

SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO HÀ NỘI

---

ThS. TRẦN VĂN LỊCH

# GIÁO TRÌNH **KỸ THUẬT NHIỆT**

*(Dùng trong các trường THCN)*

NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007

**NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI**  
**4 - TỔNG DUY TÂN, QUẬN HOÀN KIẾM, HÀ NỘI**  
ĐT: (04) 8252916 - FAX: (04) 9289143

---

**GIÁO TRÌNH**  
**KỸ THUẬT NHIỆT**  
**NHÀ XUẤT BẢN HÀ NỘI - 2007**

---

Chịu trách nhiệm xuất bản  
**NGUYỄN KHẮC OÁNH**

Biên tập  
**PHẠM QUỐC TUẤN**

Bìa  
**TRẦN QUANG**

Kỹ thuật vi tính

**THU YẾN**

Sửa bản in  
**PHẠM QUỐC TUẤN**

---

In 850 cuốn, khổ 17x24cm, tại Nhà in Hà Nội - Công ty Sách Hà Nội. 67 Phó Đức Chính - Ba Đình - Hà Nội. Quyết định xuất bản số: 160-2007/CXB/470GT-27/HN. Số: 313/CXB ngày 02/3/2007. Số in: 378/3. In xong và nộp lưu chiểu quý III năm 2007.

## Lời giới thiệu

---

**N**ước ta đang bước vào thời kỳ công nghiệp hóa, hiện đại hóa nhằm đưa Việt Nam trở thành nước công nghiệp văn minh, hiện đại.

Trong sự nghiệp cách mạng to lớn đó, công tác đào tạo nhân lực luôn giữ vai trò quan trọng. Báo cáo Chính trị của Ban Chấp hành Trung ương Đảng Cộng sản Việt Nam tại Đại hội Đảng toàn quốc lần thứ IX đã chỉ rõ: “Phát triển giáo dục và đào tạo là một trong những động lực quan trọng thúc đẩy sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa, là điều kiện để phát triển nguồn lực con người - yếu tố cơ bản để phát triển xã hội, tăng trưởng kinh tế nhanh và bền vững”.

Quán triệt chủ trương, Nghị quyết của Đảng và Nhà nước và nhận thức đúng đắn về tầm quan trọng của chương trình, giáo trình đối với việc nâng cao chất lượng đào tạo, theo đề nghị của Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội, ngày 23/9/2003, Ủy ban nhân dân thành phố Hà Nội đã ra Quyết định số 5620/QĐ-UB cho phép Sở Giáo dục và Đào tạo thực hiện đề án biên soạn chương trình, giáo trình trong các trường Trung học chuyên nghiệp (THCN) Hà Nội. Quyết định này thể hiện sự quan tâm sâu sắc của Thành ủy, UBND thành phố trong việc nâng cao chất lượng đào tạo và phát triển nguồn nhân lực Thủ đô.

Trên cơ sở chương trình khung của Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành và những kinh nghiệm rút ra từ thực tế đào tạo, Sở Giáo dục và Đào tạo đã chỉ đạo các trường THCN tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình một cách khoa học, hệ

*thống và cập nhật những kiến thức thực tiễn phù hợp với đối tượng học sinh THCS Hà Nội.*

*Bộ giáo trình này là tài liệu giảng dạy và học tập trong các trường THCS ở Hà Nội, đồng thời là tài liệu tham khảo hữu ích cho các trường có đào tạo các ngành kỹ thuật - nghiệp vụ và đồng đảo bạn đọc quan tâm đến vấn đề hướng nghiệp, dạy nghề.*

*Việc tổ chức biên soạn bộ chương trình, giáo trình này là một trong nhiều hoạt động thiết thực của ngành giáo dục và đào tạo Thủ đô để kỷ niệm "50 năm giải phóng Thủ đô", "50 năm thành lập ngành" và hướng tới kỷ niệm "1000 năm Thăng Long - Hà Nội".*

*Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội chân thành cảm ơn Thành ủy, UBND, các sở, ban, ngành của Thành phố, Vụ Giáo dục chuyên nghiệp Bộ Giáo dục và Đào tạo, các nhà khoa học, các chuyên gia đầu ngành, các giảng viên, các nhà quản lý, các nhà doanh nghiệp đã tạo điều kiện giúp đỡ, đóng góp ý kiến, tham gia Hội đồng phản biện, Hội đồng thẩm định và Hội đồng nghiệm thu các chương trình, giáo trình.*

*Đây là lần đầu tiên Sở Giáo dục và Đào tạo Hà Nội tổ chức biên soạn chương trình, giáo trình. Dù đã hết sức cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi thiếu sót, bất cập. Chúng tôi mong nhận được những ý kiến đóng góp của bạn đọc để từng bước hoàn thiện bộ giáo trình trong các lần tái bản sau.*

GIÁM ĐỐC SỞ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

## Lời nói đầu

---

Trong những năm gần đây, kỹ thuật lạnh và điều hòa không khí ở nước ta đã phát triển mạnh mẽ và được áp dụng rộng rãi trong các ngành kinh tế quốc dân. Vì vậy, vấn đề trang bị các kiến thức về kỹ thuật nhiệt cho người đang học tập cũng như đang làm các công việc về lắp đặt, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa hệ thống lạnh và điều hòa không khí là vô cùng cần thiết. Với mục đích trang bị cho học sinh các kiến thức cơ bản về kỹ thuật nhiệt, chúng tôi đã biên soạn giáo trình **Kỹ thuật nhiệt** để làm tài liệu giảng dạy và học tập cho giáo viên và học sinh chuyên ngành máy lạnh và điều hòa không khí ở các trường trung học chuyên nghiệp.

