

LỜI NÓI ĐẦU

Theo khung chương trình, sinh viên Đại Học Sư Phạm ngành Vật Lý trong những năm đầu được học môn Vật lý Phân tử và Nhiệt học (60 tiết) và môn Nhiệt động lực học (30 tiết). Tuy vậy, nhiều nội dung trong hai giáo trình này có sự trùng lặp. Trong điều kiện ngành học mới mở và thiếu cán bộ giảng dạy nên Khoa vật lý ĐHSF. ĐN chủ trương nhập chung nội dung hai giáo trình và giảng dạy trong 90 tiết. Để đáp ứng yêu cầu đó và để sinh viên dễ dàng tiếp cận môn học, chúng tôi mạnh dạn biên soạn giáo trình này.

Việc lồng ghép hai nội dung lớn vào trong một giáo trình là điều khó khăn cho người soạn, đồng thời để phù hợp với kiến thức của sinh viên đã được trang bị ở bậc học phổ thông về Công và Nhiệt, trong giáo trình này người soạn theo đúng quy ước đại số về dấu của Công và Nhiệt như đã có trong chương trình phổ thông trung học, sự thay đổi này cũng là một khó khăn lớn khi trình bày các nội dung...

Với kiến thức và trình độ có hạn, tuy đã rất cố gắng nhưng chắc rằng giáo trình không thể tránh khỏi những thiếu sót. Người soạn mong nhận được những góp ý quý báu của các đồng nghiệp và bạn đọc.

NGƯỜI SOẠN

CHƯƠNG I

MỞ ĐẦU VÀ CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1.1 CÁC KHÁI NIỆM

1.1.1 ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NHIỆT HỌC

1.1.1.1 Đối tượng

Vật lý Phân tử và Nhiệt học nghiên cứu các hiện tượng liên quan đến các quá trình xảy ra bên trong vật.

Ví dụ: Quá trình nóng chảy hoặc quá trình bốc hơi của các vật khi được nung nóng, các quá trình này có liên quan đến dạng vận động xảy ra bên trong vật: **chuyển động nhiệt**.

Vậy; **chuyển động nhiệt** là đối tượng nghiên cứu của nhiệt học.

1.1.1.2 Phương pháp

Nghiên cứu chuyển động nhiệt người ta dùng hai phương pháp:

- **Phương pháp thống kê** (Vật lý phân tử): Phân tích các quá trình xảy ra đối với từng phân tử, nguyên tử riêng biệt trên quan điểm **vi mô** và dựa vào qui luật thống kê để tìm qui luật chung cho cả tập hợp các phân tử, từ đó giải thích các tính chất của vật; phương pháp cho phép nhận thức một cách sâu sắc bản chất nhiệt học.

- **Phương pháp nhiệt động**: Nghiên cứu sự biến đổi năng lượng của vật từ dạng này sang dạng khác trên quan điểm **vĩ mô**. Phương pháp dựa trên hai nguyên lý cơ bản của NĐH được rút ra từ thực nghiệm; từ đó nêu ra những tính chất của vật trong các điều kiện khác nhau mà không cần chú ý đến cấu tạo phân tử. Phương pháp có điểm hạn chế là không giải thích sâu bản chất của hiện tượng nhưng trong nhiều vấn đề nó cho ta cách giải quyết đơn giản, hiệu quả.

Trong giáo trình này chúng ta dùng cả hai phương pháp trên để hỗ trợ, bổ sung cho nhau nhằm hiểu thấu đáo các vấn đề của chuyển động nhiệt; tuy vậy không ít khó khăn trong trình bày do sự đan xen của các phương pháp và quan điểm.

1.1.2 HỆ NHIỆT ĐỘNG

1.1.2.1 Hệ nhiệt động

Hệ nhiệt động là một tập hợp các vật thể được bao bởi một bề mặt chu vi.

- Các vật thể có thể là các cá thể kích thước vĩ mô, cũng có thể là các phân tử, nguyên tử khí kích thước rất bé.

- Bề mặt chu vi có thể là thực như chu vi của một bình đựng khí, cũng có thể là ảo như bề mặt bao quanh một lượng chất lỏng chảy dọc theo một ống mà ta theo dõi bằng trí tưởng tượng.

Như vậy khái niệm “hệ nhiệt động” (gọi tắt là hệ) là một khái niệm rộng và tổng quát.

1.1.2.2 Hệ con

Là một phần của hệ nhưng số cá thể ít hơn và có thể tích bé hơn. Như vậy “hệ” có thể xem như được cấu tạo bởi nhiều hệ con. Hệ con chịu ảnh hưởng tác động của phần còn lại của hệ lên nó nên trạng thái của hệ con luôn thay đổi.

1.1.2.3 Khoảng ngoài

Phần còn lại ở ngoài hệ được gọi là khoảng ngoài hay ngoại vật.

1.1.2.4 Hệ cô lập

Hệ hoàn toàn không tương tác và trao đổi năng lượng với khoảng ngoài được gọi là hệ cô lập; ngược lại nếu hệ có tương tác hoặc trao đổi năng lượng với khoảng ngoài thì gọi là “hệ không cô lập”.

1.1.2.5 Hệ cô lập một phần

Hệ có trao đổi công với khoảng ngoài mà không trao đổi nhiệt thì hệ được gọi là hệ cô lập về nhiệt, ngược lại có trao đổi nhiệt nhưng không trao đổi công thì được gọi là hệ cô lập về công, đây là các hệ cô lập một phần.

1.1.3 TRẠNG THÁI MỘT HỆ NHIỆT ĐỘNG

1.1.3.1 Thông số trạng thái

Trạng thái của một hệ nhiệt động được xác định bởi một bộ các đại lượng vật lý, các đại lượng này được gọi là thông số trạng thái của hệ.

Ví dụ: Đối với một khối khí, trạng thái của khối khí được xác định khi biết áp suất p , nhiệt độ T và thể tích V khối khí. Từ đó các đại lượng p , V và T là các **thông số trạng thái**, thông thường một bộ ba thông số (p, V, T) xác định một trạng thái vĩ mô của khối khí.

Đối với các hệ thống phức tạp, cần xác định thêm các đại lượng: Nồng độ, tỉ trọng hoặc điện tích...

Thực nghiệm cho thấy: Một hệ cô lập ở không cân bằng nhiệt động, nếu để một thời gian đủ lâu thì hệ tiến tới cân bằng nhiệt động, khi đó mọi nơi trong hệ đều cùng

một áp suất, cùng một nhiệt độ. Ta chỉ khảo sát những hệ ở cân bằng nhiệt động. Về phương diện vĩ mô, có thể chia thông số trạng thái làm hai loại :

- **Thông số quảng tính:** Là thông số mà độ lớn của nó tỉ lệ với khối lượng hệ, chẳng hạn : thể tích v .

- **Thông số cường tính:** Là thông số không phụ thuộc vào khối lượng hệ. Ví dụ u : Áp suất, nhiệt độ, mật độ ... nếu ta chia nhỏ hệ ra thành nhiều hệ con thì giá trị của thông số cường tính không đổi.

1.1.3.2 Phương trình trạng thái

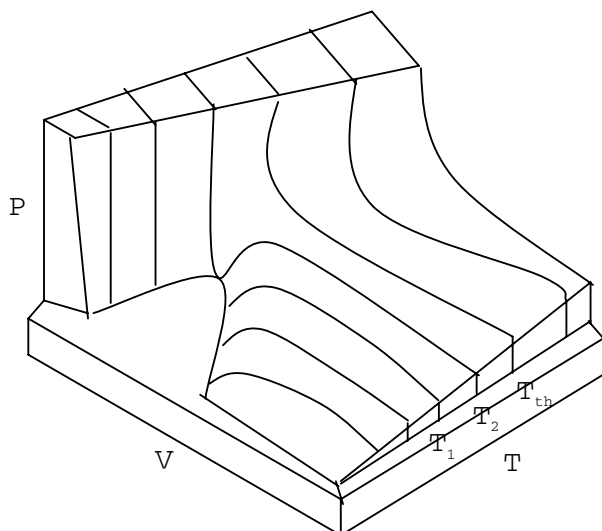
Các thông số trạng thái p, V, T ... của hệ không hoàn toàn độc lập nhau, mỗi thông số là một hàm của các thông số còn lại. Hệ thức nối liền các thông số trạng thái được gọi là **phương trình trạng thái** của hệ. Đối với một khối khí có khối lượng xác định, phương trình trạng thái là hệ thức nối liền ba thông số p, V, T .

$$p = f(V, T) \quad \text{hoặc} \quad F(p, V, T) = 0 \quad (1.1)$$

Ví dụ : Phương trình trạng thái của một kilômol khí lý tưởng : $p.V = RT$

Trong phương trình trạng thái, khi hai thông số được xác định thì thông số thứ ba còn lại sẽ được xác định đơn giá theo hai thông số kia và một trạng thái vĩ mô hệ được xác định. Việc khảo sát phương trình trạng thái là một vấn đề cơ bản của nhiệt học.

1.1.3.2.1 Biểu diễn bằng mặt $p - V - T$: Vẽ biểu đồ của phương trình trạng thái trong một hệ trục tọa độ gồm ba trục áp suất p , thể tích V , nhiệt độ T vuông góc nhau từng đôi, ta được một mặt $p - V - T$. Bất kỳ một trạng thái cân bằng nào của hệ cũng được biểu diễn bằng một điểm trên mặt $p - V - T$, ngược lại mỗi điểm trên mặt $p - V - T$ biểu diễn một trạng thái cân bằng của hệ (hình 1.1).

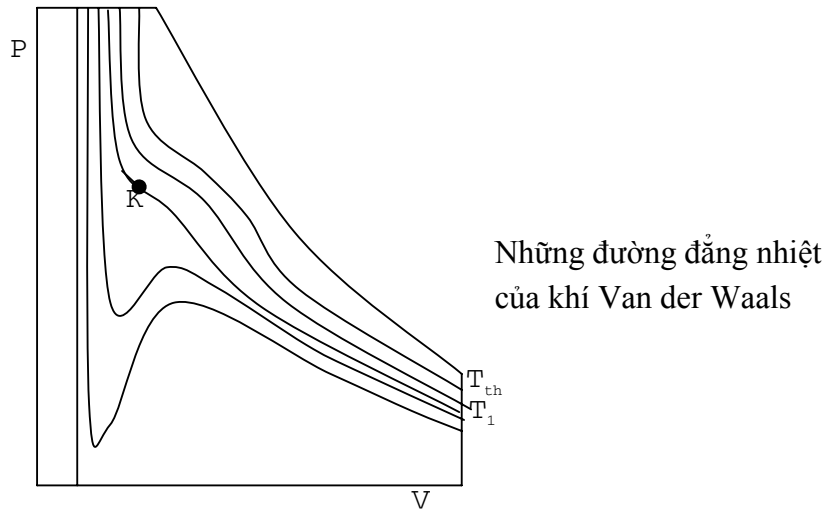


Mặt $p - V - T$ của khí Van der Waals

Hình 1.1

1.1.3.2.2 Biểu diễn bằng mặt p - V: Các thông số trạng thái phụ thuộc nhau nên để đơn giản người ta dùng giản đồ p - V. Ở một nhiệt độ xác định T giao tuyến của mặt p - V - T với mặt phẳng vuông góc trục nhiệt T là những đường biến đổi cân bằng gọi là đường **đẳng nhiệt** (hình 1.2).

- Tương tự, giao tuyến giữa mặt p - V - T với mặt vuông góc trục thể tích V là đường biến đổi **đẳng tích**, hoặc với trục áp suất p là đường biến đổi **đẳng áp**.



Hình 1.2

1.2 ÁP SUẤT

1.2.1 Áp suất là đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$p = \frac{F}{S} \quad (1.2)$$

S : diện tích bề mặt

F : lực nén vuông góc lên diện tích S: áp lực.

❖ Đơn vị:

Trong hệ SI áp suất có đơn vị [N/m²] còn gọi là Pa (Paxcan).

Trong hệ CGS áp suất có đơn vị là : [dyn / cm²] ngoài ra áp suất còn có các đơn vị khác : bar ; at ; atm ; mmHg ...

- 1 bar = 10⁵ N/m²

- Atmosphê kỹ thuật: 1 at = 98,0665 N/m².

- Atmosphê vật lý: 1 atm = 1,013. 10⁵ N/m².

- 1 mmHg [1Tor] = 133,32 N/m² là áp suất gây bởi trọng lượng cột thủy ngân cao 1mm.

Ta có: 1atm = 1,033at = 760 mmHg; hoặc 1at = 736mmHg.

1.2.2 Áp suất khí

Áp suất của chất khí là đại lượng đặc trưng cơ bản cho tính chất của khối khí. Đối với khối khí đựng trong một bình chứa, áp suất khí là lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích thành bình, lực này do sự va chạm giữa các phân tử khí với thành bình mà nên. Thông qua việc đo áp suất (bằng áp kế) ta không những nhận biết sự có mặt của chất khí trong bình mà còn khảo sát được tính chất của khí trong bình. Áp suất khí quyển ở điều kiện thường có giá trị 1,033at.

1.3 NHIỆT ĐỘ

1.3.1 Nhiệt độ

Nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho trạng thái của một vật, xúc giác cho khái niệm về nhiệt độ: khi sờ tay vào vật ta có thể nói vật này nóng hơn vật kia. Tuy vậy xúc giác không tin và không nhạy. Một chậu nước ” nóng hay lạnh “ điều đó phụ thuộc vào việc: trước khi nhúng tay vào nước ta đã nhúng tay vào nước nóng hay nước lạnh, hơn nữa xúc giác không cho phép phát hiện những biến thiên nhỏ của nhiệt độ.

Để xác định độ nóng của vật người ta tìm cách đánh dấu nhiệt độ của vật. Ví dụ: Độ dài thanh sắt tăng khi được nung nóng, như vậy, có thể dùng độ dài thanh sắt để đánh dấu nhiệt độ của thanh. Từ đó ta có một nhiệt kế, dù rằng nhiệt kế này không nhạy.

Để đo nhiệt độ của một vật A, ta cần so sánh nhiệt độ vật A với nhiệt độ vật B đã được đánh dấu chuẩn.

