



# **GIÁO TRÌNH MÔN HỌC** **NHIỆT KỸ THUẬT**

**TRÌNH ĐỘ CAO ĐẲNG**

**NGHỀ: VẬN HÀNH MÁY THI CÔNG NỀN**

**Ban hành theo Quyết định số 1955/QĐ-CDGTVT-TWI-ĐT ngày  
21/12/2017 của Hiệu trưởng Trường Cao đẳng GTVT Trung ương I**

**Hà Nội 2017**



BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI  
TRƯỜNG CAO ĐẲNG GIAO THÔNG VẬN TẢI TRUNG ƯƠNG I

# GIÁO TRÌNH

MÔN HỌC: NHIỆT KỸ THUẬT

NGHỀ: VẬN HÀNH MÁY THI CÔNG NỀN

TRÌNH ĐỘ: CAO ĐẲNG

Hà Nội – 2017

## MỞ ĐẦU

Hiện nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, và đặc biệt là trong tính toán thiết kế, chế tạo hệ thống điều hòa không khí trên ô tô và giải thích quá trình cháy xảy ra trong buồng đốt của động cơ, đối với người thợ sửa chữa ô tô, ngoài việc sau khi ra trường cần nắm chắc những kiến thức về chuyên môn, sinh viên cần trang bị cho mình một số kiến thức chung về nhiệt động kỹ thuật. Kỹ thuật nhiệt là một môn học đáp ứng được một phần của yêu cầu đó. Trong môn học này sẽ trang bị cho sinh viên một số kiến thức cơ bản về nhiệt động học, giúp sinh viên hiểu được bản chất của các quá trình nhiệt động trên lý thuyết cũng như trong thực tế, đặc biệt là đối với động cơ đốt trong, giải thích được các quá trình trong một chu trình làm việc của động cơ đốt trong, nguyên lý làm việc của hệ thống điều hòa trên ô tô, một trong những kiến thức và kỹ năng rất quan trọng của người thợ sửa chữa.

Nội dung của giáo trình biên soạn được dựa trên sự kế thừa nhiều tài liệu của các trường đại học và cao đẳng, kết hợp với yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo cho sinh viên các trường dạy nghề trong cả nước. Để giúp cho sinh viên có thể nắm được những kiến thức cơ bản nhất của môn Kỹ thuật nhiệt, nhóm biên soạn đã sắp xếp môn học thành từng chương theo thứ tự:

Chương 1. Khái niệm và các thông số cơ bản.

Chương 2. Môi chất và sự truyền nhiệt.

Chương 3. Các quá trình nhiệt động của môi chất.

Chương 4. Chu trình nhiệt động của động cơ nhiệt.

Kiến thức trong giáo trình được biên soạn theo chương trình dạy nghề đã được Tổng cục Dạy nghề phê duyệt, sắp xếp logic và cô đọng. Sau mỗi bài học đều có các bài tập đi kèm để sinh viên có thể nâng cao tính thực hành của môn học. Do đó, người đọc có thể hiểu một cách dễ dàng các nội dung trong chương trình.

Mặc dù đã rất cố gắng nhưng chắc chắn không tránh khỏi sai sót, tác giả rất mong nhận được ý kiến đóng góp của người đọc để lần xuất bản sau giáo trình được hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn!

**MỤC LỤC**

| <b>TT</b> | <b>Nội dung</b>                                  | <b>Trang</b> |
|-----------|--------------------------------------------------|--------------|
| 1         | Chương 1: Các khái niệm và các thông số cơ bản   | 6            |
| 2         | Chương 2: Môi chất và sự truyền nhiệt            | 15           |
| 3         | Chương 3: Các quá trình nhiệt động của môi chất  | 26           |
| 4         | Chương 4: Chu trình nhiệt động của động cơ nhiệt | 45           |
| 5         | Tài liệu tham khảo                               | 63           |

## CHƯƠNG 1

### KHÁI NIỆM VÀ CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN.

#### **Giới thiệu**

Đối tượng nghiên cứu của Kỹ thuật nhiệt gồm hai phần là Nhiệt động kỹ thuật và Truyền nhiệt. Để nghiên cứu và giải thích được các hiện tượng về nhiệt cần có các khái niệm và các thông số đặc trưng cho môi chất. Trong nội dung chương này, chúng ta sẽ cùng tìm hiểu khái niệm, các thông số cơ bản, cách nhận dạng và phân biệt giữa thông số và trạng thái. Các định luật và phương trình nhiệt động cũng được đề cập đến.

#### **Mục tiêu:**

- Trình bày được các khái niệm và thông số cơ bản của quá trình nhiệt động.
- Giải thích được ý nghĩa của các khái niệm và các thông số cơ bản.
- Tuân thủ đúng quy định, quy phạm về lĩnh vực nhiệt kỹ thuật.

#### **Nội dung chính:**

#### **1.1. CÁC KHÁI NIỆM VÀ CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN.**

##### **Mục tiêu:**

- Trình bày được các khái niệm và thông số cơ bản của quá trình nhiệt động.
- Trong phạm vi của chương trình môn học Kỹ thuật nhiệt, chúng ta sẽ nghiên cứu một số khái niệm cơ bản sau đây.

##### **1.1.1. Các khái niệm**

##### **a. Nguồn nhiệt:**

Là những vật trao đổi nhiệt với môi chất; nguồn nhiệt có nhiệt độ cao hơn gọi là nguồn nóng, nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp hơn gọi là nguồn lạnh..**1.2 Môi chất:** là những chất mà thiết bị dùng để truyền tải và chuyển hóa nhiệt năng với các dạng năng lượng khác. Môi chất có thể là vật chất ở bất cứ pha nào, nhưng thường dùng pha hơi (khí) vì nó có khả năng co giãn rất lớn. Môi chất có thể là đơn chất hoặc hỗn hợp.

##### **b. Trạng thái:**

Là một tập hợp các thông số xác định tính chất vật lý của môi chất hay hệ ở một thời điểm nào đó. Các đại lượng vật lý đó được gọi là thông số trạng thái.

##### **c. Thông số trạng thái:**

Là một đại lượng vật lý có một giá trị duy nhất ở một trạng thái. Thông số trạng thái là một hàm đơn trị của trạng thái. Nghĩa là độ biến thiên của thông số trạng thái trong quá trình chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối quá trình mà không phụ thuộc vào quá trình (đường đi) đạt đến trạng thái đó.

##### **d. Máy nhiệt:**

Là hệ thống thiết bị thực hiện sự chuyển hoá giữa nhiệt và công nói chung.