Giáo trình gồm hai phần chính:

**Phần I: Nhiệt động kỹ thuật.**

**Phần II: Truyền nhiệt.**

Giáo trình nhằm cung cấp cho học sinh những kiến thức về:

- Các quá trình nhiệt động cơ bản của môi chất nói chung và của không khí ẩm nói riêng.
- Các chu trình cơ bản ứng dụng trong máy lạnh và điều hòa không khí.
- Các phương pháp tính toán truyền nhiệt của thiết bị.

Về nội dung, giáo trình đã chọn lọc các kiến thức cơ bản cần thiết, mà những người làm công tác về lạnh cần phải biết. Đồng thời giáo trình còn đề cập đến một số kiến thức về tính toán cách nhiệt để làm cơ sở cho người học có thể mau chóng làm quen với ngành máy lạnh và điều hòa không khí. Do vậy giáo trình không chỉ để cho học sinh học tập mà còn là tài liệu tham khảo bổ ích cho những ai quan tâm đến các ứng dụng của kỹ thuật nhiệt.

Tuy nhiên do điều kiện thời gian có hạn, cuốn sách không tránh khỏi thiếu sót, chúng tôi rất mong nhận được ý kiến đóng góp quý báu của độc giả.

Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn PGS. TS. Bùi Hải, TS. Hà Mạnh Thư, giảng viên Trường đại học Bách khoa Hà Nội, TS. Nguyễn Duy Tiến, giảng viên Trường đại học Giao thông vận tải, KS. Trần Hữu Thiết, giảng viên Trường Cán bộ thương mại trung ương, đã đóng góp ý kiến để hoàn thiện nội dung giáo trình.

TÁC GIẢ

## Bài mở đầu

# ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC

### 1. Đối tượng của môn học

Kỹ thuật nhiệt là môn khoa học nghiên cứu những quy luật thay đổi trạng thái của môi chất cũng như các quy luật truyền nhiệt truyền chất của chúng khi chúng tiếp xúc trực tiếp với nhau hoặc gián tiếp thông qua một vật trung gian là các vách truyền nhiệt. đồng thời nghiên cứu ứng dụng các quy luật đó vào các lĩnh vực của đời sống, sản xuất nói chung và ngành máy lạnh nói riêng.

### 2. Nội dung của môn học

Về nội dung, giáo trình chỉ trình bày những kiến thức cơ bản nhất về nhiệt động học và truyền nhiệt của các môi chất, làm cơ sở cho học sinh dễ dàng tiếp thu được các môn học chuyên ngành khác được bố trí kế tiếp sau. Ngoài ra giáo trình còn là tài liệu tham khảo bổ ích cho những ai quan tâm ứng dụng kỹ thuật nhiệt vào trong các ngành kỹ thuật.

Giáo trình được bố trí thành 2 phần và 5 chương:

#### ***Phần I: Nhiệt động kỹ thuật***

Chương 1: Những khái niệm cơ bản và các quá trình nhiệt cơ bản của môi chất.

Chương 2: Không khí ẩm và chu trình ngược chiều

#### ***Phần II: Truyền nhiệt***

Chương 3: Dẫn nhiệt

Chương 4: Trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ

Chương 5: Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt, cách nhiệt

### **3. Phương pháp nghiên cứu môn học**

Cũng như các môn học cơ sở kỹ thuật khác, việc nghiên cứu môn học “Kỹ thuật nhiệt” là sự kết hợp chặt chẽ giữa sự phân tích lí thuyết với các kết quả thực nghiệm.

Kiến thức về kỹ thuật nhiệt rất cần thiết cho người cán bộ kỹ thuật ở nhiều ngành sản xuất khác nhau là cơ sở để giải quyết những vấn đề có liên quan đến các quá trình truyền nhiệt truyền chất. Vì vậy đây là môn học lý thuyết cơ sở bắt buộc đối với các học sinh theo học ngành Máy lạnh và ĐHKK. Để có thể nắm bắt được các nội dung của môn học, học sinh cần phải có các kiến thức về các môn học cơ bản như: Vật lý, Toán học, Hóa học... Đồng thời trong quá trình học tập, sau khi học lý thuyết học sinh cần phải tìm hiểu kỹ các thiết bị thực nghiệm đã có sẵn trong các phòng thực hành. Trên cơ sở như vậy người học mới có điều kiện để so sánh hai chiều giữa kiến thức thực tế và kiến thức lý thuyết. Nhằm hiểu biết sâu hơn các kiến thức cần lĩnh hội, ngoài kiến thức được nêu ra trong giáo trình, người học cần phải thường xuyên cập nhật các thông tin mới htoong qua các giáo trình tham khảo và các tài liệu khác. Các kiến thức trình bày trong giáo trình, mặc dù chỉ là các kiến thức cơ bản, song để có thể lĩnh hội được nhanh chóng, thì người học cần phải tuân thủ theo kết cấu của giáo trình và cần có sự hướng dẫn của các giáo viên chuyên ngành.

Tóm lại, để có thể học tập tốt môn học, người học cần phải xác định rõ mục đích và yêu cầu của môn học. Luôn luôn kết hợp chặt chẽ giữa kiến thức lý thuyết với các kiến thức thực tế. Đồng thời phải tích cực ôn luyện theo sự hướng dẫn của các giáo viên. Đặc biệt cần ghi nhớ các kết luận rút ra từ các bài tập hoặc từ các kết quả thu được trong quá trình làm thực nghiệm trên các thiết bị thí nghiệm hoặc trên các mô hình.