1.3.2 Nguyên lý 0 Nhiệt động học

Thực nghiệm cho thấy rằng: cho hai vật đồng chất A và B tiếp xúc nhau ở một nơi hoàn toàn ngăn cách nhiệt (hệ cô lập) thì vật nóng sẽ nguội dần và vật lạnh sẽ nóng dần; sau thời gian đủ lâu nhiệt độ hai vật bằng nhau, khi đó hệ đạt trạng thái cân bằng nhiệt. Thực nghiệm cũng cho thấy rằng: nếu hệ cô lập gồm nhiều vật nóng lạnh khác nhau thì sau thời gian đủ lâu hệ cũng đạt cân bằng nhiệt.

Từ đó dẫn đến kết luận quan trọng sau :

“Hai vật cùng ở trạng thái cân bằng nhiệt với một vật thứ ba thì chúng cân bằng nhiệt với nhau“. Kết luận trên được gọi là **nguyên lý 0** nhiệt động học.

Nguyên lý cho phép so sánh nhiệt độ hai vật khác nhau mà không cần đặt tiếp xúc nhau, nguyên lý cũng cho phép ta sử dụng một nhiệt kế để đo nhiệt độ của nhiệt kế và nhiệt độ môi trường đặt nhiệt kế.

1.3.3 Nhiệt lượng

Thực nghiệm cho thấy: khi đặt một vật A có nhiệt độ T_A vào một môi trường nhiệt độ T_B mà $T_B < T_A$. Sau thời gian đủ lâu nhiệt độ vật và môi trường cân bằng nhau ($T'_A = T'_B$). Trong quá trình này phần năng lượng mà vật A đã cung cấp cho môi trường được gọi là **nhật lượng** (gọi tắt là nhật).

Vậy: Nhật lượng là đại lượng chỉ xuất hiện trong quá trình trao đổi năng lượng giữa vật và phần còn lại ngoài vật, trong quá trình này trạng thái của vật bị thay đổi, do đó câu nói: nhật lượng của vật hoặc nhật lượng của hệ là vô nghĩa, vì nhật lượng không là hàm trạng thái của hệ.

1.3.4 Điểm chuẩn, thang nhiệt độ

1.3.4.1 Điểm chuẩn: Thực nghiệm cho thấy: Sự nóng chảy hoặc sự sôi của một số nguyên chất ở một áp suất nhất định bao giờ cũng xảy ra ở một nhiệt độ không đổi được gọi là nhiệt độ **chuẩn**, trạng thái tương ứng được gọi là **điểm chuẩn**.

Ví dụ: nhiệt độ nóng chảy của nước đá T_{ch} , hoặc nhiệt độ sôi của nước T_s ở áp suất khí quyển luôn là những giá trị không đổi.

Các điểm chuẩn được dùng để đánh dấu khi thực hiện một nhiệt giai (thang nhiệt độ).

1.3.4.2 Thang nhiệt độ: Để thực hiện một nhiệt kế ta cần phải dùng một đại lượng vật lý của vật gọi là **đại lượng nhiệt kế**, đại lượng này phải thay đổi tuyến tính theo nhiệt độ.

Ví dụ : Đối với nhiệt kế thủy ngân, thể tích của thủy ngân trong bầu là đại lượng nhiệt kế.

Gọi: a là đại lượng nhiệt kế, khi được làm nóng thì a phải biến thiên đơn điệu theo nhiệt độ T . Với : $T = f(a)$

Dạng hàm tuyến tính đơn giản nhất là $T = A.a$ với A là một hằng số, từ đó tỷ số hai nhiệt độ $T_1 ; T_2$ ứng với hai giá trị của $a_1 ; a_2$:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{a_1}{a_2} \quad (1.3)$$

Việc xây dựng một nhiệt giai cần thiết phải xác định điểm chuẩn.

❖ **Trước 1954:** Hai điểm chuẩn được chọn là:

- Điểm nước đá: nhiệt độ nước đá đang tan T_{ch} dưới áp suất chuẩn khí quyển 1 atm; đại lượng nhiệt kế tương ứng a_{ch} .

- Điểm sôi: nhiệt độ hơi nước đang sôi T_s ở áp suất 1 atm; đại lượng nhiệt kế tương ứng a_s .

Tại một nhiệt độ T , đại lượng nhiệt kế có giá trị a thì :

$$T_{ch} / T = a_{ch} / a \quad \text{và} \quad T_s / T = a_s / a$$

Từ đó :
$$T = \frac{T_s - T_{ch}}{a_s - a_{ch}}.a \text{ vậy: } A = \frac{T_s - T_{ch}}{a_s - a_{ch}}.$$

Nếu quy ước hiệu nhiệt độ $T_s - T_{ch} = 100$ độ, thì:
$$A = \frac{100}{a_s - a_{ch}} \Rightarrow T = \frac{100}{a_s - a_{ch}}.a$$

Tổng quát:
$$T = A.a \quad (1.4)$$

Lưu ý: Trường hợp đại lượng nhiệt kế aG 0 khi $T = 0$ (chẳng hạn $a = a_0 + bT$)

thì có hệ thức sau :
$$\frac{T - T_{ch}}{T_s - T_{ch}} = \frac{a - a_{ch}}{a_s - a_{ch}} \quad (1.5)$$

- **Thang nhiệt độ Celcius** (nhiệt độ Bách phân): là thang nhiệt độ mà T_{ch} được qui ước $t = 00C$ và T_s được qui ước $t = 1000C$. Khoảng nhiệt độ từ T_{ch} đến T_s được chia thành 100 phần bằng nhau, mỗi phần ứng với 10C.

❖ **Sau 1954:** Để xây dựng thang nhiệt độ người ta chỉ chọn một điểm chuẩn: điểm ba của nước, nhiệt độ điểm ba là nhiệt độ cân bằng giữa nước, nước đá và hơi nước, nhiệt độ này không phụ thuộc vào điều kiện áp suất ngoài và được chọn là $T_b = 273,16 \text{ } ^0K$.

Từ đó :
$$\frac{T}{T_b} = \frac{a}{a_b}$$

Hay :
$$T = \frac{T_b}{a_b}.a = \frac{273,16}{a_b}.a \quad (1.6)$$

- **Thang nhiệt độ tuyệt đối** (thang nhiệt độ Kelvin): Các phép đo chính xác cho thấy ở áp suất chuẩn, nhiệt độ nóng chảy của nước đá $T_{ch} = 273,15^0K$, nhiệt độ sôi của nước là $T_s = 373,15^0K$. Từ đó thang nhiệt độ tuyệt đối (0K) được hình thành.

- Quan hệ giữa nhiệt độ tuyệt đối (0K) và nhiệt độ bách phân (0C) được xác lập như sau:
$$T = 273,15 + t \text{ (} ^0K \text{)} \quad (1.7)$$

Như vậy nhiệt độ điểm ba của nước là $t = 0,01^0C$. Tính ưu việt của thang nhiệt độ tuyệt đối là độ chính xác cao. Thang nhiệt độ tuyệt đối cũng là thang nhiệt độ nhiệt động lực sau này.

- **Thang nhiệt độ Fahrenheit (0F):** Ngoài hai thang nhiệt độ ở trên còn có thang nhiệt độ Fahrenheit kém thông dụng hơn, thang này được chia thành 180 độ chia. Quan hệ giữa nhiệt độ Fahrenheit và nhiệt độ Celsius xác lập như sau:

$$\begin{aligned} 32^0F &= 0^0C \\ 212^0F &= 100^0C \end{aligned}$$

từ đó:
$$t \text{ (} 0F \text{)} = 32 + 1,8. t \text{ (} 0C \text{)} \quad (1.8)$$

1.3.4.3 Độ không tuyệt đối: Phương trình trạng thái khí lý tưởng $p.V = RT$ cho thấy: khi $T \rightarrow 0$ thì $p \rightarrow 0$ khi đó không còn sự chuyển động nhiệt của phân tử. Nhiệt độ $T = 0$ được gọi là “độ không tuyệt đối”. Ở nhiệt độ này phân tử không còn

chuyển động nhiệt, sự vận động ở mức thấp nhất ứng với năng lượng thấp nhất gọi là “**năng lượng không**”.

1.4 CÁC LOẠI NHIỆT KẾ

Không thể chế tạo một nhiệt kế có khả năng đo mọi khoảng nhiệt độ, mỗi nhiệt kế chỉ có thể đo chính xác ở một khoảng nhiệt độ nào đó.

1.4.1 Nhiệt kế khí

Nhiệt kế khí Hêli được dùng để đo nhiệt độ rất thấp (cỡ 1^0K). Ở nhiệt độ cao hơn ($t < -2000\text{C}$) người ta dùng nhiệt kế khí O_2 , H_2 ..., đại lượng nhiệt kế là áp suất hơi no của khí.

1.4.2 Nhiệt kế điện trở

Vật nhiệt kế là dây dẫn điện thường làm bằng kim loại hay hợp kim, đại lượng nhiệt kế là điện trở R của dây, điện trở R tăng theo nhiệt độ và được biểu thị bởi hệ số nhiệt điện trở.

VD: nhiệt kế điện trở bạch kim có khoảng đo từ $-182,90\text{C}$ đến $630,50\text{C}$. Đại lượng nhiệt kế a là điện trở R của dây bạch kim (platin), khi:

$$0^0\text{C} < t < 630,5^0\text{C} : R = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (1.9)$$

$$-182,9^0\text{C} < t < 0^0\text{C} : R = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)]$$

1.4.3 Nhiệt kế lỏng

Vật nhiệt kế là chất lỏng, đại lượng nhiệt kế là thể tích khối chất lỏng. Mỗi loại nhiệt kế lỏng chỉ dùng cho một miền nhiệt độ thích hợp.

VD: Nhiệt kế thủy ngân thông dụng trong khoảng 00C đến 1000C ; Đại lượng nhiệt kế là thể tích V của khối thủy ngân trong bầu nhiệt kế.

$$V = V_0 (1 + \alpha t) \quad (1.10)$$

$$V_0 = \text{thể tích của bầu tính đến khắc } 0^0\text{C}$$

$$v = \alpha V_0 = \text{thể tích ứng với một độ chia trong ống}$$

$$\alpha = \frac{1}{6400} = \text{hệ số nở biểu kiến của thủy ngân trong thủy tinh}$$

1.4.4 Nhiệt kế cặp nhiệt điện

Nhiệt kế này dựa vào nguyên lý hoạt động của cặp nhiệt điện. Dòng nhiệt điện đặc trưng bởi thế nhiệt điện E được phát sinh khi có sự chênh lệch nhiệt độ hai mối hàn cặp nhiệt điện, từ đó: cặp nhiệt điện là vật nhiệt kế; E là đại lượng nhiệt kế. Loại nhiệt kế này được dùng đo những nhiệt độ cao từ 300^0C đến 2000^0C tùy theo kim loại làm cặp nhiệt điện.

$$E = A + Bt + Ct^2 \quad (1.11)$$

1.4.5 Hỏa kế quang học

Căn cứ vào sự bức xạ của vật khi được nung nóng và dựa vào các định luật bức xạ người ta chế tạo hỏa kế quang học. Đại lượng nhiệt kế là năng suất phát xạ toàn phần $R(T)$, lúc này phép đo nhiệt độ trở thành phép đo quang học. Hỏa kế quang học đo nhiệt độ khoảng 2000°C đến 5000°C .

$$R(T) = \sigma T^4 \quad (1.12)$$

$$\alpha = 5,67.10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} = \text{hằng số Ste'fan}$$

1.5 CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

Dựa vào thực nghiệm người ta đã xác định được các định luật sau:

1.5.1 Định luật Bôi - Mariôt (Boyle - Mariotte)

Phát biểu: Trong một quá trình biến đổi đẳng nhiệt ($T = \text{Const}$) của một khối khí, tích số giữa áp suất và thể tích khối khí là một hằng số.

$$p \cdot V = \text{Const} \quad (1.13)$$

Giá trị của hằng số phụ thuộc vào khối lượng m , nhiệt độ T của khối khí.

1.5.2 Định luật Saclơ và Gay- Luyxã

1.5.2.1 Định luật Saclơ (Charles)

Phát biểu: Trong quá trình biến đổi đẳng tích ($V = \text{Const}$) của một khối khí, áp suất tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.

$$\frac{p}{T} = \text{Const} \quad (1.14)$$

Gọi : p_0, T_0 là áp suất và nhiệt độ khối khí ở 0°C

p, T là áp suất, nhiệt độ khối khí ở $t^{\circ}\text{C}$

Ta có :
$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \Rightarrow p = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right) = p_0 \frac{T}{273} = p_0 \alpha T$$

Với: α hệ số giãn nở nhiệt.

Ta có:
$$p = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right) = \frac{273+t}{273} = p_0(1 + \alpha.t) \quad (1.15)$$

1.5.2.2 Định luật Gay - Luyxã (Gay - Lussac)

Phát biểu: Trong quá trình biến đổi đẳng áp ($p = \text{Const}$) của một khối khí thể tích tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.

$$\frac{V}{T} = \text{Const} \quad (1.16)$$

Gọi: V_0, T_0 : thể tích và nhiệt độ khối khí ở 0°C .

V, T : thể tích và nhiệt độ khối khí ở $t^{\circ}\text{C}$.

$$\text{Ta có : } \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \Rightarrow V = V_0 \left(\frac{T}{T_0} \right) = V_0 \left(\frac{273+t}{273} \right)$$

$$\text{Vậy : } V = V_0(1 + \alpha t) \quad (1.17)$$

+ **Hạn chế:** Các định luật trên có mặt hạn chế là chỉ đúng khi biến đổi diễn ra ở điều kiện nhiệt độ và áp suất phòng thí nghiệm, khi nhiệt độ quá thấp hoặc áp suất quá lớn thì các định luật không còn nghiệm đúng nữa. VD: Khí N_2 biến đổi đẳng nhiệt ở áp suất 1500 at tích số $p.V$ có giá trị gấp 16 lần giá trị tính từ định luật Bôi - Mariôt, hệ số α cũng thay đổi theo nhiệt độ, từ đó áp suất và thể tích cũng không hoàn toàn biến thiên bậc nhất theo nhiệt độ t .