##### **e. Động cơ nhiệt:**

Là các loại máy nhiệt tiêu thụ một nhiệt lượng nào đó để sản sinh cho chúng ta một cơ năng tương ứng.

VD: ô tô, xe máy, nhà máy nhiệt điện v.v.

**f. Máy lạnh:**

Là loại máy nhiệt sử dụng nhiệt lượng lấy được để làm lạnh một vật nào đó.

VD: tủ lạnh, điều hoà nhiệt độ v.v. là loại máy lạnh.

**g. Bơm nhiệt:**

Là loại máy nhiệt sử dụng nhiệt lượng toả ra nguồn nóng để đốt nóng hoặc sấy, sưởi một vật nào đó.

VD: tủ lạnh “hai chiều”: mùa hè làm việc theo chế độ máy lạnh, mùa đông làm việc theo chế độ bơm nhiệt.

**h. Quá trình nhiệt động:**

Là quá trình biến đổi một chuỗi liên tiếp các trạng thái của hệ do có sự trao đổi nhiệt và công với môi trường.

**j. Nước sôi (nước bão hoà):**

Là nước khi bắt đầu quá trình hóa hơi hoặc kết thúc ngưng tụ; cũng là phần nước cùng tồn tại với hơi.

**k. Hơi bão hòa khô:**

Là hơi ở trạng thái bắt đầu ngưng tụ hoặc khi vừa hóa hơi xong, mà cũng là phần hơi khi hai pha hơi và nước (hoặc là hơi và rắn) cùng tồn tại.

**l. Hơi bão hòa ẩm:**

Là hỗn hợp giữa hơi bão hòa khô và nước bão hòa (nước sôi).

**n. Nước chưa sôi:**

Là nước có nhiệt độ nhỏ hơn nhiệt độ bão hòa ở cùng áp suất hoặc là nước có áp suất lớn hơn áp suất bão hòa ở cùng nhiệt độ.

**m. Hơi quá nhiệt:**

Là hơi có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ bão hòa ở cùng áp suất hoặc là hơi có áp suất nhỏ hơn áp suất bão hòa ở cùng nhiệt độ.

**i. Công:**

Là đại lượng đặc trưng cho sự trao đổi năng lượng giữa môi chất với môi trường khi có chuyển động vĩ mô. Khi thực hiện một quá trình, nếu có sự thay đổi áp suất, thay đổi thể tích hoặc dịch chuyển trọng tâm khối môi chất thì một phần năng lượng nhiệt sẽ được chuyển hoá thành cơ năng. Lượng chuyển biến đó chính là công của quá trình.

Ký hiệu là:  $l$  nếu tính cho 1 kg, đơn vị đo là J/kg.

$L$  nếu tính cho  $G$  kg, đơn vị đo là J.

Qui ước: Nếu  $l > 0$  ta nói vật sinh công.

Nếu  $l < 0$  ta nói vật nhận công.

Công không thể chứa trong một vật bất kỳ nào, mà nó chỉ xuất hiện khi có quá trình thay đổi trạng thái kèm theo chuyển động của vật.

Về mặt cơ học, công có trị số bằng tích giữa lực tác dụng với độ dời theo hướng của lực. Trong nhiệt kỹ thuật thường gặp các loại công sau: công thay đổi thể tích; công lưu động (công thay đổi vị trí); công kỹ thuật (công thay đổi áp suất) và công ngoài.

Trong nhiệt động kỹ thuật tồn tại các loại công sau: công thay đổi thể tích  $l$  (J/kg), công lưu động (thay đổi vị trí) công kỹ thuật  $l_{kt}$  (J/kg) và công ngoài  $l_n$  (J/kg).

\* *Công thay đổi thể tích  $l$  (J/kg)*: là công do thể tích của hệ thay đổi mà có. Công này có cả trong hệ kín và hệ hở. Khi môi chất giãn nở,  $v_2 > v_1$  hệ sinh một công, theo quy ước, đây là công dương. Ngược lại, khi môi chất bị nén,  $v_2 < v_1$  thì hệ nhận từ môi trường một công, theo quy ước, công này là công âm. Công thay đổi thể tích là một hàm của quá trình.

Với 1kg môi chất, khi tiến hành một quá trình ở áp suất  $p$ , thể tích thay đổi một lượng  $dv$ , thì môi chất thực hiện một công thay đổi thể tích là:

$$dl = p \cdot dv \quad (1-1)$$

Khi tiến hành quá trình, thể tích thay đổi từ  $v_1$  đến  $v_2$  thì công thay đổi thể tích được tính là:

$$l = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv \quad (1-2)$$

Từ công thức (1-1) ta thấy  $dl$  và  $dv$  cùng dấu. Khi  $dv > 0$  thì  $dl > 0$ , nghĩa là khi xảy ra quá trình mà thể tích tăng thì công có giá trị dương, ta nói môi chất sinh công (công do môi chất thực hiện).

Khi  $dv < 0$  thì  $dl < 0$ , nghĩa là khi xảy ra quá trình mà thể tích giảm thì công có giá trị âm, ta nói môi chất nhận công (công do môi trường thực hiện). Công thay đổi thể tích không phải là thông số trạng thái, được biểu diễn trên đồ thị  $p-v$ .

\* *Công kỹ thuật  $l_{kt}$  (J/kg)*: là công của dòng môi chất chuyển động thực hiện khi áp suất thay đổi. Do đó, công kỹ thuật chỉ có trong hệ hở. Môi chất sinh ra công này thông qua một thiết bị như tua- bin hay máy nén nên gọi là công kỹ thuật. Từ định nghĩa có thể thấy, khi dòng môi chất có áp suất giảm, công kỹ thuật sẽ lấy giá trị dương và ngược lại, nếu áp suất tăng công kỹ thuật sẽ âm. Công kỹ thuật cũng là một hàm của quá trình.

$$dl_{kt} = -v dp \quad (1-3)$$

Nếu quá trình được tiến hành từ áp suất  $p_1$  đến áp suất  $p_2$  thì công kỹ thuật được tính là:

$$l_{kt} = - \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp \quad (1-4)$$

Từ công thức (1-4) ta thấy  $dl_{kt}$  và  $dp$  ngược dấu nên khi  $dp < 0$  thì  $dl_{kt} > 0$ , nghĩa là áp suất  $p$  giảm thì công kỹ thuật dương, ta nói môi chất sinh công và ngược lại.