## Phần I

# NHIỆT ĐỘNG KỸ THUẬT

## Chương 1

### NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN VÀ CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT CƠ BẢN CỦA MÔI CHẤT

#### Mục tiêu:

Hiểu được định nghĩa của các thông số trạng thái, các phương pháp tính toán nhiệt và công của môi chất, các quá trình cơ bản của khí lý tưởng và khí thực.

#### Nội dung tóm tắt:

- Sự thay đổi trạng thái và chuyển pha của đơn chất
- Thông số trạng thái của môi chất
- Phương trình trạng thái của môi chất
- Nhiệt, công và các phương pháp xác định
- Định luật nhiệt động thứ nhất
- Các quá trình cơ bản của khí lý tưởng
- Các quá trình cơ bản của khí thực
- Tính nhiệt lượng và công của khí thực
- Quá trình tiết lưu



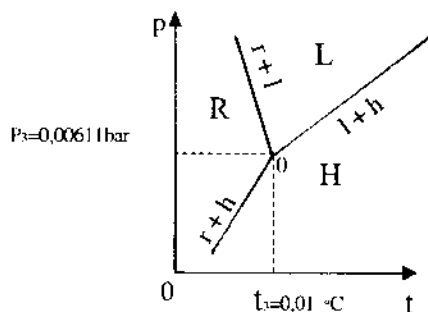
# I. SỰ THAY ĐỔI TRẠNG THÁI VÀ CHUYỂN PHA CỦA ĐƠN CHẤT

## 1. Các kết quả thực nghiệm

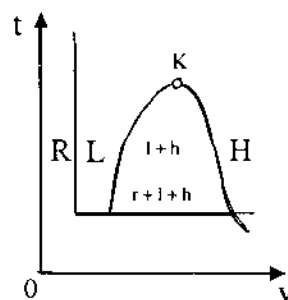
Từ thực nghiệm cho thấy tất cả các môi chất đơn như: nước( $H_2O$ ), thủy ngân(Hg), amoniac( $NH_3$ ), freon\_12( $CCl_2F_2$ ) hoặc cacbon(C)v.v..., khi cấp nhiệt hoặc thải nhiệt đều có sự thay đổi trạng thái và sự chuyển pha ở các áp suất và nhiệt độ khác nhau. Lấy 1 kg nước ở 1 bar và  $20^{\circ}C$ , cấp nhiệt cho nó, ta quan sát thấy nhiệt độ tăng từ  $20^{\circ}C$  đến  $99,64^{\circ}C$  thì một bộ phận nước bắt đầu hoá hơi, nhiệt độ  $99,64^{\circ}C$  giữ không đổi cho tới khi giọt nước cuối cùng biến thành hơi. Sau đó, nếu tiếp tục cấp nhiệt thì nhiệt độ tiếp tục tăng mãi. Thể tích riêng của nước bắt đầu từ  $0,0010018 \text{ m}^3/\text{kg}$  tăng lên đến  $0,001032 \text{ m}^3/\text{kg}$  khi bắt đầu hoá hơi, và khi vừa bắt đầu hoá hơi hết thì thể tích riêng bằng  $1,649 \text{ m}^3/\text{kg}$  (tăng khoảng 1600 lần) và khi nhiệt độ lên đến  $600^{\circ}C$  thì thể tích riêng bằng  $4,028 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Nếu cho hơi nước ở  $600^{\circ}C$  thải nhiệt ở áp suất vẫn bằng 1 bar không đổi thì nhiệt độ giảm xuống, đến  $99,64^{\circ}C$  thì một bộ phận hơi ngưng lại thành nước, nhiệt độ không đổi cho đến khi hơi vừa ngưng hết, tiếp tục thải nhiệt, nhiệt độ giảm xuống cho đến khi bằng  $0^{\circ}C$ , một bộ phận nước đông đặc, nhiệt độ không thay đổi, khi nước đông hết thì nhiệt độ lại tiếp tục giảm.

Thể tích thay đổi không đáng kể khi nước đông thành đá. Cấp nhiệt cho đá ở nhiệt độ thấp ví dụ  $-20^{\circ}C$  trong điều kiện áp suất bằng 1 bar thì nhiệt độ tăng lên đến  $0^{\circ}C$ , đá bắt đầu tan, nhiệt độ giữ ở  $0^{\circ}C$  không đổi cho đến khi đá tan hoàn toàn, sau đó tiếp tục tăng lên và trở lại bằng  $20^{\circ}C$  ban đầu. Làm lại thí nghiệm trên ở các áp suất khác nhau và biểu diễn trên đồ thị p-t (Hình 1-1) và t-v (Hình 1 - 2) ta thấy:



Hình 1 - 1



Hình 1 - 2

Hình 1-1 và Hình 1-2: Đồ thị biểu diễn thay đổi trạng thái pha của đơn chất.

a. Khi áp suất  $p$  nằm trong phạm vi áp suất điểm ba pha (đối với nước bằng 0,00611 bar, tương ứng  $t_3 = 0,01^\circ\text{C}$ ) và áp suất tới hạn  $p_k$  (đối với nước  $p_k = 221,3$  bar, tương ứng  $T_k = 374,152^\circ\text{C}$ ) nghĩa là:

-  $p_k > p > p_3$ , thì quá trình xảy ra giống nhau về mặt định tính, nhưng khác nhau về mặt định lượng.