1.6 KHÍ LÝ TƯỞNG

1.6.1 Định nghĩa

Ở áp suất cao, hoặc nhiệt độ thấp các chất khí ($\text{O}_2, \text{N}_2, \text{H}_2 \dots$) không tuân theo hoàn toàn chính xác các định luật thực nghiệm. Từ đó để đơn giản trong việc nghiên cứu người ta định nghĩa một loại khí là **khí lý tưởng**.

Khí lý tưởng là khí tuân theo hoàn toàn chính xác hai định luật Bôi - Mariôt và Gay - Luyxác ở mọi giới hạn nhiệt độ và áp suất.

Khí lý tưởng không phải là loại khí thực, tuy vậy nhiều loại khí ở nhiệt độ và áp suất thường có thể coi là khí lý tưởng. Ở chương 7 ta sẽ thấy khí thực khi bỏ qua tương tác phân tử và kích thước phân tử là một loại khí lý tưởng.

1.6.2 Phương trình trạng thái KLT

Giả sử 1 kilomol KLT thực hiện biến đổi trạng thái từ (1) sang (2) bằng hai quá trình:

(1) \longrightarrow (1') : quá trình giãn đẳng nhiệt

(1') \longrightarrow (2) : quá trình làm lạnh đẳng tích

$$\text{Có: } \begin{array}{ccc} (1) & & (1') & & (2) \\ p_1 V_1 T_1 & & p'_1 V_2 T_1 & & p_2 V_2 T_2 \end{array}$$

$$\text{Với quá trình đẳng nhiệt: } p_1 V_1 = p'_1 V_2$$

$$\text{Với quá trình đẳng tích: } p'_1 = \frac{p_2 T_1}{T_2}$$

$$\text{Thay vào trên } p_1 V_1 = \frac{p_2 T_1}{T_2} \times V_2$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Vậy: đối với một k.mol khí lý tưởng đã cho. Lượng R là một hằng số R

$$\frac{pV}{T} = R: \text{hằng số KLT}$$

Phương trình trạng thái của 1 kilômol KLT:

$$pV = RT \quad (1.18)$$

+ **Giá trị của hằng số R**

Ở đk chuẩn: $t_0 = 0^\circ\text{C}$; $p_0 = 1\text{atm} = 1,033\text{at}$ ($T_0 = 273,150\text{K}$;

$p_0 = 1,033 * 9,81.10^5\text{N/m}^2$) thì 1 kmol KLT có thể tích $V_0 = 22,4\text{ m}^3$

$$\text{Do vậy: } R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{1,033 * 9,81.10^5 \times 22,4}{273,15}$$

$$R = 8,31.10^3 \frac{J}{k.mol^0k} \text{ hoặc: } R = 8,3 \frac{J}{.mol^0k}$$

+ Phương trình trạng thái của m kg KLT:

Gọi \hat{G} là tổng khối lượng của $NA = 6,023.10^{26}$ phân tử; V : thể tích khí

$$\text{Ta có: } pV = nRT \quad \text{với } n \text{ là số kilômol; } n = \frac{m}{\mu}$$

$$\text{Vậy: } pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1.19)$$

Các phương trình (1.18); (1.19) gọi là phương trình Clapeyron – Mendenleev.

1.6.3 Khối lượng riêng, thể tích riêng của khí lý tưởng

1.6.3.1 Khối lượng riêng

Gõ: khối lượng riêng của khí

Khi $V = 1\text{ m}^3$ thì $m = \hat{G}$

$$\text{Vậy: } p.1 = \frac{\rho.RT}{\mu} \Rightarrow \rho = \frac{\mu.p}{RT} \quad (1.20)$$

1.6.3.2 Thể tích riêng v: là thể tích của một đơn vị khối lượng khí.

Khi $m = 1\text{kg}$ thì: $v = \hat{G}$

$$\text{Vậy: } v = \frac{1}{\rho} = \frac{RT}{\mu.p} \quad (1.21)$$

1.6.4 Định luật Đaltôn (Dalton)

Hệ: Hỗn hợp gồm nhiều loại khí khác nhau có cùng nhiệt độ T đựng trong bình thể tích V.

Gọi: $p_1 p_2 \dots$: áp suất gây bởi từng loại khí, còn gọi là áp suất riêng phần

Thực nghiệm cho thấy áp suất của cả hỗn hợp:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (1.22)$$

- Định luật: áp suất của hỗn hợp bằng tổng các áp suất riêng phần.

Gọi n_i là số kmol của khí thứ (i) trong hỗn hợp, thì phương trình trạng thái cho mỗi khí như sau:

$$p_1V = n_1RT ; \quad p_2V = n_2RT ; \quad p_3V = n_3RT \dots$$

Nên : $(p_1 + p_2 + p_3 \dots) V = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots)RT$

Nếu coi hỗn hợp là một khí đồng nhất thì phương trình trạng thái hỗn hợp :

$$pV = nRT \quad (1.23)$$

với: $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$: số kmol của hỗn hợp.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1

Người ta muốn làm một nhiệt kế thủy ngân có khoảng đo từ 0°C đến 200°C , muốn thế người ta dùng một cần hình trụ dài; cần này có thể tích trong là 24mm^3 .
Tính:

1. Thể tích của bầu nhiệt kế.
2. Khối lượng của thủy ngân.

Cho khối lượng riêng thủy ngân là $13,6 \text{ g/cm}^3$; hệ số nở biểu kiến của thủy ngân trong thủy tinh là $\alpha = \frac{1}{6400}$

Giải :

1. Thể tích của bầu nhiệt kế :

$$\text{Ta có : } v = \alpha V_0 \Rightarrow V_0 = \frac{v}{\alpha}$$

Mà thể tích v ứng với một độ chia của cần trụ:

$$v = \frac{24}{200} \text{ mm}^3 = 12 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^3$$

$$\text{Vậy : } V_0 = 6400 \times 12 \cdot 10^{-2} = 768 \text{ mm}^3 = 0,768 \text{ cm}^3$$

2. Khối lượng của thủy ngân :

$$m = \rho V_0 = 13,6 \times 0,768 = 10,445 \text{ g}$$

Thí dụ 2:

Một loại nhiệt giai Z mà điểm nước đá đang tan là $-5^\circ Z$ và điểm hơi nước đang sôi là $105^\circ Z$ đo ở điều kiện chuẩn. Hỏi:

1. Khi nhiệt giai Celsius biến thiên 60°C thì nhiệt giai Z biến thiên bao nhiêu?

- Nhiệt độ trong nhiệt giai Celsius là 60°C thì nhiệt độ trong nhiệt giai Z là bao nhiêu?
- Tại nhiệt độ nào thì số chỉ trên hai nhiệt giai bằng nhau?

Giải :

- Độ biến thiên nhiệt độ trong thang Z

$$\text{Thang nhiệt độ Z là : } T_s - T_{ch} = 105 - (-5) = 110^{\circ}\text{Z}$$

$$\text{Thang nhiệt độ C là : } t_s - t_{ch} = 100 - 0 = 100^{\circ}\text{C}$$

Khi nhiệt độ C biến thiên $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$ thì độ biến thiên tương ứng trong thang Z là :

$$\Delta T = 60 \times \frac{110}{100} = 66^{\circ}\text{Z}$$

- Giá trị TZ :

Khi nhiệt độ trong thang Celsius là $t = 60^{\circ}\text{C}$ thì số chỉ trong thang nhiệt độ Z là :

$$T_Z = 66^{\circ}\text{Z} - 5^{\circ}\text{Z} = 61^{\circ}\text{Z}$$

- Số chỉ trên hai thang bằng nhau :

Giả sử quan hệ giữa hai thang nhiệt độ là : $TZ = atc + b$

$$\text{Ta có : } -5 = a \times 0 + b \quad \text{đ } b = -5$$

$$105 = a \times 100 - 5 \Rightarrow a = 1,1$$

$$\text{Vậy : } TZ = 1,1t_C - 5$$

$$\text{Tại } TZ = t_C \text{ thì: } t_C = 1,1t_C - 5 \Rightarrow t_C = 50^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{Z}$$

Thí dụ 3:

Trong một bình thể tích V chứa 14g khí Nitơ và 7g khí Hydrô ở nhiệt độ $t = 10^{\circ}\text{C}$ và áp suất $p = 10^6$ Pa. Tìm khối lượng của 1kmol hỗn hợp và thể tích của bình

Giải :

Áp suất riêng phần của Nitơ và Hydrô: p_1 ; p_2 .

$$\text{Ta có : } p_1 = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot \frac{RT}{V} \quad \text{và} \quad p_2 = \frac{m_2}{\mu_2} \cdot \frac{RT}{V}$$

$$\text{Áp suất cả hỗn hợp : } p = p_1 + p_2 = \frac{m_1}{\mu_1} \cdot \frac{RT}{V} + \frac{m_2}{\mu_2} \cdot \frac{RT}{V} = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) \frac{RT}{V}$$

Khối lượng cả hỗn hợp : $M = m_1 + m_2$; μ : khối lượng 1kmol hỗn hợp

Ta có:
$$p = \frac{M}{\mu} \frac{RT}{V} = \frac{m_1 + m_2}{\mu} \frac{RT}{V}$$

So sánh
$$\frac{m_1 + m_2}{\mu} = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right)$$

Vậy:
$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} = \frac{14 + 7}{\frac{14}{28} + \frac{7}{2}} = \frac{21}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} = 5,25 \text{ kg/kmol}$$

Thể tích bình chứa:
$$V = \frac{M}{\mu} \frac{RT}{p} = \frac{21 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \times 283}{5,25 \times 10^6} \text{ m}^3$$
$$= 0,0094 \text{ m}^3 = 9,4 \text{ dm}^3$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG I

MỞ ĐẦU VÀ KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Bài 1.1 Nhiệt điện trở bán dẫn được dùng để làm nhiệt kế trong thang nhiệt độ tuyệt đối. Điện trở R phụ thuộc nhiệt độ T theo công thức:

$$R = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Cho: $B = 4689^{\circ}\text{K}$; $T_0 = 273^{\circ}\text{K}$; $R_0 = 10^4 \Omega$ (điện trở ở T_0). Hỏi: Khi $R = 100 \Omega$ thì nhiệt độ T là bao nhiêu?

$$\text{ĐS: } \approx 3730\text{K}$$

Bài 1.2 Một nhiệt kế chỉ +20C khi được nhúng trong nước đá đang tan và +105⁰C khi nhúng trong hơi nước đang sôi ở áp suất 760 mmHg.

1. Tìm nhiệt độ đúng theo thang Celsius của chất lỏng khi nhiệt kế chỉ 26⁰C.
2. Tìm nhiệt độ Fahrenheit tương ứng với nhiệt độ trên.

$$\text{ĐS: } 23,3^{\circ}\text{C}; 73,9^{\circ}\text{F}$$

Bài 1.3 Một nhiệt kế thủy ngân làm bằng bầu R gắn với một cần hình trụ có độ chia cách đều nhau. Ở 0⁰C, khi đổ $m_1 = 1,3358 \text{ g}$ thủy ngân vào nhiệt kế thì nó lên đến vạch $n_1 = 5$, còn khi đổ $m_2 = 1,3550 \text{ g}$ thủy ngân thì nó lên đến vạch $n_2 = 95$.

1. Tìm thể tích của một vạch trên cần trụ và thể tích của bầu R ở 0⁰C.
2. Khi nhiệt kế chứa một lượng thủy ngân và được ngâm vào nước đá đang tan ở áp suất chuẩn thì mực thủy ngân lên đến vạch $n = -3$ còn khi nhúng vào hơi nước đang sôi ở áp suất chuẩn thì nó lên đến vạch $n' = 106$. Tìm hệ số nở thể tích của thủy ngân trong thủy tinh.

$$\text{ĐS: } 0,0157 \text{ mm}^3; 0,0981 \text{ cm}^3; 0,174 \cdot 10^{-3} \text{ độ}^{-1}$$

Bài 1.4 Một chất khí có khối lượng $m = 1\text{g}$, ở nhiệt độ $t = 27^{\circ}\text{C}$, có áp suất $p = 0,5\text{atm}$ và thể tích $V = 1,8\text{ lít}$. Hỏi khí đó là khí gì ?

ĐS: N_2

Bài 1.5 Nung nóng một bình đựng khí Hidro có thể tích $V = 10\text{ lít}$, nhiệt độ $t = 7^{\circ}\text{C}$ và áp suất $p = 50\text{at}$. Vì bình hở nên có một lượng khí Hidro thoát ra ngoài. Hidro còn lại trong bình có nhiệt độ 17°C , áp suất vẫn như cũ. Tính khối lượng khí Hidro thoát ra ngoài.

ĐS : $1,46\text{g}$

Bài 1.6 Trong một bình dung tích 2m^3 chứa hỗn hợp khí Nitơ và ôxít Nitơ (NO). Xác định khối lượng ôxít Nitơ nếu khối lượng hỗn hợp là 14kg , nhiệt độ 300°K và áp suất $0,6 \cdot 10^6\text{ Pa}$.

ĐS : $8,4\text{ kg}$

Bài 1.7 Biết rằng không khí có $23,6\%$ trọng lượng là khí O_2 và $76,4\%$ trọng lượng là khí N_2 . Tìm :

- Khối lượng riêng của không khí ở áp suất 750mmHg và nhiệt độ 27°C .
- Áp suất riêng phần của O_2 và N_2 ở điều kiện trên.

ĐS : $1,2\text{kg/m}^3$; $0,2 \cdot 10^5\text{Pa}$; $0,78 \cdot 10^5\text{Pa}$

Bài 1.8 Một lít O_2 ở 20°C , dưới áp suất 3atm và 3 lít CO_2 ở 50°C dưới áp suất 2atm , được trộn lẫn với nhau trong một bình có dung tích 5l ở 40°C . Tính áp suất và khối lượng mol của hỗn hợp.

ĐS : $1,8\text{atm}$; $39,88\text{ g/mol}$

Bài 1.9 Ở nhiệt độ $t = 4^{\circ}\text{C}$, áp suất hơi nước bão hòa khô $p = 0,8\text{kPa} = 6\text{mmHg}$. Khối lượng riêng của nước lỏng p_1 lớn hơn khối lượng riêng của nước bão hòa khô p_2 bao nhiêu lần ? Ở nhiệt độ này thể tích của một phân tử nước lỏng và của một phân tử hơi nước là bao nhiêu ?