\* *Công ngoài  $l_n$  (J/kg)* còn gọi là ngoại công: là công trao đổi giữa hệ và môi trường trong quá trình nhiệt động. Đây chính là công hữu ích chúng ta nhận được hoặc công chúng ta tiêu tốn cho hệ. Để có công trao đổi với môi trường hệ phải thay đổi thể tích, hoặc thay đổi năng lượng đẩy, hoặc thay đổi động năng, hoặc thay đổi cả ba dạng năng lượng đó:

$$dl_n = dl - dl_{id} - d( \quad ) - gdh \quad (1-5)$$

Vì trong hệ kín, trọng tâm khối khí không dịch chuyển do đó không có lực đẩy, không có ngoại động năng nên công ngoài trong hệ kín bằng chính công thay đổi thể

tích. Nói cách khác, chỉ có thể nhận được công trong hệ kín khi cho môi chất giãn nở hay:

$$dl_n = dl = pdv \quad (1-6)$$

Đối với hệ hở, môi chất cần tiêu hao công để thay đổi vị trí gọi là công lưu động hay lực đẩy ( $dl_n = d(pv)$ ), khi đó công ngoài bằng:

$$dl_n = dl - d(pv) - d(\quad) - gdh \quad (1-7a)$$

hay có thể viết:

$$dl_n = dl - pdv - vdp - d(\quad) - gdh = dl_{kt} - d(\quad) - gdh \quad (1-7b)$$

Trong thực tế, lượng biến đổi động năng và thế năng ngoài là rất nhỏ so với công kỹ thuật do đó có thể bỏ qua, từ (1-7b) ta có:

$$dl_n = dl_{kt} \quad (1-8)$$

Từ (1-8) ta thấy công kỹ thuật tính gần đúng là công có ích nhận được từ dòng môi chất (hệ hở) thông qua một thiết bị kỹ thuật (tua- bin):

Đối với một quá trình thì:

$$dl_n = dl_{kt} \neq dl \quad (1-8a)$$

Đối với một chu trình, vì  $dl_{ld} = 0$  nên:

$$dl_n = dl_{kt} = dl \quad (1-8b)$$

## 1.1.2. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN.

### Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm các thông số cơ bản của quá trình nhiệt động.
- Giải thích được ý nghĩa của các thông số cơ bản.

#### 1.1.2.1. Thể tích riêng $v$ ( $m^3/kg$ ):

Thể tích riêng  $v$  là thể tích của 1kg môi chất. Do đó, nếu gọi  $V$  ( $m^3$ ) là thể tích của  $G$  (kg) môi chất thì thể tích riêng  $v$  được xác định bởi tỷ số: (1-9)

Đại lượng nghịch đảo của thể tích riêng gọi là khối lượng riêng:

$$\rho = \quad (1-10)$$

#### 1.1.2.2. Áp suất $p$ ( $N/m^2$ ):

Là áp lực của các phần tử môi chất tác dụng tác dụng lên một đơn vị diện tích thành bình theo phương pháp tuyến.

#### 1.1.2.3. Nhiệt độ $T$ (K):

Theo thuyết động học phân tử nhiệt độ là thông số xác định động năng của các phân tử, hay nói đơn giản nhiệt độ là thông số trạng thái xác định mức độ nóng hay lạnh của vật. Nhiệt độ được đo bằng nhiệt độ tuyệt đối hay nhiệt độ Kelvin, kí hiệu là  $T$  (K) hoặc nhiệt độ Celcius hay nhiệt độ bách phân, kí hiệu là  $t^{\circ}C$ .

Quan hệ giữa nhiệt độ Kelvin và nhiệt độ Celcius:

$$t^{\circ}C = T(K) - 273 \quad (1-11)$$

#### 1.1.2.4. Entropy $s$ (J/kg):

Entropy là một thông số trạng thái được phát hiện nhờ toán học.

Khi nghiên cứu chu trình nhiệt động Clausius thấy rằng, nếu gọi  $dq$  (J/kg) là mật độ dòng nhiệt vô cùng nhỏ tham gia trong quá trình có nhiệt độ tuyệt đối  $T$  (K) nào đó thì tích phân vòng của tỷ số  $dq/T$  cũng bằng không:

$$\oint \frac{dq}{T} \quad (1-12)$$

Clausius cho rằng tỷ số  $dq/T$  đóng vai trò là một thông số trạng thái. Ông gọi đó là entropy và kí hiệu là  $s$  (J/kgK). Như vậy:

$$ds \quad (1-13)$$

Chú ý rằng nhiệt lượng  $q$  hay vi phân của nó  $dq$  là một hàm số của quá trình nhưng tỷ số của nó với nhiệt độ tuyệt đối  $dq/T$  lại là vi phân toàn phần của hàm số.

## 1.2. HỆ NHIỆT ĐỘNG VÀ CÁC THÔNG SỐ TRẠNG THÁI.

### Mục tiêu:

- Trình bày được khái niệm và phân biệt được các hệ nhiệt động.

**1.2.1 Hệ nhiệt động**(hệ thống nhiệt): là tập hợp những đối tượng được tách ra để nghiên cứu các hiện tượng về nhiệt, phần còn lại gọi là *môi trường*.

Gồm có 4 loại: hệ kín, hệ hở, hệ đoạn nhiệt và hệ cô lập.

#### a. Hệ kín và hệ hở:

Hệ nhiệt động kín, gọi tắt là hệ kín có 3 tính chất cơ bản sau đây:

- Trọng tâm của hệ không chuyển động (chuyển động vĩ mô) hay chuyển động với vận tốc không đáng kể để động năng của nó có thể bỏ qua.
- Khối lượng của môi chất trong hệ kín không đổi.
- Môi chất không đi qua ranh giới giữa hệ và môi trường.

Ngược với hệ kín là hệ hở. Hệ hở là hệ mà một hoặc cả ba tính chất trên đây không được thoả mãn. Trong hệ hở, trọng tâm của hệ chuyển động với một vận tốc nào đó nên trong hệ cân bằng của hệ hở luôn luôn có động năng.

Dựa vào định nghĩa trên đây có thể thấy nếu xem tủ lạnh gia đình gồm máy nén, giàn nóng, van tiết lưu và giàn lạnh là một hệ nhiệt động thì tủ lạnh là một hệ kín. Ngược lại, nếu chúng ta tách riêng máy nén ra và xem nó là một hệ nhiệt động thì máy nén là một hệ hở vì môi chất đi vào và đi ra khỏi máy nén, nghĩa là môi chất đi qua ranh giới giữa hệ và môi trường. Tương tự như vậy, nếu xem nhà máy nhiệt điện gồm lò hơi, bộ quá nhiệt, tua bin, bình ngưng và bơm nước là một hệ thì nhà máy nhiệt điện là một hệ kín. Trong khi đó, nếu xem riêng tua- bin hoặc tua- bin và bình ngưng là những hệ nhiệt động thì chúng là những hệ hở.

