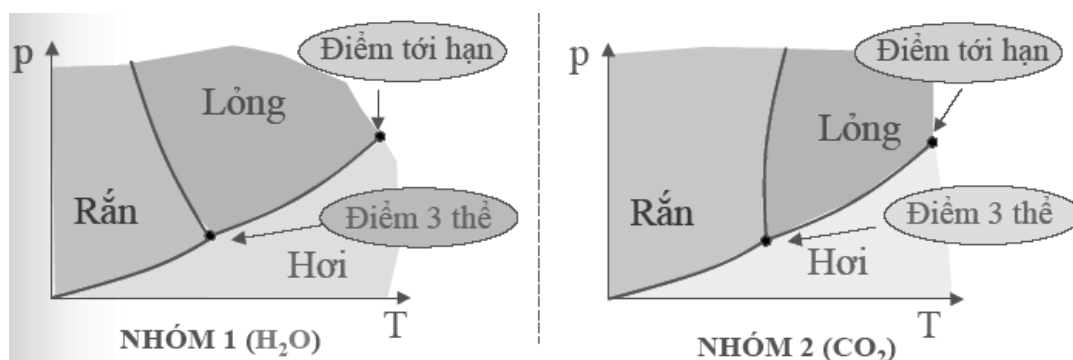
$$l_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v.dp \Rightarrow dl_{kt} = - v . dp \quad [1-27]$$

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

1.1.2 Hơi và các thông số trạng thái của hơi

1.1.2.1 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.

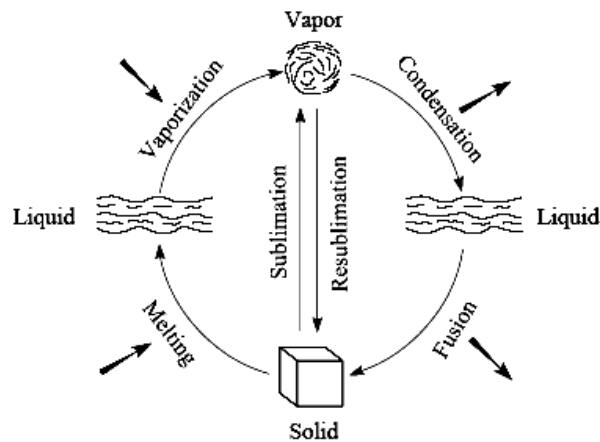


Hình 1.8: Đồ thị biểu diễn pha của chất thuần khiết

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 hóa hơi (r_{hh}), nhiệt lượng tỏa ra khi 1kg CMG ngưng tụ gọi là nhiệt ngưng tụ (r_{nt}). Nhiệt hóa hơi và nhiệt ngưng tụ có trị số bằng nhau. Ở áp suất khí quyển, nhiệt hóa hơi của nước là **2258** 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 1.9: 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.

1.1.2.2 Quá trình hoá hơi đẳng áp

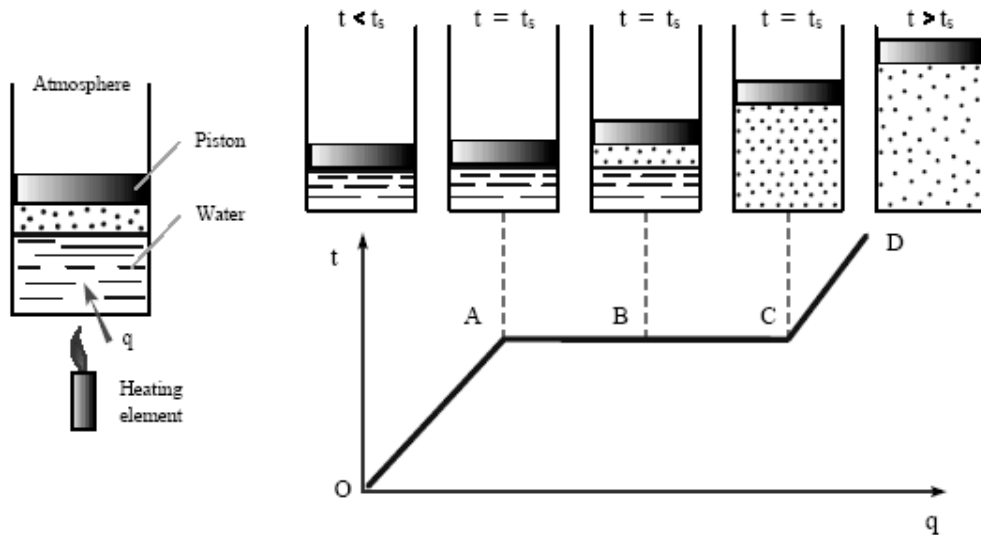
Giả sử có 1 kg nước trong xylanh, trên bề mặt nước có một piston có khối lượng không đổi. Như vậy, áp suất tác dụng lên nước sẽ không đổi trong quá trình hóa hơi. Giả sử nhiệt độ ban đầu của nước là t_0 , nếu ta cấp nhiệt cho nước, quá trình hóa hơi đẳng áp sẽ diễn ra. Hình 1.10 thể hiện quá trình hóa 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.