ĐS : $1,6 \cdot 10^5$; $3 \cdot 10^{-29}\text{m}^3$; $4,8 \cdot 10^{-24}\text{m}^3$

CHƯƠNG II

NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG HỌC

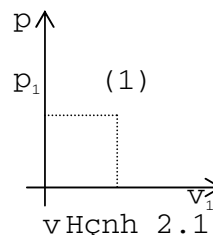
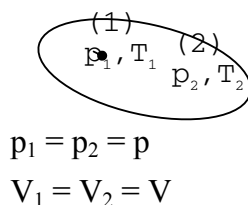
Nhiệt động lực học là ngành nhiệt học nghiên cứu sự biến đổi năng lượng của hệ vĩ mô. Cơ sở của nhiệt động lực học là hai nguyên lý nhiệt động lực được rút ra từ thực nghiệm; từ đó NDH giải thích các hiện tượng nhiệt trong các điều kiện khác nhau mà không chú ý đến cấu tạo phân tử vật chất.

2.1 TRẠNG THÁI CÂN BẰNG VÀ QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG

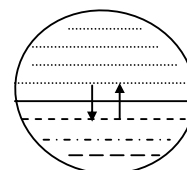
2.1.1 Trạng thái cân bằng

Trạng thái cân bằng của một hệ vĩ mô là trạng thái mà các thông số trạng thái (p, V, T) của hệ được hoàn toàn xác định và nếu không có tác động từ ngoài thì trạng thái đó không biến đổi theo thời gian.

Khi một hệ ở TTCB thì mọi nơi trong hệ mỗi thông số trạng thái đều có cùng một giá trị như : cùng một áp suất p , cùng một nhiệt độ T ... vì vậy có thể biểu diễn mỗi TTCB bằng một điểm trên giản đồ p, V (hình 2.1).

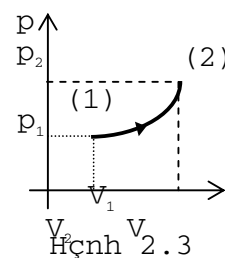


Cân bằng động : Giả sử một hệ kín gồm chất lỏng và hơi bão hòa của nó ở TTCB. Khi đó tại mọi nơi trong hệ có cùng một giá trị áp suất p , nhiệt độ T ... Tuy vậy trong hệ vẫn xảy ra quá trình biến đổi phân tử lỏng thành hơi hoặc ngược lại; trong quá trình này số phân tử thoát ra khỏi khối chất lỏng đúng bằng số phân tử hơi trở lại chất lỏng. Sự cân bằng đó được gọi là cân bằng động (hình 2.2) .



Hçnh 2.2

2.1.2 Quá trình cân bằng: (còn gọi là quá trình chuẩn tĩnh). Một quá trình biến đổi của hệ gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng được gọi là một quá trình cân bằng.



Hçnh 2.3

Trên giản đồ (p, V) quá trình cân bằng được biểu diễn bằng một đường liền nét (hình 2.3).

Quá trình cân bằng là một quá trình lý tưởng khó xảy ra trên thực tế. Vì rằng để trạng thái cân bằng sau được thiết lập thì trạng thái cân bằng trước phải bị phá vỡ và phải có một khoảng thời gian hệ ở không cân bằng.

Tuy vậy, một cách gần đúng có thể coi quá trình nén hoặc giãn khí diễn ra vô cùng chậm trong xi lanh bằng một pittông là một quá trình cân bằng, khi đó ở mỗi thời điểm có thể coi áp suất, nhiệt độ khí trong xi lanh là đồng đều.

2.2 NỘI NĂNG HỆ NHIỆT ĐỘNG, CÔNG VÀ NHIỆT

2.2.1 Nội năng hệ nhiệt động

Năng lượng của hệ là đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của các phần tử vật chất trong hệ.

Năng lượng của hệ bao gồm động năng chuyển động có hướng của cả hệ; thế năng tương tác giữa hệ với trường lực đặt hệ, và nội năng U .

$$W = W_d + W_t + U \quad (2.1)$$

Trong NĐH người ta giả định là động năng chuyển động có hướng của cả hệ $W_d = 0$ và hệ không đặt trong trường lực nào nên $W_t = 0$.

Từ đó năng lượng của hệ đúng bằng nội năng hệ

$$W = U \quad (2.2)$$

+ Nội năng U là phần năng lượng ứng với các dạng vận động diễn ra bên trong hệ, bao gồm:

- Động năng chuyển động nhiệt của các phần tử (chuyển động tịnh tiến, quay, dao động phân tử ...)

- Thế năng tương tác giữa các phân tử.

- Năng lượng lớp vỏ điện tử của nguyên tử, năng lượng hạt nhân....

Nếu nhiệt độ và áp suất khí không quá cao thì năng lượng lớp vỏ điện tử và năng lượng hạt nhân không thay đổi khi vật thay đổi trạng thái. Như vậy trong NĐH nội năng U chỉ gồm động năng chuyển động nhiệt phân tử và thế năng tương tác phân tử.

Người ta chứng minh được : động năng chuyển động nhiệt của phân tử phụ thuộc nhiệt độ khối khí, còn thế năng tương tác phân tử phụ thuộc thể tích khí.

Từ đó nội năng U là hàm của hai thông số nhiệt độ T và V

$$U = U(T, V) \quad (2.3)$$

Do năng lượng là hàm trạng thái hệ nên nội năng U cũng là hàm trạng thái của hệ. Điều đó có nghĩa là:

- Mỗi trạng thái của hệ, U có một giá trị xác định đơn nhất.

- Khi hệ thay đổi trạng thái, độ biến thiên nội năng ΔU không phụ thuộc vào đường biến đổi mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối của biến đổi.

2.2.2 Công và nhiệt

Thực nghiệm cho thấy: Sự trao đổi năng lượng giữa hệ với khoảng ngoài có thể diễn ra ở hai dạng công hoặc nhiệt.

2.2.2.1 Công

Là dạng truyền năng lượng làm gia tăng mức độ chuyển động có trật tự của cả hệ.

Ví dụ: khí đưng trong xi lanh khi giãn nở đã đẩy pittông chuyển động; năng lượng khối khí đã truyền sang pittông ở dạng công A.

2.2.2.2 Nhiệt

Là dạng truyền năng lượng do tương tác trực tiếp giữa các phân tử của hệ và khoảng ngoài.

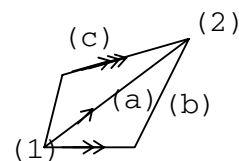
Ví dụ: Cho vật nóng (có nhiệt độ cao T_1) đặt tiếp xúc với vật lạnh (có nhiệt độ thấp T_2). Khi đó các phân tử của vật nóng sẽ tương tác với các phân tử của vật lạnh. Trong quá trình này phân tử vật nóng sẽ truyền một phần năng lượng chuyển động nhiệt của nó cho phân tử vật lạnh. Do đó nội năng vật nóng giảm đi, nội năng của vật lạnh tăng lên, đồng thời một nhiệt lượng được truyền từ vật nóng sang vật lạnh, quá trình này dừng lại khi nhiệt độ vật nóng và nhiệt độ vật lạnh bằng nhau ($T_1' = T_2'$).

2.2.2.3 Quan hệ công và nhiệt

- Công và nhiệt là hai đại lượng đặc trưng cho quá trình trao đổi năng lượng giữa hệ và khoảng ngoài hệ.

- Công và nhiệt đều là các hàm của quá trình, nó xuất hiện trong quá trình trao đổi năng lượng, và phụ thuộc vào quá trình đó.

- Khác với năng lượng hoặc nội năng là những hàm trạng thái của hệ nên trong một quá trình biến đổi độ biến thiên năng lượng G , hoặc độ biến thiên nội năng của hệ không phụ thuộc vào đường biến đổi, còn công và nhiệt là những đại lượng phụ thuộc vào đường biến đổi, nên khi hệ thay đổi từ trạng thái (1) sang trạng thái (2) công và nhiệt trao đổi giữa hệ và khoảng ngoài theo các đường biến đổi (a), (b), (c) đều khác nhau (hình 2.4).



Hình 2.4

- Công và nhiệt có một mối quan hệ chặt chẽ :
công có thể biến thành nhiệt (bằng quá trình ma sát...) hoặc ngược lại nhiệt có thể biến thành công.

Cứ tốn công 1 Jun thì thu được 0,24calo hoặc 1calo thì thu được 4,18 J.

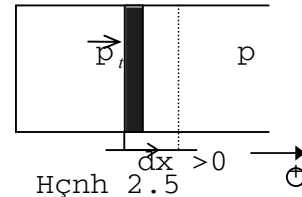
1calo = 4,18 J: đương lượng cơ học.

2.3- BIỂU THỨC CÔNG VÀ NHIỆT TRONG QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI CÂN BẰNG

2.3.1 Biểu thức công

Công A có nhiều loại (cơ, điện, từ...). Trong cơ học

$A = F \cdot d$ F:lực d : khoảng dịch chuyển theo phương của lực



2.3.1.1 Công sinh ra bởi khối khí giãn nở

Hệ: khối khí trong xi lanh đặt nằm ngang, pittông có diện tích S và dịch chuyển không ma sát trong xi lanh (hình 2.5).

Khi pittông nằm cân bằng áp suất bên trong $p_t =$ áp suất bên ngoài p.

Áp lực tác dụng lên pittông: $F = p_t \cdot S$

Dưới tác dụng của F pittông dịch từ vị trí (1) G (2) làm khí nở thể tích từ V_1 V_2 , giả sử quá trình này là một quá trình vô cùng chậm để có thể coi là pW p.

Công khối khí sinh ra khi pittông dịch dx:

$$\delta A = F dx = p S dx = p dV$$

$$\text{Vậy : } \hat{c}A = p \cdot dV \quad (2.4)$$

Công sinh ra khi pittông dịch từ (1) (2):

$$A = \int_1^2 \delta A = \int_1^2 p dV \quad (2.5)$$

+ Quy ước : $\hat{c}A > 0$ $\hat{c} dx > 0$ $\hat{c} dv > 0$ \hat{c} giãn khí , hệ sinh công.

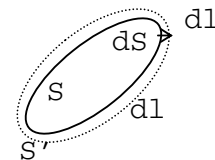
$\hat{c}A < 0$ $\hat{c} dx < 0$ $\hat{c} dv < 0$ \hat{c} nén khí, hệ nhận công

2.3.1.2 Trường hợp tổng quát

Giả sử một khối khí được bao bởi một mặt kín (S) bất kỳ, áp suất tại mọi nơi trong khối khí là p (hình 2.6)

Áp lực tác dụng lên một diện tích dS: $dF = p \cdot dS$

Khi khí giãn nở vô cùng chậm, phần tử dS dịch một đoạn dl > 0 ; công thực hiện của phần tử: $\hat{c}A = dF \cdot dl = p \cdot dS \cdot dl$



Hình 2.6

Nếu tính cho cả mặt (S): $\hat{c}A = \hat{c}V = p \cdot dV$

$dV = \hat{c}V$: độ biến thiên thể tích hệ

Vậy: Công khí sinh ra: $\hat{c}A = p \cdot dV$

$\delta A > 0$ khi hâu sinh công.

$\hat{c}A < 0$ khi hệ nhận công

Trong công thức trên, $\hat{c}A$ là vi phân không toàn chỉnh.

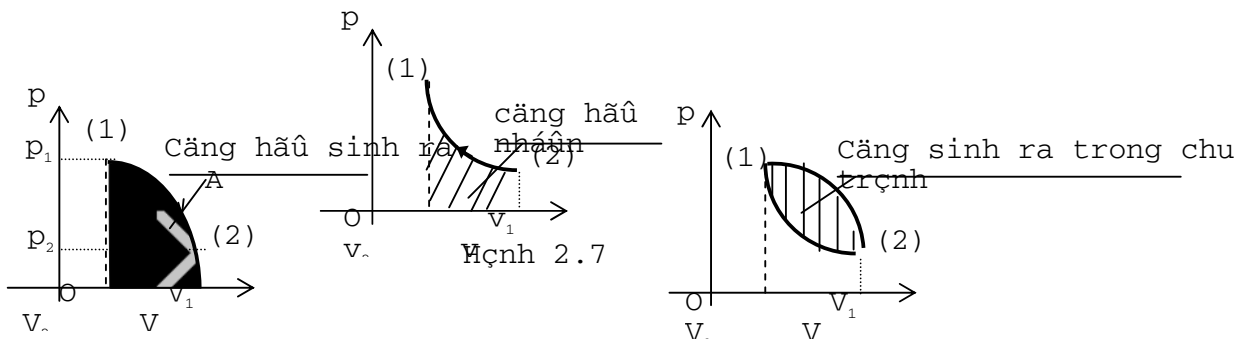
Công sinh ra trong quá trình biến đổi vĩ mô làm thể tích V : V_1 V_2

$$A = \int_1^2 \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p.dV$$

2.3.2 Biểu diễn công bằng đồ thị

Công của quá trình (1)G(2) : $A = \dot{G}$

Trên giản đồ (p,V) theo nghĩa hình học của tích phân thì công A là lượng diện tích nằm dưới biểu đồ (hình 2.7).



Công thực hiện bởi chu trình:

Chu trình là một quá trình biến đổi mà trạng thái cuối của biến đổi trùng với trạng thái đầu.

Trong thí dụ trên nếu ta thực hiện một quá trình nén khí vô cùng chậm để đưa hệ trở lại trạng thái đầu, khi đó ta có chu trình (1)→(2)→(1). Công sinh ra trong chu trình là diện tích nằm giới hạn trong biểu đồ.

2.3.3 Biểu thức nhiệt trong quá trình cân bằng

2.3.3.1 Nhiệt dung

Nhiệt dung C của hệ là đại lượng có giá trị bằng nhiệt mà hệ nhận để nhiệt độ hệ tăng lên một độ.