**b. Hệ đoạn nhiệt và hệ cô lập:** hệ đoạn nhiệt là hệ không tham gia trao đổi nhiệt lượng với môi trường, có thể có sự trao đổi công. Hệ cô lập là hệ không tham gia trao đổi cả nhiệt và công với môi trường. Tất nhiên trong thực tế không có hệ đoạn nhiệt và hệ cô lập tuyệt đối mà chỉ có các hệ đoạn nhiệt và cô lập gần đúng.

Vì vậy, khái niệm *hệ nhiệt động* mang tính tương đối, phụ thuộc vào quan điểm của người khảo sát.

### 1.2.2 Các thông số trạng thái.

Ngoài 4 thông số cơ bản (cũng là 4 thông số trạng thái) nêu ở mục 1.1.2, trạng thái của một môi chất còn được xác định bởi các thông số trạng thái sau:

**1.2.2.1 Nội năng  $u$  (J/kg):** nội năng là năng lượng bên trong của hệ. Nội năng gồm nội động năng và nội thế năng. Nội động năng do chuyển động của các nguyên tử, phân tử sinh ra nên nó là một hàm đơn trị của nhiệt độ. còn nội thế năng do lực tương tác giữa các nguyên tử, phân tử quyết định do đó phụ thuộc vào thể tích riêng hay áp suất. Nói chung, nội năng là một hàm của nhiệt độ và thể tích riêng hoặc là một hàm của nhiệt độ và áp suất.

$$u = u_1(T, v) = u_2(T, p) \quad (1-14)$$

**1.2.2.2 Năng lượng đẩy  $d$  (J/kg):** một dòng môi chất (khí hoặc lỏng) chuyển động có thể có các năng lượng sau: động năng, thế năng và năng lượng đẩy giúp dòng môi chất chuyển động. Năng lượng đẩy của một 1 kg môi chất bằng:  $d = pv$

Vì  $p$  và  $v$  là các thông số trạng thái nên năng lượng đẩy cũng là một thông số trạng thái. *Năng lượng đẩy chỉ có trong hệ hở*, còn trong hệ kín trọng tâm của hệ không chuyển động nên năng lượng đẩy  $d = 0$ .

**1.2.2.3 Entanpy  $i$  (J/kg):** trong tính toán sự chuyển hóa giữa nhiệt và công ta thường gặp tổ hợp  $(u + pv)$  hay  $(u + d)$ . Vì  $u$  và  $pv$  hoặc  $u$  và  $d$  đều là các thông số trạng thái nên tổ hợp này cũng là một thông số trạng thái và được gọi là Entanpy  $i$ :

$$\text{N như vậy:} \quad i = u + pv = u + d. \quad (1-15)$$

### 1.2.2.4 Execgy $e$ (J/kg):

Kinh nghiệm cho thấy rằng trong quá trình thuận nghịch, các dạng năng lượng như cơ năng, điện năng v.v. có thể biến đổi hoàn toàn thành công nhưng nhiệt năng thì chỉ có một phần có thể biến thành công. *Phần nhiệt năng tối đa có thể chuyển hoá thành công trong quá trình thuận nghịch gọi là execfy  $e$  (J/kg)*. Phần nhiệt năng không thể biến thành công gọi là anergy  $a$  (J/kg). Execgy  $e$  và anergy  $a$  phụ thuộc vào môi trường xung quanh. Như vậy, nếu gọi  $q$  là nhiệt lượng thì:

$$q = e + a \quad (1-16)$$

Có thể tính execgy  $e$  theo biểu thức:

$$e = (i - i_0) - T_0(s - s_0) \quad (1-17)$$

Trong đó:  $i$ ,  $s$  tương ứng là entanpy và entropy của trạng thái cần xác định execgy;  $T_0$ ,  $i_0$ ,  $s_0$  tương ứng là nhiệt độ tuyệt đối, entanpy và entropy của môi trường.

## 1.3. PHƯƠNG TRÌNH NHIỆT ĐỘNG.

### Mục tiêu:

- Phát biểu được các định luật nhiệt động.

### 1.3.1 Phương trình nhiệt động I:

Định luật nhiệt động I là định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng viết cho các quá trình nhiệt động. Theo định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng thì năng lượng toàn phần của một vật hay một hệ ở cuối quá trình luôn luôn bằng tổng đại số năng

lượng toàn phần ở đầu quá trình và toàn bộ năng lượng nhận vào hay nhả ra trong quá trình đó.

Trong các quá trình nhiệt động, khi không xảy ra các phản ứng hoá học và phản ứng hạt nhân, nghĩa là năng lượng hoá học và năng lượng hạt nhân không thay đổi, khi đó năng lượng toàn phần của vật chất thay đổi chính là do thay đổi nội năng  $U$ , trao đổi nhiệt và công với môi trường.

Xét 1kg môi chất, khi cấp vào một lượng nhiệt  $dq$  thì nhiệt độ thay đổi một lượng  $dT$  và thể tích riêng thay đổi một lượng  $dv$ . Khi nhiệt độ  $T$  thay đổi chúng tỏ nội động năng thay đổi; khi thể tích  $v$  thay đổi chúng tỏ nội thế năng thay đổi và môi chất thực hiện một công thay đổi thể tích. Như vậy khi cấp vào một lượng nhiệt  $dq$  thì nội năng thay đổi một lượng là  $du$  và trao đổi một công là  $dl$ .

**Định luật nhiệt động I:** nhiệt lượng cấp vào cho hệ một phần dùng để thay đổi nội năng, một phần dùng để sinh công.

Nghĩa là: giữa nhiệt năng và các dạng năng lượng khác có thể biến hóa lẫn nhau và khi một lượng nhiệt năng xác định bị tiêu hao sẽ được một lượng xác định năng lượng khác tương ứng, còn tổng năng lượng hoặc năng lượng toàn phần của môi chất không thay đổi. Vì vậy, định luật nhiệt động I cho phép ta viết phương trình cân bằng năng lượng cho một quá trình nhiệt động.

Định luật nhiệt động I có thể được viết dưới nhiều dạng khác nhau như sau:

$$\text{Trường hợp tổng quát: } dq = du + dl \quad (1-18)$$

$$\text{Đối với 1 kg môi chất: } \Delta q = \Delta u + l \quad (1-18a)$$

$$\text{Đối với G kg môi chất: } \Delta Q = \Delta U + L \quad (1-18b)$$

Mặt khác theo định nghĩa entanpi, ta có:  $i = u + pv$ .