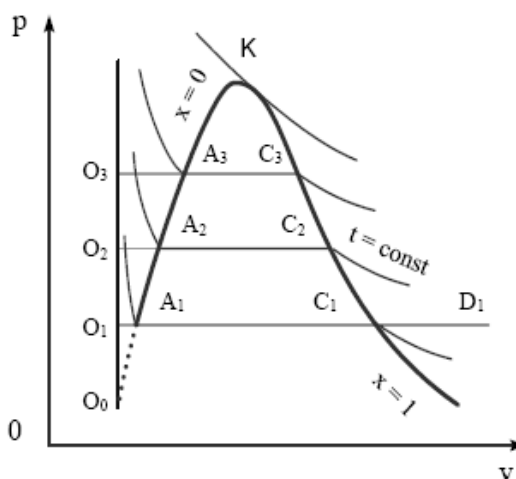


Hình 1.10: Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước

1.1.2.3 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 1.11: 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.

1.1.2.4 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.

a) 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:

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

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

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

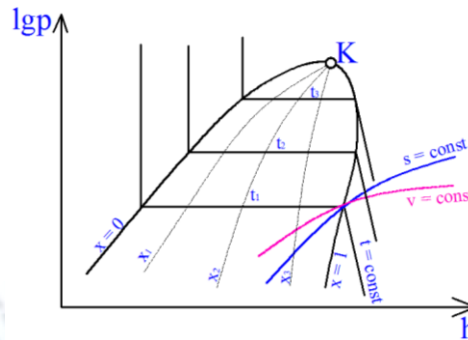
$$u_x = u' + x (u'' - u') \quad [1-32]$$

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

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

b) Đồ thị $\ln p - h$

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

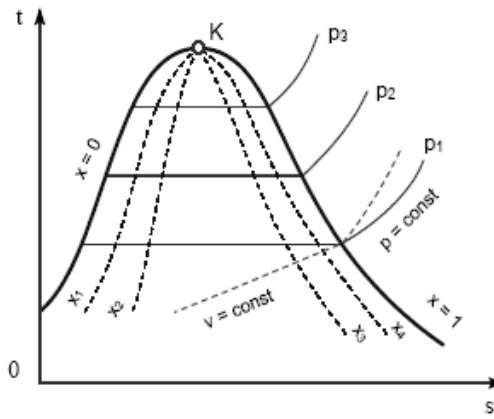


Hình 1.12: Đồ thị $\ln p-h$ của hơi nước

Trên đồ thị $\ln p-h$ 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 đường có độ khô không đổi ($x = \text{const}$) xuất phát từ điểm tới hạn K tỏa xuống phía dưới.

c) Đồ thị $T - s$ của hơi nước

Trên đồ thị $T-s$ (Hình 1.13), các đường đẳng áp $p = \text{const}$ trong vùng nước chưa sôi hầu như trùng với đường giới hạn dưới ($x = 0$), trong vùng hơi bão hòa ẩm là các đoạn thẳng nằm ngang và trùng với đường đẳng nhiệt ($T = \text{const}$), trong vùng hơi quá nhiệt là các đường cong đi lên. Chiều tăng của áp suất cùng với chiều tăng của nhiệt độ



Hình 1.13: Đồ thị $T - s$ của hơi nước

1.1.3. Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi

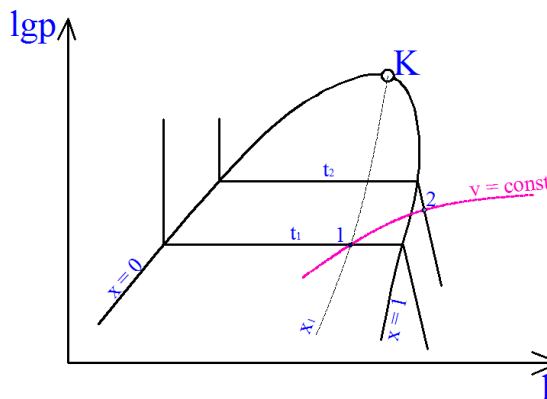
1.1.3.1 Các quá trình nhiệt động cơ bản của hơi trên đồ thị $\lg p - h$

Các quá trình cơ bản của chất thuần khiết cũng được khảo sát thông qua nước và hơi nước.

Để khảo sát một quá trình nào đó, ta thường phải tiến hành các bước sau:

- Xác định điểm biểu diễn trạng thái đầu của quá trình trên đồ thị tương ứng.
- Từ đặc điểm của quá trình và một thông số trạng thái đã biết của điểm cuối ta xác định được điểm biểu diễn trạng thái cuối.
- Kết hợp giữa bảng và đồ thị ta sẽ xác định được các thông số trạng thái cần thiết, và qua đó tính được lượng nhiệt và công trao đổi giữa chất môi giới và môi trường.

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



Hình 1.14: Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng tích

- Nội năng: $\Delta u = u_2 - u_1 = (i_2 - p_2 \cdot v_2) - (i_1 - p_1 \cdot v_1)$ [1-34a]
- Công của trong quá trình: $l = \int_1^2 p \cdot dv = 0$ [1-34b]
- Nhiệt lượng tham gia trong quá trình: $\Delta q = \Delta u + l = \Delta u$ [1-34c]