Giả sử \dot{G} là nhiệt hệ nhận để tăng nhiệt độ dT thì:

$$\text{Nhiệt dung của hệ: } C = \frac{\delta Q}{dT} \text{ hay } \delta Q = CdT \quad (2.6)$$

Do Q không là hàm trạng thái hệ nên \dot{G} là vi phân không toàn chỉnh

Nhiệt hệ nhận trong quá trình biến đổi vĩ mô từ: (1)G(2)

$$Q = \int_1^2 \delta Q = \int_1^2 CdT = C.(T_2 - T_1) = C.\Delta T. \quad (2.7)$$

Nhiệt (nhiệt lượng) là một hàm của quá trình nên nhiệt dung C của hệ không đơn giá trị mà phụ thuộc vào quá trình nhận nhiệt của hệ.

Nếu trong quá trình nhận nhiệt mà áp suất hệ được giữ không đổi, ta có nhiệt dung đẳng áp C_p ; còn nếu thể tích hệ được giữ không đổi, ta có nhiệt dung đẳng tích C_v .

Thực nghiệm cho thấy rằng giá trị nhiệt dung $C_p \neq C_v$

2.3.3.2 Nhiệt dung riêng c (tỉ nhiệt)

Nhiệt dung riêng c của một chất là đại lượng có giá trị bằng nhiệt lượng cần để đưa một đơn vị khối lượng chất ấy tăng một độ.

- Biểu thức:

Gọi m là khối lượng hệ (hay vật)

\dot{Q} là nhiệt truyền cho hệ để nhiệt độ hệ tăng dT .

$$\text{- Nhiệt dung riêng : } c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \quad [J / Kg^{\circ}K] \quad (2.8)$$

$$\text{- Nhiệt cung cấp : } \delta Q = m \cdot c \cdot dT \quad (2.9)$$

Như đã nói ở trên, nhiệt dung riêng C không đơn giá trị vì nhiệt là một hàm của quá trình.

2.3.3.3 Nhiệt dung phân tử C_{μ}

Nhiệt dung phân tử C_{μ} của một chất là nhiệt lượng cần truyền cho 1 kmol chất ấy tăng lên một độ.

1 kmol có chứa $N = 6,023 \cdot 10^{26}$ nguyên tử hoặc phân tử, có khối lượng μ (kg).

- **Biểu thức:**

Như vậy : $\dot{N} = \dot{G} \cdot c$

$$C_{\mu} = \mu \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \Rightarrow \delta Q = \frac{m}{\mu} C_{\mu} dT \quad (2.10)$$

- **Đơn vị:** Trong hệ SI $C_{\mu} \left[\frac{J}{mol \cdot ^{\circ}K} \right]$; $\frac{m}{\mu} = n = \text{số kmol}$

- **Nhiệt cung cấp để nhiệt độ hệ tăng từ $T_1 \rightarrow T_2$**

$$Q = \int \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} C_{\mu} dT = \frac{m}{\mu} \int_{T_1}^{T_2} C_{\mu} dT = n \int_{T_1}^{T_2} C_{\mu} dT \quad (2.11)$$

$$\text{Với quá trình biến đổi đẳng tích: } C_{\mu} = C_v \Rightarrow Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T \quad (2.12)$$

$$\text{Với quá trình biến đổi đẳng áp: } C_{\mu} = C_p \Rightarrow Q = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T \quad (2.13)$$

Trong chương (3) ta chứng minh được C_v và C_p của khí lí tưởng phụ thuộc vào từng loại khí.

$$\text{Nếu khí đơn nguyên tử thì : } C_v = \frac{3}{2}R \quad \text{và} \quad C_p = \frac{5}{2}R$$

$$\text{Nếu khí lưỡng nguyên tử thì : } C_v = \frac{5}{2}R \quad \text{và} \quad C_p = \frac{7}{2}R$$

$$\text{Nếu khí đa nguyên tử thì: } C_v = 3R \quad \text{và} \quad C_p = 4R$$

Quy ước: Nhiệt lượng Q hệ nhận có giá trị đại số:

- Hệ thực sự nhận nhiệt $\Leftrightarrow Q > 0$

- Hệ thực sự tỏa nhiệt $\Leftrightarrow Q < 0$

2.3.4 Nhiệt biến đổi trạng thái (ẩn nhiệt)

Thực nghiệm cho thấy rằng: Có những quá trình mà khi hệ trao đổi năng lượng với khoảng ngoài, nội năng hệ thay đổi nhưng nhiệt độ hệ không đổi. Điều đó cho thấy sự thay đổi nội năng là do sự thay đổi thế năng tương tác các phân tử trong hệ (thể tích hệ). Các quá trình đó dẫn đến sự thay đổi trạng thái (*pha*) của hệ.

Ví dụ: - Quá trình nóng chảy; hay đông đặc.

- Quá trình hóa hơi; hay ngưng tụ.

Trong quá trình nóng chảy; hệ từ thể rắn chuyển sang thể lỏng; nhưng nhiệt độ của vật nóng chảy được giữ không đổi ($T = \text{const}$) trong suốt quá trình mà hệ đổi pha. Các quá trình chuyển pha khác cũng xảy ra tương tự.

Nhiệt lượng mà hệ trao đổi trong quá trình biến đổi trạng thái được gọi là nhiệt biến đổi trạng thái hay “**ẩn nhiệt**”. (Gọi “ẩn nhiệt” vì là có sự trao đổi nhiệt nhưng nhiệt độ hệ không thay đổi giống như là có sự ẩn dấu nhiệt).

Nhiệt lượng mà một đơn vị khối lượng chất của hệ nhận vào hay nhả ra gọi là ẩn nhiệt riêng, đôi khi để đơn giản gọi là ẩn nhiệt L .

Ví dụ: Nhiệt nóng chảy của nước đá ở áp suất thường.

$$L_f = 79,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 6,01 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}} = 333 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Nhiệt hóa hơi của nước ở áp suất thường (1at).

$$L_v = 539 \frac{\text{cal}}{\text{g}} = 2260 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 40,7 \frac{\text{KJ}}{\text{mol}}$$

Khi vật khối lượng m chịu sự biến đổi trạng thái (biến đổi pha) sẽ nhận vào hoặc tỏa ra một nhiệt lượng:

$$Q = L.m \tag{2.14}$$

Đơn vị: trong hệ SI $L [J/Kg]$

2.4 NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

2.4.1 Phát biểu:

Giả sử một hệ biến đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2), trong quá trình này hệ nhận từ bên ngoài nhiệt Q , sinh cho bên ngoài công A đồng thời năng lượng hệ thay đổi một lượng:

$$\Delta W = W_2 - W_1.$$

Theo (2.2) $W = U \Rightarrow \Delta W = \Delta U$

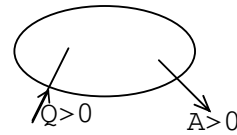
Theo định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng:

$$\Delta W = Q - A \text{ nên: } \Delta U = Q - A$$

Vậy : $Q = \Delta U + A$ (2.15)

Phát biểu: Nhiệt truyền cho hệ trong một quá trình có giá trị bằng tổng độ biến thiên nội năng của hệ và công do hệ sinh ra trong quá trình đó.

- Quy ước:**
- $Q > 0 \Leftrightarrow$ hệ thực sự nhận nhiệt
 - $Q < 0 \Leftrightarrow$ hệ thực sự tỏa nhiệt
 - $A > 0 \Leftrightarrow$ hệ thực sự sinh công
 - $A < 0 \Leftrightarrow$ hệ thực sự nhận công



Hình 2.8

+ **Đối với một quá trình nguyên tố:** Trong một quá trình vô cùng bé, hệ nhận một lượng nhỏ nhiệt δQ , sinh cho bên ngoài một lượng nhỏ công δA . đồng thời thay đổi nội năng dU thì:

$$dU = \delta Q - \delta A \quad (2.16)$$

Trong cách viết này: Do U là một hàm trạng thái hệ nên dU là một vi phân toàn chỉnh. Còn A, Q là các hàm của quá trình nên $\delta Q, \delta A$ là lượng nhỏ nhiệt, lượng nhỏ công, chúng là các vi phân không toàn chỉnh.

2.4.2 Ý nghĩa của nguyên lý I

- Nguyên lý I là một dạng của định luật Bảo Toàn và Biến Đổi Năng Lượng; $Q = \Delta U + A$ nên hệ muốn sinh công cho bên ngoài thì hệ phải nhận nhiệt Q , lượng nhiệt mà hệ nhận đúng bằng tổng công hệ sinh ra và độ biến thiên nội năng hệ.

- Đối với động cơ hoạt động theo chu trình tuần hoàn: Sau một chu trình trạng thái hệ trở lại như cũ $\Delta U = 0 \Rightarrow A = Q$, vậy: để hệ sinh công thì cần nhận nhiệt, công sinh ra đúng bằng nhiệt hệ nhận Q .

- Phủ nhận tồn tại động cơ vĩnh cửu loại I:

Theo nguyên lý I: không thể có loại động cơ chỉ mãi sinh công cho bên ngoài mà không cần nhận nhiệt từ bên ngoài, hoặc sinh công lớn hơn lượng nhiệt truyền cho nó. Động cơ như vậy được gọi là động cơ vĩnh cửu loại I.

Nguyên lý I phủ nhận sự tồn tại động cơ đó: “**Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại I**”.

2.4.3 Quan hệ giữa nhiệt dung CP và Cv

Xét hệ là 1 kmol chất thực hiện một biến đổi vi mô:

Theo nguyên lý I: $dU = \delta Q - p.dV \Rightarrow \delta Q = dU + p.dV$

Theo (2.17): $dU = \left(\frac{\delta U}{\delta T}\right)_V .dT + \left(\frac{\delta U}{\delta V}\right)_T .dV$ nên:

$$\delta Q = \left(\frac{\delta U}{\delta T}\right)_V dT + \left(\frac{\delta U}{\delta V}\right)_T dV + p.dV \quad \text{vậy:}$$

$$\delta Q = \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] .dV + \left(\frac{\delta U}{\delta T} \right)_V dT \quad (2.17)$$

Phương trình này là tổng quát cho mọi chất và cho mọi biến đổi thuận nghịch.

+ Đối với biến đổi đẳng tích: $dV = 0$ và $\delta Q = C_v dT$ nên:

$$C_v = \left(\frac{\delta U}{\delta T} \right)_V \quad (2.18)$$

Phương trình (2.22) được viết lại:

$$\delta Q = \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] .dV + C_v dT \quad (2.19)$$

+ Đối với biến đổi đẳng áp: $\delta Q = C_p dT$ nên:

$$C_p dT = C_v dT + \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] .dV \quad \text{từ đó}$$

$$C_p - C_v = \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] . \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p \quad (2.20)$$

$$\left(\text{Quá trình đẳng áp có } \frac{dV}{dT} = \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p \right)$$

Đây là phương trình biểu thị quan hệ giữa nhiệt dung C_p và C_v

Nếu thay quá trình đẳng áp bằng một quá trình nào đó mà thông số nhiệt động x của hệ được giữ không đổi thì: $\delta Q = C_x dT$ và phương trình trên trở thành:

$$C_x - C_v = \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] . \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_x \quad (2.21)$$

+ Bổ sung về vi phân riêng phần:

Trong toán học nếu F là hàm của hai biến (x,y) : $F = F(x,y)$ thì

$$+ \text{Vi phân toàn phần} \quad dF = \left. \frac{\delta F}{\delta x} \right|_y .dx + \left. \frac{\delta F}{\delta y} \right|_x .dy$$

$$\text{Do vậy nếu } U = U(T,V) \text{ thì: } dU = \left. \frac{\delta U}{\delta T} \right|_V .dT + \left. \frac{\delta U}{\delta V} \right|_T .dV \quad (2.22)$$

Và đạo hàm bậc hai của U không phụ thuộc vào thứ tự lấy đạo hàm, nghĩa là :

$$\left(\frac{\delta^2 U}{\delta V \delta T} \right) = \left(\frac{\delta^2 U}{\delta T \delta V} \right) \quad (2.23)$$

U : Hàm trạng thái, vi phân dU là vi phân toàn chỉnh.

+ Một số hệ thức đạo hàm riêng phần của ba biến số nghiệm đúng phương trình $F(x,y,z) = 0$. Giả sử, đem giải phương trình lần lượt cho x và y ta được:

$$x = f1(y,z) \quad ; \quad y = f2(x,z) \quad \text{như trên:}$$

$$dx = \left. \frac{\delta x}{\delta y} \right|_z .dy + \left. \frac{\delta x}{\delta z} \right|_y .dz \quad \text{và} \quad dy = \left. \frac{\delta y}{\delta x} \right|_z .dx + \left. \frac{\delta y}{\delta z} \right|_x .dz$$

Khử dy trong hai phương trình trên và viết lại ta có :

$$\left[1 - \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_z \right] dx = \left[\left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x + \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)_y \right] dz$$

Vì biến thiên của dx và dz độc lập nhau nên các hệ số phải bằng 0, ta được các hệ thức sau :

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z = \frac{1}{\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_z} \quad (2.24)$$

$$\text{và : } \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x + \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)_y = 0 \quad (2.25)$$

$$\text{hoặc : } \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z \cdot \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x \cdot \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y = -1 \quad (2.26)$$

2.5 ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ I ĐỂ KHẢO SÁT MỘT SỐ QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI CÂN BẰNG

Giả sử; Hệ là m kg khí lý tưởng thực hiện một biến đổi cân bằng từ trạng thái (1) sang trạng thái (2).

$$\begin{array}{ccc} (1) & \rightarrow & (2) \\ p_1 V_1 T_1 & & p_2 V_2 T_2 \end{array}$$

Nếu quá trình này là:

2.5.1 Quá trình đẳng tích

Quá trình biến đổi cân bằng đẳng tích là quá trình biến đổi cân bằng mà thể tích hệ được giữ không đổi.

$$V = V_1 = V_2 = \text{const}$$

- **Ví dụ:** Quá trình đun nóng hoặc làm lạnh khối khí trong bình có hệ số giãn nở nhiệt không đáng kể.

- **Phương trình của quá trình:** Theo định luật Gay - Lussac.