- Ở áp suất  $p_3$ , nhiệt độ đông đặc bằng nhiệt độ hoá hơi, áp suất càng tăng thì nhiệt độ đông đặc thường giảm xuống (Đường O - L trên đồ thị  $p$ - $t$ ) và nhiệt độ hoá hơi tăng lên (Đoạn OK).

Áp suất tăng thì sự khác nhau giữa thể tích riêng của hơi và của nước càng giảm dần, đến áp suất  $p_k$  không còn khác nhau nữa (Hình 1-2).

b. Khi  $p > p_k$  thì quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng không khác mấy, nhưng từ pha lỏng chuyển sang pha hơi không có ranh giới rõ ràng, không có giai đoạn pha lỏng và pha hơi cùng tồn tại.

c. Khi  $p < p_3$  thì pha rắn trực tiếp chuyển thành pha hơi khi cấp nhiệt, ngược lại, khi thải nhiệt thì pha hơi trực tiếp thành pha rắn, ở trạng thái  $p_3$  và  $T_3$ , thì cả ba pha có thể cùng tồn tại.

Làm thí nghiệm trên với các môi chất đơn khác nhau, về định tính chúng đều giống nhau, về định lượng có khác nhau, kết quả cho trong bảng 1-1.

*Bảng 1-1. Trạng thái ba pha và trạng thái tới hạn*

Môi chất	Điểm 3 pha		Điểm tới hạn	
	$t_3(^{\circ}\text{C})$	$P_3(\text{kpa})$	$t_k(^{\circ}\text{C})$	$P_k(\text{bar})$
Thuỷ ngân(Hg)			1490	1510
Nước ( $\text{H}_2\text{O}$ )	0,01	0,6113	374,15	221,29
Amoniac( $\text{NH}_3$ )	- 77,4	167	132,3	112,8
Cacbonic( $\text{CO}_2$ )	- 56,5	518	31,04	74,12
Oxy( $\text{O}_2$ )	- 219	0,15	- 118,35	50,8
Hydro( $\text{H}_2$ )	- 259	7,194	- 239,85	13

## **2. Một số khái niệm và định nghĩa**

### **2.1. Nóng chảy và đông đặc**

- Nóng chảy là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha lỏng.
- Đông đặc là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha rắn.
- Khi nóng chảy, môi chất nhận nhiệt.
- Khi đông đặc, môi chất nhả nhiệt.

Hai nhiệt lượng trên có chỉ số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn nóng chảy và nhiệt ẩn đông đặc, đối với nước ở áp suất khí quyển, bằng 333,37 KJ/Kg.

### **2.2. Hoá hơi và ngưng tụ**

- Hoá hơi là quá trình chuyển từ pha lỏng sang pha hơi.
- Ngưng tụ là quá trình chuyển từ pha hơi sang pha lỏng.
- Khi hoá hơi môi chất nhận nhiệt.
- Khi đông đặc môi chất nhả nhiệt.

Hai nhiệt lượng trên có trị số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn hoá hơi và nhiệt ẩn ngưng tụ, nó phụ thuộc vào bản chất và thông số của môi chất. Nước ở áp suất khí quyển có nhiệt ẩn hoá hơi bằng 2258 KJ/Kg. Tùy theo điều kiện khác nhau, quá trình hoá hơi được chia thành quá trình bay hơi và quá trình sôi. Quá trình bay hơi chỉ tiến hành trên bề mặt thoáng, quá trình sôi tiến hành trong cả khối chất lỏng. Nhiệt độ mà môi chất tiến hành quá trình hoá hơi hoặc ngưng tụ gọi là nhiệt độ bão hoà (hoặc nhiệt độ sôi hay nhiệt độ ngưng tụ), nhiệt độ bão hoà phụ thuộc vào áp suất, nước ở áp suất khí quyển có nhiệt độ bão hoà (sôi) xấp xỉ 100°C, ở áp suất 0,01 bar bằng 6,92°C, ở áp suất 200 bar là 365,7°C.

### **2.3. Thăng hoa và ngưng kết**

Thăng hoa là quá trình chuyển từ pha rắn sang pha hơi và quá trình ngược lại gọi là quá trình ngưng kết. Khi thăng hoa môi chất nhận nhiệt và khi ngưng kết môi chất nhả nhiệt, hai nhiệt lượng có trị số bằng nhau, gọi là nhiệt ẩn thăng hoa hoặc nhiệt ẩn ngưng kết. Ở áp suất khí quyển, nhiệt ẩn thăng hoa của nước bằng 2828,18 KJ/Kg.

#### ***Chú ý:***

Tùy điều kiện hình thành khác nhau, pha rắn của môi chất có thể tồn tại ở nhiều dạng khác nhau: Nước ( $H_2O$ ) có 6 dạng; Cacbon (C) có hai dạng: Graphit và kim cương; Bismuyt có 8 dạng vv...,

## 2.4. Một số định nghĩa khác

- Nước chưa sôi là chất lỏng có nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ sôi (so sánh cùng áp suất).

- Nước sôi (nước bão hoà) là chất lỏng có nhiệt độ bằng nhiệt độ sôi.

- Hơi bão hoà khô là hơi có nhiệt độ bằng nhiệt độ sôi.