Lấy đạo hàm ta được:  $di = du + d(pv)$  hay  $du = di - pdv - vdp$ ; thay vào (1-18) và  $dl = pdv$  (1-1) ta có dạng khác của biểu thức định luật nhiệt động I như sau:

$$dq = di - pdv - vdp + pdv \Rightarrow dq = di - vdp \quad (1-19)$$

$$\text{Hay: } dq = di + dl_{kt} \quad (1-20)$$

Đối với khí lý tưởng ta luôn có:  $du = C_v dT$ ;  $di = C_p dT$

thay giá trị của  $du$  và  $di$  vào (1-18) và (1-19) ta có dạng khác của biểu thức định luật nhiệt động I :

$$dq = C_v dT + pdv \quad (1-21)$$

$$dq = C_p dT - vdp \quad (1-22)$$

$$\text{đối với hệ hở: } dl_{kt} = dl_n + d(\quad) + gdh \quad (1-23)$$

### 1.3.2 Phương trình nhiệt động II:

Định luật nhiệt động I chính là định luật bảo toàn và biến hoá năng lượng viết cho các quá trình nhiệt động, nó cho phép tính toán cân bằng năng lượng trong các quá trình nhiệt động, xác định lượng nhiệt có thể chuyển hoá thành công hoặc công chuyển hoá thành nhiệt. Tuy nhiên nó không cho ta biết trong điều kiện nào thì nhiệt có thể biến đổi thành công và liệu toàn bộ nhiệt có thể biến đổi hoàn toàn thành công không.

Định luật nhiệt động II cho phép ta xác định trong điều kiện nào thì quá trình sẽ xảy ra, chiều hướng xảy ra và mức độ chuyển hoá năng lượng của quá trình. Định luật nhiệt động II là tiền đề để xây dựng lý thuyết động cơ nhiệt và thiết bị nhiệt.

Theo định luật nhiệt động II thì mọi quá trình tự phát trong tự nhiên đều xảy ra theo một hướng nhất định. Ví dụ nhiệt năng chỉ có thể truyền từ vật có nhiệt độ cao đến vật có nhiệt độ thấp hơn. Nếu muốn quá trình xảy ra ngược lại thì phải tiêu tốn năng lượng, ví dụ muốn tăng áp suất thì phải tiêu tốn công nén hoặc phải cấp nhiệt vào; muốn lấy nhiệt từ vật có nhiệt độ thấp hơn thải ra môi trường xung quanh có nhiệt độ cao hơn (như ở máy lạnh) thì phải tiêu tốn một năng lượng nhất định (tiêu tốn một điện năng chạy động cơ, kéo máy nén).

**Định luật nhiệt động II:** có hai cách phát biểu.

Cách thứ nhất do Thomson-Planck phát biểu: không thể có động cơ nhiệt có khả năng biến toàn bộ nhiệt lượng cấp cho nó thành công mà không mất một phần nhiệt lượng truyền cho các vật khác.

Biểu thức:  $q_1 - |q_2| = l$  (1-24)

Trong đó:  $q_1$ - lượng nhiệt nguồn nóng.

$q_2$ - lượng nhiệt nguồn lạnh.

$l$  - công sinh ra.

Cách thứ hai do Các - nôt-clausius phát biểu: nhiệt lượng tự nó chỉ có thể truyền từ nơi có nhiệt độ cao tới nơi có nhiệt độ thấp. Muốn truyền ngược lại phải tiêu tốn thêm một năng lượng.

Biểu thức:  $|q_1| = q_2 - |l|$  (1-25)

#### 1.4. NHẬN DẠNG VÀ PHÂN BIỆT CÁC THÔNG SỐ VÀ TRẠNG THÁI.

**Mục tiêu:**

- Nhận dạng, phân biệt được các thông số và trạng thái.

##### 1.4.1 Nhận dạng thông số trạng thái.

- Thông số trạng thái có vi phân toàn phần.

- Thông số trạng thái là hàm đơn trị của trạng thái, lượng biến thiên thông số trạng thái chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của quá trình mà không phụ thuộc vào đường đi của quá trình.

Nhiệt lượng và công trao đổi trong một quá trình chỉ phụ thuộc vào đường đi của quá trình nên không phải là thông số trạng thái, chúng là hàm của quá trình.

Trong nhiệt động, thường dùng 3 thông số trạng thái có thể đo được trực tiếp là nhiệt độ  $T$ , áp suất  $p$  và thể tích riêng  $v$  (hoặc khối lượng riêng  $\rho$ ), còn gọi là các thông số trạng thái cơ bản. Ngoài ra, trong tính toán người ta còn dùng các thông số trạng thái khác như: nội năng  $U$ , entanpi  $E$  và entropi  $S$ , các thông số này không đo được trực tiếp mà được tính toán qua các thông số trạng thái cơ bản.

### 1.4.2 Nhận dạng trạng thái.

Trạng thái là một tập hợp các thông số xác định tính chất vật lý của môi chất hay của hệ ở một thời điểm nào đó. Các đại lượng vật lý đó được gọi là thông số trạng thái.

Trạng thái cân bằng của hệ đơn chất, một pha được xác định khi biết hai thông số trạng thái độc lập. Trên đồ thị trạng thái, trạng thái được biểu diễn bằng một điểm.

Khi thông số trạng thái tại mọi điểm trong toàn bộ thể tích của hệ có trị số đồng nhất và không thay đổi theo thời gian, ta nói hệ ở trạng thái cân bằng. Ngược lại khi không có sự đồng nhất này nghĩa là hệ ở trạng thái không cân bằng. Chỉ có trạng thái cân bằng mới biểu diễn được trên đồ thị bằng một điểm nào đó, còn trạng thái không cân bằng thì thông số trạng thái tại các điểm khác nhau sẽ khác nhau, do đó không biểu diễn được trên đồ thị. Trong giáo trình này ta chỉ nghiên cứu các trạng thái cân bằng.

Khi hệ *cân bằng ở một trạng thái* nào đó thì các *thông số trạng thái* sẽ có *giá trị xác định*. Khi môi chất hoặc hệ trao đổi nhiệt hoặc công với môi trường thì sẽ xảy ra sự *thay đổi trạng thái* và sẽ có *ít nhất một thông số trạng thái thay đổi*.

## CHƯƠNG 2

### MÔI CHẤT VÀ SỰ TRUYỀN NHIỆT.

#### **Giới thiệu**

Gắn kết với các quá trình chuyển hóa năng lượng giữa nhiệt và công là hiện tượng truyền nhiệt lượng trong một vật hoặc từ vật này sang vật khác trong các thiết bị truyền nhiệt. Vì vậy, trong nội dung của chương 2 này, chúng ta sẽ nghiên cứu các qui luật truyền nhiệt lượng.