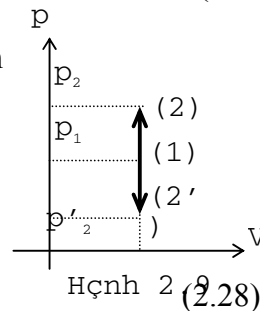
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{P}{T} = \text{const} \quad (2.27)$$

- **Biểu đồ:** Trên giản đồ (p, V) quá trình đẳng tích được biểu thị bằng một đoạn thẳng song song trục p

- (1) \dot{G} (2) : quá trình đun nóng
(2) \dot{G} (2') : quá trình làm lạnh

- **Công hệ sinh:** $\delta A = p dV$

$$\text{do } dV = 0 \Rightarrow \delta A = 0 \Rightarrow A = \int_1^2 \delta A = 0$$



Vậy trong quá trình đẳng tích hệ không trao đổi công với khoảng ngoài.

- **Nhiệt hệ nhận:** $\delta Q = \frac{m}{\mu} C_v dT$

$$\Rightarrow Q = \int_1^2 \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} C_V dT = \frac{m}{\mu} C_V \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$Q = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T \quad (2.29)$$

Do đó : $\hat{c} > 0 \Rightarrow Q > 0$ Hệ thực sự nhận nhiệt.

$\hat{c} < 0 \Rightarrow Q < 0$ Hệ thực sự tỏa nhiệt (quá trình làm lạnh)

- Độ biến thiên nội năng

Theo nguyên lý I $\Delta U = Q - A$. Do $A = 0 \Rightarrow \Delta U = Q$

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T \quad (2.30)$$

Trong quá trình đẳng tích, nhiệt hệ nhận vào $Q > 0$ chỉ làm thay đổi nội năng hệ; nhiệt độ hệ tăng.

2.5.2 Quá trình đẳng áp

Là quá trình biến đổi cân bằng mà áp suất hệ được giữ không đổi.

$$p = p_1 = p_2 = \text{const}$$

- Ví dụ: quá trình hơi nóng hoặc làm lạnh khối khí trong xi lanh có pittông di chuyển tự do, đảm bảo áp suất bên trong khối khí bằng áp suất khí quyển bên ngoài.

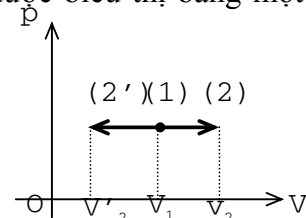
- Phương trình của quá trình: theo định luật Gay - Lussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V}{T} = \text{const} \quad (2.31)$$

- Biểu đồ: Trên giản đồ (p,v) quá trình đẳng áp được biểu thị bằng một đoạn thẳng song song trục thể tích.

(1) → (2) : quá trình hơi nóng

(1) → (2): quá trình làm lạnh



Hình 2.10

- Công hệ sinh:

$$\text{Công nguyên tố: } \delta A = p dV$$

$$\text{Công trong quá trình (1) } (1) \rightarrow (2) : A = \int_1^2 \delta A = \int_1^2 p dv = p \int_1^2 dv$$

$$\Rightarrow A = p \cdot \Delta V \quad (2.32)$$

với $\Delta V > 0 \Leftrightarrow$ quá trình giãn khí \Leftrightarrow hệ sinh công

$\Delta V < 0 \Leftrightarrow$ quá trình nén khí \Leftrightarrow hệ nhận công

- Nhiệt hệ nhận :

$$\text{Nhiệt trong quá trình nguyên tố: } \delta Q = \frac{m C_p}{\mu} dT$$

. Nhiệt trong quá trình (1) \rightarrow (2): $Q = \int_1^2 \delta Q = \int \frac{mC_p}{\mu} dT$

$$\Rightarrow Q = \frac{mC_p}{\mu} \int_1^2 dT = \frac{mC_p}{\mu} \Delta T \quad (2.33)$$

- Biến thiên nội năng:

Trong quá trình nguyên tố : $dU = \delta Q - \delta A = \frac{mC_p}{\mu} dT - p dV$

Trong quá trình (1) \rightarrow (2): $\Delta U = \int_1^2 dU = Q - A = \frac{mC_p}{\mu} \Delta T - p \Delta V$

Do là KLT nên: $pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p \Delta V = \frac{m}{\mu} R \Delta T$

Vậy : $\Delta U = \frac{mC_p}{\mu} \Delta T - \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{m}{\mu} (C_p - R) \Delta T \quad (2.34)$

So sánh với biểu thức (2.30) của quá trình đẳng tích, và giả sử GU của hai quá trình bằng nhau:

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T = \frac{m}{\mu} (C_p - R) \Delta T$$

$$\Rightarrow C_p = C_v + R \quad \text{: Hệ thức Mayer,} \quad (2.35)$$

Đặt: $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ gọi là hệ số Poat-xông.

Thì: $\gamma = 1 + \frac{R}{C_v} \Rightarrow \frac{R}{C_v} = \gamma - 1$

Hay: $C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$ và $C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \quad (2.36)$

2.5.3 Quá trình đẳng nhiệt

Là quá trình biến đổi cân bằng mà nhiệt độ hệ được giữ không đổi.

$$T = T_1 = T_2 = \text{const}$$

- Ví dụ: Quá trình nén hoặc giãn khí tiếp xúc với môi trường lớn có nhiệt độ không đổi, hay có bình điều nhiệt.

- Phương trình của quá trình: Theo định luật Bôilơ - Mariôt

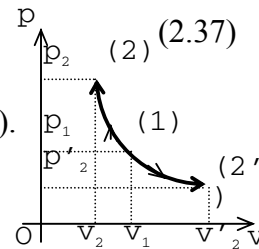
$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow pV = \text{const} \quad (2.37)$$

- Biểu đồ:

Trên giản đồ (p,V) biểu đồ có dạng Hyperbol (hình 2.11).

(1) (2) : quá trình nén khí

(1) \rightarrow (2') : quá trình giãn khí



Hình 2.11

- Công hệ sinh:

Công nguyên tố $\delta A = p.dV$

$$\begin{aligned}\Rightarrow A &= \int_1^2 \delta A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V} dV = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \\ \Rightarrow A &= \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2}\end{aligned}\quad (2.38)$$

- **Độ biến thiên nội năng:** Đối với KLT nội năng chỉ phụ thuộc nhiệt độ khối khí (được chứng minh sau).

$$\text{Do nhiệt độ } T = \text{Const} \Rightarrow U = \text{Const} \Rightarrow \Delta U = 0 \quad (2.39)$$

- **Nhiệt hệ nhận:**

Từ nguyên lý I: $Q = \Delta U + A$ Do $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$

$$\Rightarrow Q = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (2.40)$$

Vậy: Nếu $Q > 0 \Rightarrow A > 0 \Leftrightarrow$ hệ nhận nhiệt, hệ sinh công.

Qui ước: Gọi $Q' = -Q$ là nhiệt mà hệ sinh ra, thì:

$$\Rightarrow Q' = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2.41)$$

Vậy: Trong quá trình biến đổi đẳng nhiệt, nhiệt hệ nhận vào đúng bằng công hệ sinh ra và nội năng hệ không thay đổi.

2.5.4 Quá trình đoạn nhiệt

Là quá trình biến đổi cân bằng mà hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài. ($\delta Q = 0 \Rightarrow Q = 0$).

- Ví dụ: quá trình nén hoặc giãn khí trong bình có vỏ cách nhiệt lý tưởng

- Phương trình của quá trình:

$$\text{Theo (2.16) ta có: } dU = \delta Q - \delta A \quad \text{do } dQ = 0$$

$$\Rightarrow dU = -\delta A$$

nếu $dU > 0 \Rightarrow \delta A < 0 \Leftrightarrow$ hệ nhận công, nội năng hệ tăng.

$dU < 0 \Rightarrow \delta A > 0 \Leftrightarrow$ hệ sinh công, nội năng hệ giảm.

$$\text{Ta có: } \frac{m}{\mu} C_V dT = -p \cdot dV$$

$$\text{Đối với khí lý tưởng: } p = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{m}{\mu} C_V dT = -\frac{m}{\mu} RT \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow C_V \cdot \frac{dT}{T} = -R \cdot \frac{dV}{V} \quad \text{thay } R = C_P - C_V$$

$$\Rightarrow C_V \cdot \frac{dT}{T} = -(C_P - C_V) \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \cdot \frac{dV}{V} = (1 - \gamma) \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = (1 - \gamma) \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\text{hay : } \ln \frac{T_2}{T_1} = (1 - \gamma) \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1 - \gamma} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1}$$

$$\text{Đồng nhất hai vế, ta được: } T_1 V_1^{\gamma - 1} = T_2 V_2^{\gamma - 1} = \text{const}$$

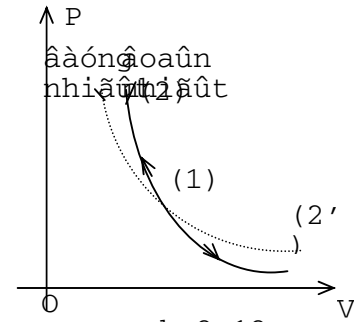
$$\text{Tổng quát: phương trình quá trình đoạn nhiệt: } T \cdot V^{\gamma - 1} = \text{const}$$

$$\text{Do } T = \frac{pV}{\frac{m}{\mu} R} \Rightarrow \text{pt poisson: } p \cdot V^{\gamma} = \text{const} \quad (2.42)$$

$$\text{Hoặc : } p^{1 - \gamma} T^{\gamma} = \text{const}$$

$$\text{Hoặc : } T \cdot p^{\frac{1 - \gamma}{\gamma}} = \text{const}$$

- **Biểu đồ:** từ phương trình $pV^{\gamma} = \text{const}$, trên giản đồ (p, V) biểu đồ có dạng giống biểu đồ đường đẳng nhiệt, nhưng đường đoạn nhiệt nằm dốc hơn đường đẳng nhiệt. Điều này được giải thích là: nếu nén đẳng nhiệt thì nhiệt độ hệ không thay đổi còn nén đoạn nhiệt, nhiệt độ hệ tăng làm biểu đồ nằm cao hơn đường đẳng nhiệt. Tương tự khi giãn đoạn nhiệt nhiệt độ hệ giảm, làm biểu đồ nằm thấp hơn đường đẳng nhiệt (hình 2.12).



Hình 2.12

(1) → (2) : nén đoạn nhiệt

(1) → (2') : giãn đoạn nhiệt

- **Công hệ sinh:**

$$\text{Theo (2.16): } dU = \delta Q - \delta A$$

$$\text{Đối với quá trình đoạn nhiệt } \delta Q = 0 \Rightarrow dU = -\delta A \quad \text{hay:}$$

$$\delta A = -dU = -\frac{m}{\mu} C_V dT \Rightarrow A = \int_1^2 -\frac{m}{\mu} C_V dT = -\frac{m}{\mu} C_V \Delta T$$

$$\text{Mặt khác : } A = \int_1^2 p dV$$

$$\text{Theo (2.42) : } p \cdot V^{\gamma} = p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$$

$$\Rightarrow p = \frac{p_1 V_1^{\gamma}}{V^{\gamma}}$$

Vậy :
$$A = p_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV = \frac{p_1 V_1^\gamma}{1-\gamma} [V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}]$$

Với:
$$p_1 V_1 \cdot V_2^{1-\gamma} = p_2 V_2 \cdot V_2^{1-\gamma} = p_2 V_2$$

Ta được :
$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-\gamma} \quad \text{hay} \quad A = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma-1} \quad (2.43)$$

Dùng phương trình trạng thái khí lý tưởng có thể đi đến kết quả:

$$A = \frac{p_1 V_1}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (2.44)$$

2.2.5 Quá trình đa biến

Là quá trình biến đổi mà nhiệt dung của hệ được giữ không đổi (còn gọi là quá trình polytropie).

Quá trình đa biến là một quá trình dễ diễn ra trên thực tế, nó là một quá trình trung gian giữa quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt.

Để có quá trình đẳng nhiệt cần phải có vật liệu dẫn nhiệt tuyệt đối, còn muốn có quá trình đoạn nhiệt cần phải có vật liệu cách nhiệt tuyệt đối, nên các quá trình khó xảy ra trên thực tế.

- Phương trình của quá trình:

Từ (2.16) ta có: $\delta Q_a = dU + \delta A_a$

$\delta Q_q, \delta A_a$ là nhiệt và công mà hệ trao đổi với khoảng ngoài trong quá trình đa biến.