- Hơi bão hoà ẩm là hỗn hợp giữa hơi bão hoà khô và nước bão hoà (nước sôi). Tỷ số giữa khối lượng hơi bão hoà khô và hơi bão hoà ẩm gọi là độ khô, ký hiệu là  $x$ .

Tỷ số giữa khối lượng nước sôi với hơi bão hoà ẩm gọi là độ ẩm của hơi bão hoà ẩm, ký hiệu là  $y$ .

Ta có  $y = 1 - x$

Hơi quá nhiệt là hơi có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ sôi ở cùng áp suất hoặc là hơi có áp suất nhỏ hơn áp suất bão hoà ở cùng nhiệt độ.

### ***Khí lý tưởng và khí thực:***

Mọi khí trong tự nhiên đều là khí thực, khí thực gồm các phân tử chuyển động hỗn loạn, giữa chúng có lực tác dụng tương hỗ và chúng có thể tích bản thân nhất định.

Khí lý tưởng là khí chỉ gồm các phân tử chuyển động mà không có lực tác dụng và không có thể tích bản thân.

Trong thực tế chỉ có khí thực, không có khí lý tưởng. Với bất kỳ môi chất nào, khi áp suất giảm và nhiệt độ tăng đến một lúc mà ảnh hưởng của thể tích bản thân phân tử và lực tương tác giữa các phân tử nhỏ đến mức có thể cho phép bỏ qua, lúc đó môi chất có thể coi là khí lý tưởng. Ở điều kiện áp suất và nhiệt độ thông thường, các khí như  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ , không khí... có thể xem là khí lý tưởng, hơi nước trong sản phẩm cháy hoặc trong không khí cũng xem là khí lý tưởng vì phân áp suất của nó rất nhỏ.

## II. THÔNG SỐ TRẠNG THÁI CỦA MÔI CHẤT

Ở một trạng thái và thời điểm xác định của môi chất, có những đại lượng hoàn toàn xác định, các đại lượng này được gọi là thông số trạng thái, chúng là hàm số đơn trị của trạng thái mà không phụ thuộc vào quá trình thay đổi trạng thái, nên độ biến thiên của trạng thái chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình mà không phụ thuộc vào đường đi. Khi môi chất ở trạng

thái cân bằng (về cơ và về nhiệt có nghĩa là đồng đều về áp suất và nhiệt độ), thì thông số trạng thái mới có trị số đồng nhất và xác định, trong nhiệt động kỹ thuật chỉ nghiên cứu những trạng thái cân bằng.

Thông số trạng thái có nhiều loại, có thông số có thể đo trực tiếp được, có thông số không đo được trực tiếp, có những thông số độc lập với nhau nhưng cũng có những thông số phụ thuộc vào nhau.

Trong nhiệt kỹ thuật có thể dùng ba thông số có thể đo được trực tiếp gọi là ba thông số cơ bản: nhiệt độ, áp suất, thể tích riêng hoặc khối lượng riêng. Ngoài ra còn các thông số trạng thái khác như: nội năng, entanpi, entropi, execgi...

### 1. Nhiệt độ và định luật nhiệt thứ không

Nhiệt độ biểu thị mức độ nóng lạnh của môi chất, đứng trên góc độ vi mô, nhiệt độ biểu thị giá trị trung bình động năng của các phân tử chuyển động. Nhiệt độ có thể đo được trực tiếp trên cơ sở định luật nhiệt thứ không.

“ Nếu hai vật (hệ) có nhiệt độ  $t_1$  và  $t_2$  cùng bằng nhiệt độ  $t_3$  của vật (hệ) thứ ba, thì nhiệt độ của hai vật đó bằng nhau tức là  $t_1 = t_2$ ”.

Để biểu thị giá trị của nhiệt độ, thường dùng thang nhiệt độ bách phân (còn gọi là thang nhiệt độ Celcius)  $^{\circ}\text{C}$ , thang nhiệt độ tuyệt đối (còn gọi là thang nhiệt độ Kelvin) K. Ở một số nước dùng thang nhiệt độ Fahrenheit  $^{\circ}\text{F}$  và nhiệt độ Rankin  $^{\circ}\text{R}$  vv...

Các thang nhiệt độ đều lấy hai điểm mốc: điểm nóng chảy của nước đá và điểm sôi của nước tinh khiết ở áp suất khí quyển ở tiêu chuẩn vật lý.

Nhưng thông số bách phân ký hiệu  $t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ : Nước đá tan ở  $0^{\circ}\text{C}$ , nước sôi ở nhiệt độ  $100^{\circ}\text{C}$ . Nhiệt độ Kelvin (ký hiệu T, K).

Độ lớn của  $1^{\circ}\text{C}$  bằng  $1^{\circ}\text{K}$ , bằng 1% khoảng cách giữa hai mốc trên, còn độ lớn của  $1^{\circ}\text{F}$  và  $1^{\circ}\text{R}$  bằng nhau và bằng  $1/180$  khoảng cách trên, nghĩa là bằng  $5/9$  độ lớn của  $1^{\circ}\text{C}$  hoặc  $1^{\circ}\text{K}$ .

Thang nhiệt độ Kelvin và Rankin lấy giá trị 0 ở nhiệt độ không tuyệt đối; Ở điểm nóng chảy của nước, thang nhiệt độ bách phân lấy bằng  $0^{\circ}\text{C}$ , thang nhiệt độ Kelvin lấy bằng  $273\text{K}$  (K người ta ký hiệu là K), thang nhiệt độ Fahrenheit lấy bằng  $32^{\circ}\text{F}$  và thang nhiệt độ Rankin lấy bằng  $462^{\circ}\text{R}$ .