#### **Mục tiêu:**

- Trình bày được khái niệm khí lý tưởng và khí thực.
- Giải thích được sự khác nhau giữa khí lý tưởng và khí thực.
- Tuân thủ đúng quy định, quy phạm về lĩnh vực nhiệt kỹ thuật.

#### **Nội dung chính:**

### **2.1. KHÁI NIỆM KHÍ LÝ TƯỞNG VÀ KHÍ THỰC.**

#### **Mục tiêu:**

- Trình bày được khái niệm khí lý tưởng và khí thực.
- Giải thích được sự khác nhau giữa khí lý tưởng và khí thực.

#### **2.1.1 Khái niệm khí lý tưởng:**

Khí lý tưởng là khí mà kích thước của các phân tử tạo thành khí đó vô cùng bé (có thể bỏ qua) và lực tương tác giữa các phân tử không đáng kể (coi như bằng 0). Trong thực tế không có khí lý tưởng.

Trong kỹ thuật, ở điều kiện nhiệt độ và áp suất bình thường có thể coi các chất như Hydro, Ôxy, Nitơ, không khí, v.v. là khí lý tưởng.

Tóm lại, khí lý tưởng là khí không có thể tích bản thân phân tử, không có lực tương tác giữa các phân tử và không có biến pha.

*Hỗn hợp khí lý tưởng* là hỗn hợp cơ học của hai hoặc nhiều chất khí lý tưởng khi không xảy ra phản ứng hóa học giữa các chất khí thành phần. Ví dụ: không khí có thể được xem như là hỗn hợp khí lý tưởng với các chất khí thành phần gồm nitơ ( $N_2$ ), oxy ( $O_2$ ), dioxyt carbon ( $CO_2$ ), v.v. Hỗn hợp khí được sử dụng có thể có tỷ lệ các chất khí thành phần rất khác nhau nên việc xây dựng các bảng hoặc đồ thị cho chúng là không thực tế. Bởi vậy, người ta nghiên cứu phương pháp xác định các thông số nhiệt động và tính toán với hỗn hợp khí lý tưởng.

Khí được gọi là khí lý tưởng thì các hạt tạo thành khí đó phải tuân theo lý thuyết trong vật lý cổ điển và vật lý lượng tử, vì vậy có ba loại khí lý tưởng:

*a. Khí lý tưởng cổ điển:* tuân thủ thống kê Maxwell-Boltzmann.

Khí lý tưởng cổ điển có thể lại được chia làm hai loại: loại thứ nhất thuần túy cổ điển và entropy của chúng có thể cộng với một hằng số vô định; loại thứ hai là giới hạn ở nhiệt độ cao của hai loại khí lý tưởng lượng tử, và hằng số cộng thêm vào entropy được xác định.

*b. Khí lý tưởng lượng tử:* tuân thủ thống kê Bose (đặt tên theo nhà vật lý người Ấn Độ Satyendra Nath Bose).

Các hạt boson có spin nguyên, chúng có thể nằm cùng một trạng thái lượng tử và không tuân theo nguyên lý Wolfgang Pauly.

*c. Khí lý tưởng lượng tử:* tuân thủ thống kê Fermi.

Fermion là những hạt có spin bán nguyên và tuân thủ theo nguyên lý loại trừ của Wolfgang Pauly, nguyên lý cho rằng không có hai fermion nào có cùng trạng thái lượng tử với nhau.

Khái quát hóa, fermion là những hạt vật chất còn boson là những hạt truyền tương tác.

Trong đó, *Spin* là một đại lượng vật lý, có bản chất của mô men động lượng và là một khái niệm thuần túy lượng tử, không có sự tương ứng trong cơ học cổ điển. Trong cơ học cổ điển, mô men xung lượng được biểu diễn bằng công thức  $L = r \times p$ , còn mô men spin trong cơ học lượng tử vẫn tồn tại ở một hạt có khối lượng bằng 0, vì spin là bản chất nội tại của hạt đó.

Các hạt cơ bản như electron, quark đều có spin bằng  $\frac{1}{2}$  (gọi tắt là 1/2), ngay cả khi nó được coi là chất điểm và không có cấu trúc nội tại.

Khái niệm spin được Ralph Kronig đồng thời và độc lập với ông, là George Unlenbeck, Samuel Goudsmit đưa ra lần đầu vào năm 1925.

**2.1.2 Khái niệm khí thực:** khí thực là khí mà thể tích bản thân các phân tử khác không và tồn tại lực tương tác giữa các phân tử.

Các loại khí trong tự nhiên là khí thực, chúng được tạo nên từ các phân tử, mỗi phân tử chất khí đều có kích thước và khối lượng nhất định, các phân tử trong chất khí tương tác với nhau.

## **2.2. KHÁI NIỆM, PHÂN LOẠI SỰ TRUYỀN NHIỆT.**

### **Mục tiêu:**

- Trình bày được khái niệm và phân loại được sự truyền nhiệt.
- Giải thích được quá trình truyền nhiệt giữa các vật.

### **2.2.1 Khái niệm sự truyền nhiệt.**

Truyền nhiệt là quá trình trao đổi nhiệt giữa các vật hoặc các phân tử của vật có nhiệt độ khác nhau.

### **2.2.2 Phân loại sự truyền nhiệt:**

Có ba hình thức truyền nhiệt riêng rẽ là: dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ; được phân biệt theo phương thức truyền động năng giữa các phân tử thuộc hai vật.

#### *a. Dẫn nhiệt:*

Dẫn nhiệt là quá trình truyền nhiệt năng khi các vật hoặc các phân tử của vật có nhiệt độ khác nhau *tiếp xúc trực tiếp* với nhau.

Dẫn nhiệt xảy ra khi có sự chênh lệch nhiệt độ giữa các phần của một vật hoặc giữa hai vật tiếp xúc nhau. Dẫn nhiệt thuần túy xảy ra trong hệ gồm các vật rắn có sự tiếp xúc trực tiếp.

#### *b. Trao đổi nhiệt đối lưu (tỏa nhiệt):*

Trao đổi nhiệt đối lưu là quá trình trao đổi nhiệt xảy ra khi có sự dịch chuyển khối chất lỏng hoặc chất khí trong không gian từ vùng có nhiệt độ này đến vùng có nhiệt độ khác.