Với $\delta Q_q = \frac{m}{\mu} C_a dT$ C_a : nhiệt dung trong quá trình đa biến

$$\Rightarrow \frac{m}{\mu} C_a dT = \frac{m}{\mu} C_V dT + p \cdot dV$$

$$\Rightarrow \frac{m}{\mu} C_a = \frac{m}{\mu} C_V + p \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_a \quad \text{thay } p = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{m}{\mu} C_a = \frac{m}{\mu} C_V + \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_a$$

$$\Rightarrow C_a = C_V + \frac{RT}{V} \cdot \left(\frac{dV}{dT} \right)_a$$

$$\Rightarrow \left(\frac{dV}{dT} \right)_a = \frac{C_a - C_V}{R} \cdot \frac{V}{T}$$

hay
$$\left(\frac{dV}{dT} \right)_a = \frac{C_a - C_V}{C_p - C_V} \cdot \frac{V}{T}$$

$$\Rightarrow \frac{dV}{V} = \frac{C_a - C_V}{C_p - C_V} \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\Rightarrow \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{C_a - C_V}{C_p - C_V} \cdot \int \frac{dT}{T}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{C_a - C_V}{C_p - C_V} \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = - \frac{C_a - C_V}{C_p - C_V} \cdot \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{C_a - C_V}{C_p - C_V}} \quad \text{hay: } V_1(T_1)^{\frac{C_a - C_V}{C_p - C_V}} = V_2(T_2)^{\frac{C_a - C_V}{C_p - C_V}}$$

Tổng quát: $V(T)^{\frac{C_a - C_V}{C_p - C_V}} = \text{const}$

Vì là KLT nên $T = \frac{\mu \cdot pV}{m \cdot R}$;

Vậy: $V \cdot (pV)^{\frac{C_a - C_V}{C_p - C_V}} = V(pV)^{\frac{C_V - C_a}{C_p - C_V}} = \text{const}$

Lũy thừa hai vế bậc $\frac{C_p - C_V}{C_V - C_a}$

$$\Rightarrow V^{\frac{C_p - C_V}{C_V - C_a}} \cdot pV = \text{const}$$

Hay: $p \cdot V^{1 + \frac{C_p - C_V}{C_V - C_a}} = p \cdot V^{\frac{C_p - C_a}{C_V - C_a}} = \text{const};$

đặt : $\frac{C_p - C_a}{C_V - C_a} = n = \text{chỉ số đa biến}$

Vậy phương trình của quá trình đa biến là:

$$p \cdot V^n = \text{const} \quad (2.45)$$

Tương tự bằng cách dùng phương trình trạng thái KLT ta có thể tìm phương trình của quá trình đa biến theo các thông số nhiệt động khác:

$T \cdot V^{n-1} = \text{const}$	(T, V)
$T \cdot p^n = \text{const}$	(T, p) (2.46)

- **Khảo sát C_a theo n : từ $n = \frac{C_p - C_a}{C_V - C_a}$**

nên $C_a = \frac{nC_V - C_p}{n-1} = \frac{n-\gamma}{n-1} \cdot C_V \quad (2.47)$

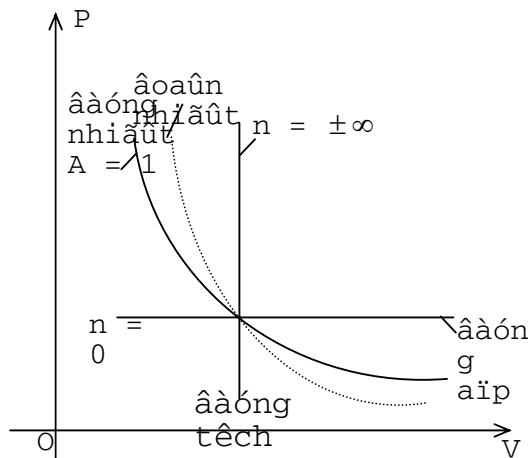
. Khi $n = 0 \Rightarrow p \cdot V^0 = \text{const} \Rightarrow p = \text{const}$: là một quá trình đẳng áp; trong quá trình này $C_p = \gamma \cdot C_V$

. Khi $n = 1 \Rightarrow p \cdot V = \text{const}$: là một quá trình đẳng nhiệt. Nhiệt dung của hệ $C_a = \infty$; do nhiệt dung của hệ lớn nên nhiệt độ hệ $T = \text{const}$

. Khi $n = \gamma \Rightarrow p \cdot V^\gamma = \text{const}$: là quá trình đoạn nhiệt. Nhiệt dung của hệ $C_a = 0$.

. Khi $n = \pm \infty \Rightarrow C_a = C_V$: quá trình đa biến trở thành một quá trình đẳng tích.

Có thể tóm tắt các kết quả trên giản đồ (p, V) như sau (hình 2.13):



Hình 2.13

- Công hệ sinh:

Từ(2.16): $\delta Q = dU + \delta A \Rightarrow \delta A = \delta Q - dU$

$$\delta A = \frac{m}{\mu} C_a dT - \frac{m}{\mu} C_v dT = \frac{m}{\mu} (C_a - C_v) dT$$

Trong biến đổi trạng thái (1) → (2)

$$A = \int_1^2 \delta A = \frac{m}{\mu} (C_a - C_v) \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{\mu} (C_a - C_v) \Delta T$$

Mặt khác : $n = \frac{C_p - C_a}{C_v - C_a} \Rightarrow -n = \frac{C_p - C_a}{C_a - C_v}$

$$\Rightarrow C_a - C_v = \frac{C_p - C_a}{-n} = \frac{C_a - C_p}{n} = \frac{C_a - C_v + C_v - C_p}{n}$$

$$\Rightarrow C_a - C_v = -\frac{R}{n-1}$$

Vậy: $A = -\frac{m}{\mu} \frac{R}{n-1} \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2)$ (2.48)

Từ (2.48) và phương trình trạng thái khí lý tưởng có thể đến kết quả:

$$A = \frac{1}{n-1} (p_1 V_1 - p_2 V_2)$$
 (2.49)

hoặc $A = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} \right]$ (2.50)

Ta thấy các công thức trên tương tự như công thức trong quá trình đoạn nhiệt chỉ khác chỉ số đa biến n thay cho hệ số γ .

2.5.6 Chu trình

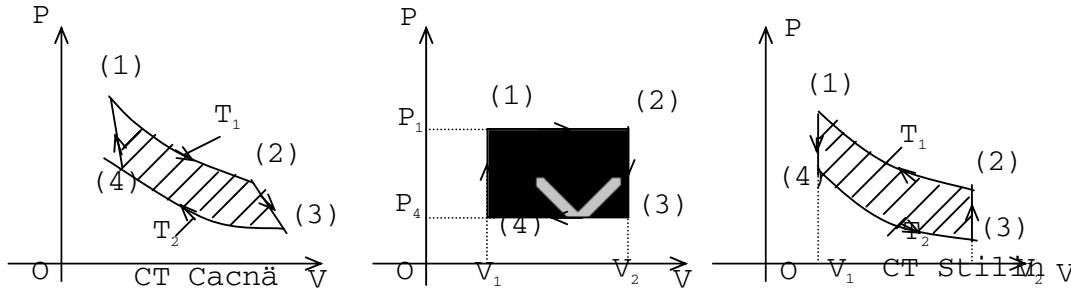
Khi hệ thực hiện một biến đổi khép kín, hệ biến đổi theo chu trình; sau một chu trình hệ trở lại trạng thái ban đầu. Độ biến thiên nội năng hệ $\Delta U = 0$.

Nguyên lý I : $Q = \Delta U + A \Rightarrow Q = A$

Vậy sau một chu trình, nhiệt hệ nhận vào đúng bằng công hệ sinh ra và nội năng hệ trở lại giá trị cũ.

Từ phương trình của quá trình đa biến, p là một hàm đơn điệu của V nên để thực hiện một chu trình thì cần phải có nhiều quá trình khác nhau. Khi đó mới có thể đưa hệ trở lại trạng thái ban đầu.

Biến đổi khép kín đơn giản: gồm hai quá trình đẳng nhiệt, và hai quá trình đoạn nhiệt, hoặc hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đẳng tích (chu trình Stilin)



Hçnh 2.14

Nhìn chung trong một chu trình có lúc hệ nhận nhiệt có lúc hệ tỏa nhiệt, hoặc có lúc hệ nhận công, có lúc hệ sinh công cho bên ngoài; nên các đại lượng nhiệt hoặc công trong một chu trình sẽ có giá trị đại số và Q , và A là tổng đại số của nhiệt , công trong cả chu trình.

2.6 CÁC HIỆN TƯỢNG TRUYỀN NHIỆT

Nhiệt học nghiên cứu các dạng và các qui luật trao đổi nhiệt của các vật thể. Dựa vào qui luật trao đổi có thể xác định được nhiệt lượng trao đổi và phân bố nhiệt độ.

Sự trao đổi nhiệt của các vật có thể phân thành ba dạng cơ bản: sự dẫn nhiệt, truyền nhiệt bằng đối lưu và truyền nhiệt bằng bức xạ.

2.6.1 Sự dẫn nhiệt

2.6.1.1 Các khái niệm

- **Dẫn nhiệt** là quá trình trao đổi nhiệt giữa các phần của một vật hoặc giữa các vật có nhiệt độ khác nhau.

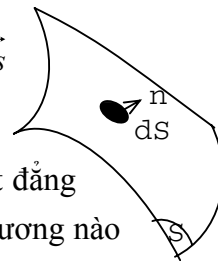
VD: -Nung nóng một đầu thanh sắt, sau một thời gian nhiệt độ cả thanh đều tăng lên do một dòng nhiệt lan ra từ đầu bị nung nóng.

- Đặt một vật nóng tiếp xúc một vật lạnh, do tiếp xúc nhiệt độ vật nóng giảm, nhiệt độ vật lạnh tăng, hiện tượng gây bởi dẫn nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh.

- **Mặt đẳng nhiệt:** Tập hợp các điểm có cùng một nhiệt độ là mặt đẳng nhiệt; các mặt đẳng nhiệt không cắt nhau.

- **Gradien nhiệt độ:** Gradien t theo phương l là đại lượng biểu thị sự thay đổi nhiệt độ theo phương đó.

(2.51) ĐN : $\vec{\text{Grad}} t = \frac{\partial t}{\partial s} \vec{n}$: véctơ đơn vị theo phương \vec{s}



Gradien nhiệt là đại lượng vectơ có phương vuông góc với mặt đẳng nhiệt và có chiều là chiều tăng của nhiệt độ, gradien nhiệt theo một phương nào đó biểu thị sự biến thiên nhiệt độ trên một đơn vị dài phương đó.

- **Dòng nhiệt:** dòng nhiệt truyền qua mặt đẳng nhiệt S là nhiệt lượng truyền qua bề mặt S trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị : Trong hệ SI Q [W]

- **Mật độ dòng nhiệt:** là dòng nhiệt ứng với một đơn vị diện tích bề mặt đẳng nhiệt.

$$q = \frac{dQ}{dS} \quad (2.52)$$

Đơn vị: hệ SI q[W/m²]

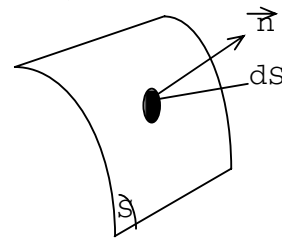
- **Nhiệt truyền qua một diện tích S:** để tính nhiệt truyền qua một diện tích bất kỳ (S) ta chia mặt thành các phần tử dS (hình 2.15).

- nhiệt truyền qua dS : $dQ = q.dS$

- nhiệt truyền qua S : $Q = \int_S dQ = \int_S q.dS$

Nếu q là như nhau trên toàn mặt S thì: $Q = q \cdot \int_S dS = q \cdot S$

Vậy : $Q = q \cdot S$



(2.53)

2.6.1.2 Công thức Fourier về dẫn nhiệt

(S) : mặt đẳng nhiệt dS : mặt vi cấp trên S

Theo Fourier dòng nhiệt qua dS tỉ lệ với dS và gradien nhiệt theo phương pháp tuyến của dS.

$$dQ = -\chi |\text{grad}t|.dS \quad (2.54)$$

χ : hệ số tỉ lệ phụ thuộc bản chất vật dẫn nhiệt được gọi là hệ số dẫn nhiệt hay độ dẫn nhiệt

Trong hệ SI $\chi \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Dấu (-) trong công thức do nhiệt truyền theo chiều giảm của nhiệt độ.

Hình 2.16

2.6.2 Truyền nhiệt bằng đối lưu

2.6.2.1 Cơ chế

Truyền nhiệt bằng đối lưu là sự truyền nhiệt nhờ chuyển động vĩ mô của dòng chất lỏng (hay chất khí), điều này được gây ra bởi sự khác nhau của khối lượng riêng tại những chỗ khác nhau trong khối chất.

Nếu một môi trường khí (hoặc lỏng) có nhiệt độ không đồng đều; chỗ nhiệt độ cao, khối khí bị giãn nở nhiều làm khối lượng riêng tại đó bé, khi đó khí bị đẩy lên do lực Archimede và được thay thế bằng lượng khí ở nơi nhiệt độ thấp tràn đến tạo thành một dòng đối lưu đem theo nhiệt. Nhiệt lượng này truyền trực tiếp cho môi trường bao quanh bằng dẫn nhiệt.

Ví dụ : - Gió thổi là hiện tượng đối lưu của khí quyển

- Nước trong ấm được sôi đều khi đun nhờ có đối lưu giữa phần nước ở đáy bình và phần trên mặt thoáng.

2.6.2.2 Công thức Neuton

Thực tế sự truyền nhiệt đối lưu diễn ra giữa thành bình (vách) và môi trường lỏng, khí.

Nhiệt trao đổi giữa bề mặt vật rắn (thành bình) và chất lỏng (khí) được xác định bởi công thức:

$$Q = \alpha.S(t_v - t_l) \quad (2.55)$$

α : Hệ số tỏa nhiệt $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$

t_v : nhiệt độ vách.

t_l : nhiệt độ mặt nằm xa vách khoảng l

S : diện tích mặt trao đổi.

2.6.3 Truyền nhiệt bằng bức xạ

2.6.3.1 Bức xạ nhiệt

Bức xạ nhiệt: Khi một nguyên tử hoặc một phân tử hấp thụ năng lượng từ bên ngoài, nó chuyển sang mức năng lượng cao ứng với trạng thái kích thích, là một trạng thái kém bền, nguyên tử luôn có khuynh hướng chuyển về trạng thái bền vững hơn, có mức năng lượng thấp hơn, khi chuyển mức nó phát xạ bức xạ điện từ có tần số ν .

Nếu sự cung cấp năng lượng cho nguyên tử dưới dạng **nhiệt** thì bức xạ điện từ mà nó phát ra được gọi là **bức xạ nhiệt**.

Vậy: Sự truyền nhiệt bằng bức xạ là sự trao đổi nhiệt được thực hiện bằng cách phát hoặc hấp thụ bức xạ nhiệt.

Quá trình truyền nhiệt bằng bức xạ được thực hiện qua hai quá trình:

- Năng lượng vật bức xạ được phát ra dưới dạng sóng điện từ (bức xạ nhiệt)

- Năng lượng bức xạ nhiệt được hấp thụ và biến đổi thành năng lượng vật thu.

Kết quả là một dòng nhiệt được truyền từ vật phát đến vật thu.

2.6.3.2 Cân bằng bức xạ nhiệt

Bức xạ nhiệt có đặc điểm quan trọng là nó có thể tồn tại cân bằng với vật bức xạ nhiệt. Khi đó năng lượng điện từ mà vật bức xạ đúng bằng năng lượng nhiệt mà vật hấp thụ, nhiệt độ của vật sẽ không đổi, khi đó vật ở cân bằng bức xạ nhiệt.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1:

Tìm nhiệt lượng cần cung cấp cho 700g nước đá ở -10°C để nó thành nước ở $+20^{\circ}\text{C}$. Cho: nhiệt dung riêng nước đá $c_d = 1,8 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$; nhiệt dung riêng của nước $c_n = 4,18 \text{ kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$; nhiệt nóng chảy nước đá $L = 335 \text{ kJ/kg}$.