Do vậy quan hệ tính đổi giữa các thang nhiệt độ:

$$t^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{K} - 273 = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32) = 5/9T^{\circ}\text{R} - 273 \quad (1-1)$$

Hay:  $T = t + 273^{\circ}\text{C}$ ;  $t = T - 273$ . (1-2)

Ví dụ:  $t = 30^{\circ}\text{C}$  ứng với  $303\text{K}$ ,  $86^{\circ}\text{F}$  và  $544,7^{\circ}\text{R}$ .

## 2. Áp suất tuyệt đối

Áp suất là áp lực của môi chất tác dụng thẳng góc lên một đơn vị bề mặt tiếp xúc, ký hiệu là  $p$ .

Đơn vị đo áp suất cơ bản của hệ thống SI là  $\text{N/m}^2$  ( $\text{N/m}^2$  gọi là Pascal, ký hiệu Pa) và bội số của chúng như:

KiloPascal:  $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$

Bar:  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$

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

Đơn vị đo áp suất cũ là at:  $1 \text{ at} = 0,98 \text{ bar}$ .

Người ta còn dùng chiều cao cột chất lỏng làm đơn vị đo áp suất: mmHg (còn gọi là Toricelli: Tor),  $\text{mmH}_2\text{O}$ , ở một số nước còn dùng đơn vị là Poundal/feet<sup>2</sup> ( $\text{Lbf/ft}^2$ ).

Quan hệ giữa các đơn vị thường gặp:  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ .

$1 \text{ at} = 0,98 \text{ bar} \approx 10.000 \text{ mmH}_2\text{O}$ .

Ví dụ: Áp suất  $p = 400 \text{ mmHg} = (400/760) \text{ bar} = (400/760) \times 10^5 \text{ Pa}$ .

Áp suất tuyệt đối là áp suất thực, có thể trực tiếp đo được, nhưng thường đo gián tiếp qua áp suất khí trời và phân sai khác giữa áp suất khí trời và áp suất thực. Áp suất tuyệt đối là thông số trạng thái.

Đối với trường hợp áp suất thực lớn hơn áp suất khí quyển, ta có:

$$p = p_k + p_d \quad (1-3a)$$

Đối với trường hợp áp suất thực nhỏ hơn áp suất khí quyển, ta có:

$$p = p_k - p_{ck} \quad (1-3b)$$

Ở đây  $p$ ,  $p_k$ ,  $p_d$ ,  $p_{ck}$  - Áp suất tuyệt đối, áp suất khí quyển, áp suất dư (thừa) và độ chân không.

Cần chú ý là quy đổi  $1 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg}$  là ở  $0^{\circ}\text{C}$ , nếu ở nhiệt độ khác  $0^{\circ}\text{C}$ . Khi đó theo chiều cao cột thủy ngân Hg, cần quy về chiều cao ở  $0^{\circ}\text{C}$  theo công thức:

$$H_0 = H_t(1 - 0,00172t) \quad (1-4)$$

Ở đây  $H_t$  - chiều cao cột thủy ngân đo được ở nhiệt độ  $t$

$H_0$  - chiều cao cột thủy ngân quy về  $0^{\circ}\text{C}$

### 3. Thể tích riêng và khối lượng riêng

Thể tích riêng ký hiệu ( $v$ ):

$$v = \frac{V}{G}; (\text{m}^3/\text{kg}). \quad (1 - 5)$$

Trong đó:  $V$  - thể tích,  $\text{m}^3$

$G$  - khối lượng,  $\text{kg}$

Khối lượng riêng ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{G}{V} (\text{kg}/\text{m}^3).$$

$$\rho = \frac{1}{v} (\text{kg}/\text{m}^3).$$

### 4. Nội năng

Nội năng (ở đây chỉ xét nội nhiệt năng) là tổng của nội động năng, tức động năng của các phân tử chuyển động, và nội thế năng tức trọng trường lực tương tác trong các phân tử. Đối với khí lý tưởng, có thể bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử, nên nội năng chỉ bao gồm nội động năng mà theo thuyết động học phân tử và lượng tử thì nội năng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó nội năng của khí lý tưởng cũng chỉ là hàm đơn trị của nhiệt độ.

Đối với 1kg môi chất, nội năng có ký hiệu  $u$ , với Gkg có  $U = G.u$ . Đơn vị của nội năng cũng giống như các dạng năng lượng khác, ở hệ thống SI đơn vị cơ bản là J. Bội số:  $1\text{kJ} = 10^3\text{J}$ ;  $1\text{MJ} = 10^3\text{kJ}$ ;  $1\text{kwh} = 3600\text{kJ}$ . Hoặc các đơn vị khác như kcal .... Ở một số nước còn dùng đơn vị khác như BTU (British Thermal Unit) và CHU (Centigrado Heat Unit).

Quan hệ giữa các đơn vị đó là:

$$1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$$

$$1\text{kJ} = 0,239\text{kcal} = 277,78.10^6\text{kwh} =$$

$$= 0,948\text{BTU} = 0,527 \text{ CHU} \quad (1 - 6)$$

Trong nhiệt kỹ thuật thường chỉ cần tính lượng biến đổi nội năng  $\Delta u$ , do đó không phụ thuộc vào việc chọn gốc tại đó có nội năng  $u = 0$ , thường lấy gốc ở  $0^\circ\text{C}$ .