Tỏa nhiệt là hiện tượng các phân tử trên bề mặt vật rắn va chạm vào các phân tử chuyển động có hướng của một chất lỏng tiếp xúc với nó để trao đổi động năng. Tỏa nhiệt xảy ra tại vùng chất lỏng hoặc khí tiếp xúc với mặt vật rắn, là sự kết hợp giữa dẫn nhiệt và đối lưu trong lớp chất lỏng gần bề mặt tiếp xúc.

Tùy theo nguyên nhân gây chuyển động chất lỏng, tỏa nhiệt được phân ra 2 loại:

- Tỏa nhiệt tự nhiên là hiện tượng dẫn nhiệt vào chất lỏng chuyển động tự nhiên, luôn xảy ra trong trường trọng lực khi nhiệt độ chất lỏng khác nhiệt độ bề mặt.
- Tỏa nhiệt cưỡng bức là hiện tượng dẫn nhiệt vào chất lỏng chuyển động cưỡng bức do tác dụng của bơm, quạt hoặc máy nén.

Cường độ tỏa nhiệt, tỷ lệ thuận với hệ số tỏa nhiệt  $\alpha$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ], và được tính theo công thức Newton:

$$q = \alpha(t_w - t_f) = \alpha\Delta t \quad (2-1)$$

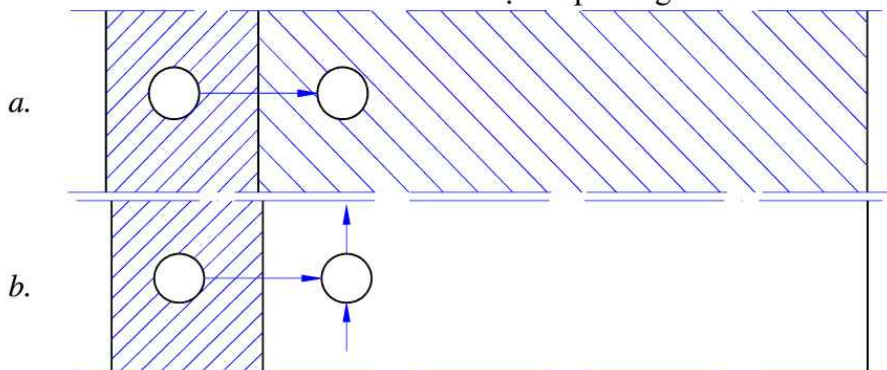
Trong đó  $\Delta t$  là hiệu số nhiệt độ bề mặt và chất lỏng.

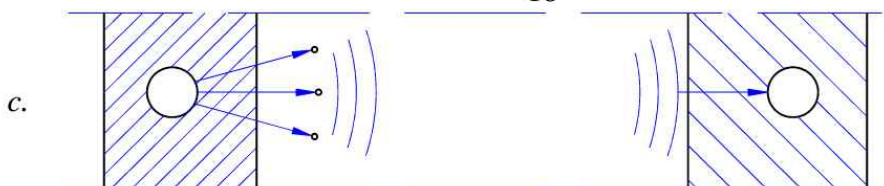
c. Trao đổi nhiệt bằng bức xạ:

Trao đổi nhiệt bức xạ là một dạng trao đổi nhiệt cơ bản không cần có sự tiếp xúc (khác với đối lưu và dẫn nhiệt) giữa các vật tham gia trao đổi.

Trao đổi nhiệt bức xạ là hiện tượng các phân tử vật 1 bức xạ ra các hạt, truyền đi trong không gian dưới dạng sóng điện từ, mang năng lượng đến truyền cho các phân tử vật 2.

Khác với hai phương thức trên, trao đổi nhiệt bức xạ có thể xảy ra giữa hai vật ở cách nhau rất xa, không cần sự tiếp xúc trực tiếp hoặc thông qua môi trường chất lỏng và khí, và luôn xảy ra với sự chuyển hóa giữa năng lượng nhiệt và năng lượng điện từ. Đây là phương thức trao đổi nhiệt giữa các thiên thể trong vũ trụ, chẳng hạn giữa mặt trời và các hành tinh. Trên hình 2.1 minh họa các phương thức trao đổi nhiệt.





**Hình 2.1 Các phương thức trao đổi nhiệt.**

*a. Dẫn nhiệt; b. Tỏa nhiệt; c. Trao đổi nhiệt bức xạ.*

Quá trình trao đổi nhiệt thực tế có thể bao gồm 2 hoặc cả 3 phương thức nói trên, được gọi là quá trình trao đổi nhiệt phức hợp. Ví dụ, bề mặt vật rắn có thể trao đổi nhiệt với chất khí tiếp xúc nó theo phương thức tỏa nhiệt và trao đổi nhiệt bức xạ.

Mọi vật ở mọi nhiệt độ luôn phát ra các lượng tử năng lượng và truyền đi trong không gian dưới dạng sóng điện từ, có bước sóng  $\lambda$  từ 0 đến vô cùng. Theo độ dài bức sóng  $\lambda$  từ nhỏ đến lớn, sóng điện từ được chia ra các khoảng  $\Delta\lambda$  ứng với các tia vũ trụ, tia gamma  $\gamma$ , tia Roentgen hay tia X, tia tử ngoại, tia ánh sáng, tia hồng ngoại và các tia sóng vô tuyến. Thực nghiệm cho thấy, chỉ các tia ánh sáng và hồng ngoại mới mang năng lượng  $E_\lambda$  đủ lớn để vật có thể hấp thụ và biến thành nội năng một cách đáng kể, được gọi là tia nhiệt, có bước sóng  $\lambda \in (0,4 \div 400) \cdot 10^{-6} \text{m}$ .

Môi trường thuận lợi cho trao đổi nhiệt bức xạ giữa 2 vật là chân không hoặc khí loãng, ít hấp thụ bức xạ. Khác với dẫn nhiệt và trao đổi nhiệt đối lưu, trao đổi nhiệt bức xạ có các đặc điểm riêng là:

- Luôn có sự chuyển hóa năng lượng: từ nội năng thành năng lượng điện từ khi bức xạ và ngược lại khi hấp thụ. Không cần sự tiếp xúc trực tiếp hoặc gián tiếp qua môi trường chất trung gian, chỉ cần môi trường truyền sóng điện từ, tốt nhất là chân không.
- Có thể thực hiện trên khoảng cách lớn, cỡ khoảng cách giữa các thiên thể trong khoảng không vũ trụ.

## **2.3. KHÁI NIỆM, PHÂN LOẠI SỰ CHUYỂN PHA CỦA CÁC ĐƠN CHẤT.**

### **Mục tiêu:**

- Trình bày được khái niệm, phân loại sự chuyển pha của các đơn chất.