## 5. Entanpi

Trong khi tính toán và phân tích về nhiệt thường gặp biểu thức  $(u+pV)$  để đơn giản ta ký hiệu bằng “i” hoặc “h” và gọi là entanpi.

$$\text{Đối với 1 kg ta có: } i = u + pv \quad (1-7a)$$

$$\text{Đối với G kg môi chất ta có: } I = Gi = U + pV \quad (1-7b)$$

Vì u, p, v đều là thông số trạng thái, nên i cũng là thông số trạng thái. Đối với khí lý tưởng, u và pv chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nên i của khí lý tưởng là hàm số đơn trị của nhiệt độ. Đơn vị của i cũng như u và thường chỉ cần tính  $\Delta i$  nên có thể chỉ cần chọn một trạng thái thích hợp nào đó làm mốc coi bằng không giống như  $\Delta u$ . Đối với các môi chất lạnh như Amoniac, Freon-12 chọn entanpi của môi chất lỏng bão hoà ở  $-40^\circ\text{C}$  bằng 0.

## 6. Entropi

Entropi là một thông số trạng thái, ký hiệu là “s”, có vi phân bằng

$$ds = \frac{dq}{T} \quad (1-8)$$

Trong đó: dq - là đương lượng nhiệt vô cùng nhỏ trao đổi với môi trường khi nhiệt độ môi chất bằng T(K).

Entropi không trực tiếp đo được. Trong tính toán chỉ cần tính  $\Delta s$ , có thể chọn trạng thái mốc ở đó coi bằng không bất kỳ, thường lấy cùng mốc để tính u và i. Đơn vị của s trong hệ SI thường dùng là kJ/kgK.

## III. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA MÔI CHẤT

Khi một trạng thái được xác định thì giá trị của tất cả các thông số trạng thái đều được xác định. Quan hệ giữa các thông số trạng thái của khí lý tưởng và khí thực, sẽ được trình bày sau đây:

### 1. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

Phương trình trạng thái là phương trình liên hệ giữa các thông số trạng thái cơ bản với nhau. Đối với một đơn chất ở pha khí là phương trình liên hệ 3 thông số độc lập thường là ba thông số cơ bản p, v, T như phương trình (1 - 9), (1 - 10) và (1-11).

Phương trình trạng thái có thể xác định bằng thực nghiệm hoặc bằng lý thuyết. Cho đến nay chỉ mới có phương trình xác định xây dựng hoàn toàn



bằng lý thuyết cho khí lý tưởng, từ lý thuyết động học phân tử hoặc bằng thực nghiệm trên cơ sở các định luật Boyle - Mariotte (Bôi - Mariôt), Gay-Luy xác và Avogadro (Avôgadrô).

Đối với 1Kg khí lý tưởng ta có:

$$pv = RT \quad (1-9)$$

Với Gkg khí lý tưởng:

$$pV = GRT \quad (1-10)$$

Với 1Kmol ( $\mu$ Kg) khí lý tưởng có:

$$pV_{\mu} = R_{\mu} T \quad (1-11)$$

*Ở đây:*

p - Áp suất tuyệt đối, đơn vị thường dùng N/m<sup>2</sup>.

T - Nhiệt độ tuyệt đối (K).

v - Thể tích riêng (m<sup>3</sup>/Kg)

G - Khối lượng của môi chất (Kg).

V - Thể tích của môi chất (m<sup>3</sup>).

$\mu$  - Kilômol (là lượng vật chất tính bằng kg có giá trị bằng phân tử lượng)

$V_{\mu}$  - Thể tích của 1 kilomol môi chất, thay đổi theo trạng thái, ở điều kiện tiêu chuẩn (p = 760 mmHg và t = 0°C), tất cả khí lý tưởng đều có thể tích bằng 22,4 m<sup>3</sup>, nghĩa là  $V_{\mu} = 22,4 \text{ (m}^3_{\text{TC}}/\text{kmol)}$ .

$R_{\mu}$  - Hằng số phổ biến của môi chất, tất cả khí lý tưởng đều có.

$R_{\mu} = 8314 \text{ J/kmol.K}$ .

R - Hằng số chất khí,  $R = \frac{R_{\mu}}{\mu} = \frac{8314}{\mu} \text{ J/kg.K}$ ;

Cần lưu ý là các phương trình trên là viết cho khí lý tưởng ở trạng thái cân bằng, với khí thực hoặc trạng thái không cân bằng nếu dùng sẽ có sai số, tùy theo yêu cầu về độ chính xác của bài tính mà cho phép sử dụng hay không.

## 2. Phương trình trạng thái của hỗn hợp khí lý tưởng

Đối với hỗn hợp đồng đều của khí lý tưởng (không có phản ứng hoá học với nhau), có thể sử dụng các phương trình trạng thái trên, chỉ cần xác định các đại lượng và tỉ lệ hỗn hợp của các chất khí thành phần.

## 2.1. Các biểu thị thành phần của hỗn hợp

Người ta phân biệt các hỗn hợp theo thành phần các chất hợp thành. Thành phần có thể biểu thị theo khối lượng, thể tích hoặc số Kilomol

### 2.1.1. Thành phần khối lượng của một chất khí

Là tỉ số giữa khối lượng của khí thành phần với tổng khối lượng của hỗn hợp:

$$g_i = \frac{G_i}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} = \frac{G_i}{G} \quad (1-12)$$

### 2.1.2. Thành phần thể tích và thành phần kilômol

Ta chứng minh được giá trị thành phần thể tích bằng thành phần kilômol.