### **2.3.1 Khái niệm sự chuyển pha:**

Đó là sự chuyển trạng thái của một chất nào đó từ nhiệt độ  $t_1$ , áp suất  $p_1$  sang nhiệt độ  $t_2$ , áp suất  $p_2$  thì bắt đầu chuyển từ pha rắn sang pha hơi hay ngược lại; hoặc từ pha rắn sang pha lỏng và ngược lại; hoặc từ pha lỏng sang pha hơi và ngược lại.

### **2.3.2 Phân loại sự chuyển pha:**

Môi chất công tác (MCCT) 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 MCCT 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 MCCT ở pha khí vì chất khí có khả năng thay đổi thể tích rất lớn nên cũng có khả năng thực hiện công lớn.

*a. 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

nhật cho MCCT. Ngược lại, khi ngưng tụ MCCT sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cấp cho 1 kg MCCT lỏng hóa hơi hoàn toàn gọi là nhiệt hóa hơi ( $r_{hh}$ ), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg MCCT 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.

*b. 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 MCCT. Ngược lại, khi đông đặc MCCT sẽ nhả nhiệt. Nhiệt lượng cần cung cấp để 1kg MCCT nóng chảy gọi là nhiệt nóng chảy ( $r_{nc}$ ), nhiệt lượng tỏa ra khi 1 kg MCCT 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.

*c. 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. MCCT 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.

## 2.4. NHẬN DẠNG VÀ PHÂN BIỆT SỰ CHUYỂN PHA, SỰ TRUYỀN NHIỆT CỦA MÔI CHẤT.

### Mục tiêu:

- Nhận dạng, phân biệt được sự chuyển pha và sự truyền nhiệt của môi chất.
- Giải thích được quá trình trao đổi nhiệt giữa các môi chất.

#### 2.4.1 Nhận dạng và phân biệt quá trình chuyển pha.

##### 2.4.1.1 Quá trình hóa hơi đẳng áp.

Hơi của các chất lỏng được sử dụng nhiều trong kỹ thuật. Ví dụ hơi nước được sử dụng chạy turbine hơi nước trong các nhà máy nhiệt điện, để sấy nóng; hơi Amoniac, Freon được sử dụng trong các thiết bị lạnh, v.v.

- Hóa hơi là quá trình chuyển pha từ lỏng sang hơi. Hóa hơi có thể được thực hiện bằng cách bay hơi hoặc sôi.
- Bay hơi là quá trình hóa hơi chỉ diễn ra trên bề mặt thoáng của chất lỏng. Cường độ bay hơi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng, áp suất và nhiệt độ.
- Sôi là quá trình hóa hơi diễn ra trong toàn bộ thể tích chất lỏng. Sự sôi chỉ diễn ra ở một nhiệt độ xác định gọi là nhiệt độ sôi hay nhiệt độ bão hòa ( $t_s$ ). Nhiệt độ sôi phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng và áp suất. Ở áp suất khí quyển, nhiệt độ sôi của nước bằng  $100^{\circ}\text{C}$ .

Trong kỹ thuật, quá trình hóa hơi thường được tiến hành ở áp suất không đổi, đặc điểm quá trình hóa hơi của các chất lỏng là giống nhau.

Quá trình hóa hơi đẳng áp của nước và những đặc điểm của quá trình được trình bày dưới đây cũng sẽ được áp dụng cho các chất lỏng khác.

Giả sử có 1 kg nước trong xylanh, trên bề mặt nước có một pít tông 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 2.2 thể hiện quá trình hóa hơi đẳng áp, trong đó nhiệt độ phụ

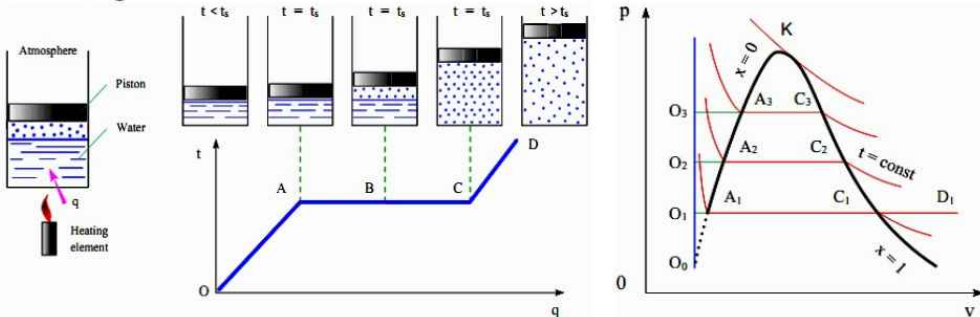
thuộc vào lượng nhiệt cấp:  $t = f(q)$ . Đoạn OA biểu diễn quá trình đốt nóng nước từ nhiệt độ ban đầu  $t_0$  đến nhiệt độ sôi  $t_s$ . Nước ở nhiệt độ  $t < t_s$  gọi là nước chưa sôi.

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:  $i', s', u', v',$  v.v. Hơi ở điểm C gọi là hơi bão hòa khô, các thông số trạng thái của nó được ký hiệu là:  $i'', s'', u'', v'',$  v.v. 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  $i_x, s_x, u_x, v_x,$  v.v. 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 ( $y$ ):

$$x = \frac{m_h}{m_n} \quad (2-2)$$

$$y = 1 - x \quad (2-3)$$

trong đó:  $x$ - độ khô;  $y$ - độ ẩm;  $m_x$ - lượng hơi bão hòa ẩm;  $m_h$ - lượng hơi bão hòa khô;  $m_n$ - lượng nước sôi.



**Hình 2.2 Quá trình hóa hơi đẳng áp.**

Tương tự, nếu tiến hành quá trình hóa hơi đẳng áp ở những áp suất khác nhau ( $p_1, p_2, p_3,$  v.v.) và cùng biểu diễn trên đồ thị trạng thái  $p - v$ , sẽ được các đường, các 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,  $O_1, O_2, O_3$  v.v. gần như là 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 A,  $A_1, A_2, A_3,$  v.v. biểu diễn trạng thái nước sôi độ khô  $x = 0$ .
- Đường giới hạn trên: đường nối các điểm C,  $C_1, C_2, C_3,$  v.v. biểu diễn trạng thái hơi bão hòa khô có độ khô  $x = 1$ .
- 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:  $p_K = 221 \text{ bar}$ ,  $t_K = 374^\circ \text{C}$ ,  $v_K = 0,00326 \text{ m}^3/\text{kg}$ .