Ta có: 
$$r_i = \frac{V_i}{V} = \frac{M_i}{M} \quad (1-13a)$$

**Trong đó:**

$V_i$  - Phần thể tích của chất khí thành phần là thể tích có được khi tách riêng khí đó mà vẫn giữ áp suất và nhiệt độ như của hỗn hợp.

$V = \sum_{i=1}^n V_i$  - Thể tích của hỗn hợp;

$M_i$ : Số Kilomol của chất khí thứ  $i$ ;

$M = \sum_{i=1}^n M_i$  - Tổng số kilômol của các chất khí trong hỗn hợp;

Ta chứng minh được đối với khí lý tưởng;

$$r_i = \frac{p_i}{p} \quad (1-13b)$$

$p_i$  - Phân áp suất của các chất khí thành phần thứ  $i$ .

$p$  - Áp suất của hỗn hợp.

Theo định luật Dalton (Đantôn) thì trong một hỗn hợp khí lý tưởng không có phản ứng hoá học với nhau thì áp suất của hỗn hợp bằng tổng phân áp suất của tất cả các chất khí thành phần.

Nghĩa là:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1-14)$$

## 2.2. Xác định các đại lượng tương đương của hỗn hợp

Kilômol của hỗn hợp  $\mu$  được xác định theo công thức:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot r_i \quad (1-15)$$

hoặc 
$$\mu = \frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i / \mu_i} \quad (1-16)$$

- Hằng số chất khí của hỗn hợp được xác định theo:

$$R = \frac{8314}{\mu} J / kg \cdot K$$

- Khi biết thành phần thể tích  $r_i$ :

$$\mu = \sum \mu_i r_i$$

- Khi biết thành phần khối lượng  $g_i$  ta cũng có thể tính theo:

$$R = \sum g_i R_i \quad (1-17)$$

### Ghi chú:

Có thể viết phương trình trạng thái riêng cho một chất khí thành phần theo các trường hợp sau:

Khi khí còn ở trạng thái hỗn hợp có áp suất  $p_i$ , thể tích  $V$ , nhiệt độ  $T$ :

$$p_i V = G_i R_i T \quad (1-18a)$$

Hoặc tách ra khỏi hỗn hợp với  $V_i$ , áp suất  $p$ , nhiệt độ  $T$ :

$$p V_i = G_i R_i T \quad (1-18b)$$

## 3. Phương trình trạng thái khí thực

Cho tới nay chưa tìm được phương trình trạng thái đúng cho mọi khí thực ở mọi giá trị  $p$  và  $t$ . Người ta chỉ tìm được bằng thực nghiệm và bằng lý thuyết phương trình trạng thái của từng khí thực, ví dụ  $H_2O$ ,  $NH_3$ ... Nhưng dạng của chúng rất phức tạp không tiện để cho tính toán. Vì vậy người ta đã tính sẵn và lập ra bảng số và đồ thị của các khí thực ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ...) để thuận tiện cho sử dụng.

## 4. Một số đồ thị dùng cho khí thực

### 4.1. Đồ thị

- Theo định luật pha, đối với môi chất đơn, một pha thì số thông số tối thiểu cần thiết để xác định một trạng thái là 2 thông số. Vì vậy, ta có thể dùng trục tọa độ do hai thông số độc lập tạo thành để xác định trạng thái của môi chất. Thường dùng đồ thị p-v, T-s, i-s hoặc lgp-i.vv... để biểu diễn hoặc tính toán trong kỹ thuật nhiệt. Trên các đồ thị đó, khi xác định được một trạng thái nhờ giao điểm của hai đường của hai thông số đã cho, ta có thể xác định tất cả các thông số còn lại như p, t, v, i, vv.... Đồ thị lgp-i của môi chất NH<sub>3</sub>, R12 cho ở bảng phần phụ lục.

### 4.2. Các bảng số

- Bảng hơi bão hoà:

Bảng 3: Nước và hơi nước bão hoà theo nhiệt độ.

Bảng 4: Nước và hơi nước bão hoà theo áp suất.

- Dùng bảng bão hoà chỉ cần biết một thông số là có thể xác định được trạng thái (vì ta đã biết trước một thông số là độ khô: x = chất lỏng sôi; x = 1 hơi khô), thường cho theo áp suất p hoặc nhiệt độ t.

Trong cả hai bảng thông số của chất lỏng bão hoà được ký hiệu v', i', s' và của hơi bão hoà khô được ký hiệu v'', i'', s'' (đối với nước xem ở bảng 3 và bảng 4 phần Phụ lục). Trong bảng tra theo p thì cho nhiệt độ bão hoà tương ứng và ngược lại trong bảng tra theo t thì có áp suất bão hoà tương ứng.

Giá trị nội năng không có trong bảng mà phải xác định theo:

$$i = u + p.v$$

$$u = i - p.v$$

Đối với hơi bão hoà ẩm, vẫn dùng bảng bão hoà nhưng phải biết thêm một thông số nữa, thường là độ khô x và lúc đó các thông số của hơi bão hoà ẩm tính theo:

$$i_x = xi'' + (1-x)i' = i' + x(i'' - i') \quad (1-19)$$

$$v_x = v' + x(v'' - v')$$

$$s_x = s' + x(s'' - s')$$

Từ đẳng thức ngược lại có thể tìm độ khô ví dụ:

$$x = \frac{i_x - i'}{i'' - i'} \quad (1-20)$$