Giải :

Để nước đá ở -10°C biến thành nước ở 20°C cần thực hiện 3 quá trình sau:

- Nước đá ở -10°C thành nước đá ở 0°C
- Nước đá ở 0°C thành nước lỏng ở 0°C
- Nước lỏng ở 0°C thành nước ở 20°C

Nhiệt lượng cần để thực hiện 3 quá trình trên là:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = m \cdot c_d \cdot \Delta T_1 + m \cdot L + m \cdot c_n \cdot \Delta T_2$$

$$= 0,7 \times 1,8 \times 10^3 \times 10 + 0,7 \times 335 \times 10^3 + 0,7 \times 4,18 \times 10^3 \times 20$$

$$= 0,7 \times 10^3 (18 + 335 + 83,6) = 305,6 \times 10^3 \text{ J} = 305,6 \text{ kJ}$$

Vậy : Nhiệt cần cung cấp là 305,6 kJ

Thí dụ 2:

Hệ: 6,5g khí H_2 ở nhiệt độ 27°C nhận được nhiệt nên thể tích giãn nở tăng gấp đôi trong điều kiện áp suất không đổi. Tìm:

1. Công mà hệ sinh ra.
2. Độ biến thiên nội năng của hệ.
3. Nhiệt lượng hệ nhận.

Giải :

1. Công hệ sinh.

Quá trình biến đổi của hệ là một quá trình đẳng áp nên công hệ sinh:

$$A = p \cdot \Delta V = p (V_2 - V_1) = p (2V_1 - V_1) = pV_1$$

Khí H_2 ở điều kiện thường coi như là khí lí tưởng nên: $pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$

$$\Rightarrow A = \frac{m}{\mu} RT_1 = \frac{6,5 \times 10^{-3} \times 8,31 \times 10^3 \times 300}{2} = 8,1 \times 10^3 \text{ J}$$

2. Độ biến thiên nội năng :

Theo định luật Gay - Lussac:

$$\frac{T_2}{V_2} = \frac{T_1}{V_1} \Rightarrow T_2 = \frac{V_2}{V_1} T_1 = 2 \cdot T_1 = 600^{\circ}\text{K}$$

Độ biến thiên nội năng:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{m}{\mu} (C_p - R) \Delta T = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T \\ &= \frac{6,5 \times 10^{-3} \times 5 \times 8,31 \times 10^3 \times 300}{2 \times 2} = 20,25 \cdot 10^3 \text{ j} \end{aligned}$$

3. Nhiệt hệ nhận.

Theo nguyên lý I :

$$Q = \Delta U + A = (8,1 + 20,25)10^3 = 28,35 \times 10^3 \text{ j}$$

Thí dụ 3:

Hai kg khí ở áp suất $p_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, nhiệt độ $t_1 = 27^{\circ}\text{C}$ nhận một công $1,37 \cdot 10^3 \text{ kJ}$ để thực hiện một quá trình nén đẳng nhiệt, áp suất tăng gấp ba lần p_1 . Khí đó là khí gì? Thể tích riêng trước khi nén là bao nhiêu?

Giải :

Công khí nhận trong quá trình nén đẳng nhiệt ở T_1 là:

$$A' = -A = -\frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}$$

Theo định luật Bôi - Mariôt: $p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1}$

$$\text{do đó: } A' = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{m RT_1 \ln \frac{p_2}{p_1}}{A'} = \frac{2 \times 8,31 \times 10^3 \times 300 \times \ln 3}{1,37 \times 10^6} \approx 4 \text{ kg}$$

Vậy : Khí đó là khí hêli.

$$\text{Thể tích ở đầu quá trình: } V_1 = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{p_1}$$

Thể tích riêng ở đầu quá trình:

$$v = \frac{V_1}{m} = \frac{RT_1}{\mu p_1} = \frac{8,31 \times 10^3 \times 300}{4 \times 5 \times 10^5} = 1,246 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Thí dụ 4:

Một kmol khí N_2 ở nhiệt độ 27°C giãn đoạn nhiệt sao cho thể tích của nó tăng 5 lần. Tìm:

1. Công sinh ra trong quá trình.
2. Độ biến thiên nội năng.

Giải :

1. Công sinh ra:

Biểu thức công hệ sinh ra trong quá trình đoạn nhiệt:

$$A = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{\gamma - 1}$$

Có : $p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 = RT_1$; $p_2 V_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 = RT_2$

và $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

Khí N₂ có $i = 5 \Rightarrow \gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$; $\gamma - 1 = 0,4$

$$\begin{aligned} \Rightarrow A &= \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} = \frac{R}{\gamma - 1} \left(T_1 - T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right) = \frac{R}{\gamma - 1} T_1 \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} \right) \\ &= \frac{8,31 \times 10^3 \times 300 \times (1 - 5^{-0,4})}{0,4} = 2,96 \cdot 10^6 \text{ j} \end{aligned}$$

2. Độ biến thiên nội năng :

Theo nguyên lý I: $Q = \Delta U + A$; đối với quá trình đoạn nhiệt $Q = 0$ nên

$$\Delta U = -A = -2,96 \cdot 10^6 \text{ j}$$

(Dấu - chứng tỏ nội năng khí giảm).

Thí dụ 5:

Một kmol khí thực hiện một chu trình như hình vẽ. Trong đó AB và CD là hai quá trình đẳng nhiệt ở nhiệt độ T₁ và T₂ ; BC và DA là hai quá trình đẳng tích ứng với thể tích V₂ và V₁.

1. Chứng minh: $\frac{P_A}{P_B} = \frac{P_D}{P_C}$.

2. Tính công và nhiệt của chu trình.

Giải :

1. Theo định luật Gay-Lussac đối với các quá trình đẳng nhiệt AB và CD,

Ta có : $P_A V_1 = P_B V_2 \Rightarrow \frac{P_A}{P_B} = \frac{V_2}{V_1}$

Và $P_D V_1 = P_C V_2 \Rightarrow \frac{P_D}{P_C} = \frac{V_2}{V_1}$

Vậy : $\frac{P_A}{P_B} = \frac{P_D}{P_C}$

2. Công và nhiệt trong chu trình :

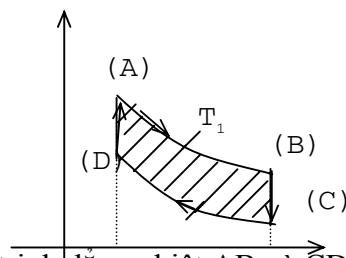
Công trong cả chu trình : $A = A_{AB} + A_{BC} + A_{CD} + A_{DA}$

Đối với các quá trình đẳng tích có : $A_{BC} = A_{DA} = 0$

Với các quá trình đẳng nhiệt có:

$$A_{AB} = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} ; A_{CD} = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \text{ từ đó:}$$

$$A = \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1} = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$$



Theo nguyên lý I : $Q = \Delta U + A$; Sau một chu trình $\Delta U = 0 \Rightarrow$

Nhiệt nhận trong cả chu trình: $Q = A = R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}$.

BÀI TẬP TỰ GIẢI : CHƯƠNG II : NGUYÊN LÝ I NĐLH

Bài 2.1: 10g khí O_2 ở nhiệt độ 10^0C , áp suất $3.105N/m^2$. Sau khi hơi nóng đẳng áp thể tích tăng đến 10 lít. Tìm:

1. Nhiệt mà khí nhận.
2. Nội năng khối khí trước và sau khi hơi nóng.
3. Công sinh ra khi giãn nở.

ĐS : $7,9.10^3 J$; $1,8.10^3 J$; $7,6.10^3 J$;

Bài 2.2: Một khối khí đựng trong một xi lanh đặt thẳng đứng có pittông di động hoàn toàn tự do. Hỏi cần phải thực hiện một công bằng bao nhiêu để nâng pittông lên cao thêm một khoảng $h_1 = 10cm$. Biết: chiều cao ban đầu của cột khí là $h_0 = 15cm$; áp suất khí quyển $p_0 = 1at$; diện tích pittông $S = 10cm^2$. Bỏ qua trọng lượng của pittông và nhiệt độ là không đổi trong suốt quá trình.

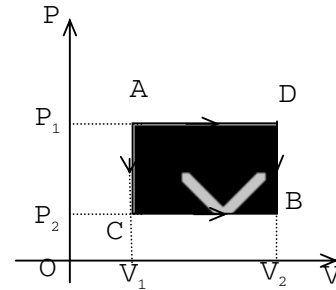
ĐS : 2,5J

Bài 2.3: Một chất khí lưỡng nguyên tử có thể tích $V_1 = 0,5lít$, áp suất $p_1 = 0,5at$, bị nén đoạn nhiệt đến thể tích V_2 và áp suất p_2 ; Sau đó người ta giữ nguyên thể tích V_2 và làm lạnh để khối khí trở về nhiệt độ ban đầu, khí đó áp suất của khí là $p_0 = 1at$.

1. Vẽ đồ thị của quá trình.
2. Tìm thể tích V_2 và áp suất p_2 .

ĐS: 0,25lít; 1,32at

Bài 2.4: Một lượng khí O_2 có thể tích $V_1 = 3lít$, nhiệt độ $t_1 = 27^0C$ và áp suất $p_1 = 8,2.105N/m^2$. Giãn nở đến trạng thái thứ (2) có $V_2 = 4,5lít$ và $p_2 = 6.105N/m^2$. Tìm nhiệt lượng mà khí sinh ra khi giãn nở và độ biến thiên nội năng của khối khí. Xét bài toán trong trường hợp khí biến đổi từ trạng thái thứ nhất sang trạng thái thứ (2) theo hai đường: ACB và ADB.



ĐS : 1,55KJ ; 1,88KJ ; 0,63KJ ; 0,63KJ

Bài 2.5: Một khối khí được đựng trong một xi lanh có thể tích $V_1 = 0,1m^3$, áp suất $p_1 = 5.106N/m^2$. Mặt ngoài của pittông luôn chịu một áp suất khí quyển là 10^5Pa . Cho khối khí này giãn ra dưới nhiệt độ không đổi tới khi có sự cân bằng với áp suất của khí quyển. Tìm công mà khí khối khí sinh ra.

ĐS : $1,465.10^6J$

Bài 2.6: Một bình chứa 61lít không khí ở 0°C dưới áp suất 200atm. Cho khối khí giãn đẳng nhiệt tới áp suất 40atm.

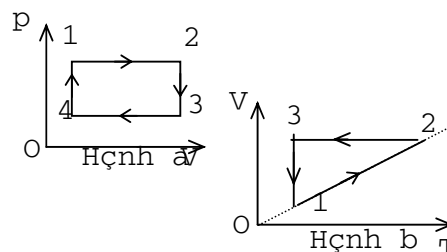
1. Tính công sinh ra trong quá trình.
2. Nhiệt cung cấp cho khối khí.
3. Thể tích ở cuối quá trình. Lấy $1 \text{ atm} \approx 10^5 \text{ Pa}$

ĐS : $1,96.10^6 \text{ J}$; $1,96.10^6 \text{ J}$; 305lít

Bài 2.7: Trong hệ tọa độ (p,V) người ta vẽ hai đường cong (C_1) và (C_2) cùng đi qua một điểm $M(V,p)$: Đường (C_1) là đường đẳng nhiệt, đường (C_2) là đường đoạn nhiệt. Chứng minh rằng tiếp tuyến tại M với đường (C_1) có hệ số góc a_1 nhỏ hơn hệ số góc a_2 của tiếp tuyến tại M với đường (C_2) .

Bài 2.8:

a- Hình (a) là chu trình biến đổi trạng thái của một lượng khí lý tưởng. Hãy biểu diễn chu trình này sang hệ tọa độ (p,T) và (V,T) . Ký hiệu các điểm tương ứng và chiều của chu trình.



b- Hình (b) là một chu trình biến đổi được biểu diễn trong hệ tọa độ (V,T) . Hãy biểu diễn lại chu trình này trên hệ tọa độ (p,V) , nói rõ quá trình nào hệ nhận nhiệt, quá trình nào hệ tỏa nhiệt, vì sao ?

Bài 2.9: Công giãn đẳng nhiệt của 2 kg khí H_2 từ áp suất 6.10^5 Pa và thể tích $8,31\text{m}^3$ là $5,47.10^3 \text{ kJ}$. Tính áp suất và thể tích của lượng khí H_2 nói trên nếu sau khi giãn đẳng nhiệt khí lại được nén đoạn nhiệt với 1 công như trên.

ĐS: $7,11.10^5 \text{ Pa}$ và $10,1\text{m}^3$

Bài 2.10: Ở áp suất $p_1 = 10^6 \text{ Pa}$ và nhiệt độ $t_1 = 227^{\circ}\text{C}$ thì 1kg không khí giãn đẳng nhiệt sao cho $\frac{p_1}{p_2} = 4$ sau đó bị nén đoạn nhiệt trở lại p_1 rồi lại bị nén đẳng áp về trạng thái ban đầu. Tính công của chu trình này (không khí có $\gamma = 1,4$).

ĐS : -45kJ

Bài 2.11: Đầu 1 quá trình đa biến áp suất và thể tích của một khối lượng khí O_2 là 1at và 2,3lít. Ở cuối quá trình chúng bằng 0,5atm và 4,1lít. Tìm :

- a. Chỉ số đa biến n ?
- b. Công mà khí thực hiện được khi giãn nở ?
- c. Nhiệt lượng mà khí nhận được từ ngoài ?
- d. Độ biến thiên nội năng của khí ?

ĐS: $n \approx 1,2$; 127J; 61,5J; - 65,5J

CHƯƠNG III

THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

Vật lý phân tử nghiên cứu các hiện tượng nhiệt trên cơ sở lý thuyết về cấu trúc hạt của vật chất, lực tương tác giữa các hạt và chuyển động của chúng.

Thuyết động học phân tử về khí là sự vận dụng thuyết Động Học Phân Tử trong việc nghiên cứu chất khí. Ở đó người ta coi hệ là một tập hợp các hạt, phân tích các quá trình xảy ra đối với từng hạt rồi dựa trên quy luật thống kê để tìm ra quy luật chung cho cả hệ. Phương pháp cho phép nhận thức một cách sâu sắc bản chất của hiện tượng nhiệt.

3.1 CHUYỂN ĐỘNG NHIỆT; SỐ AVOGADRO

3.1.1 Mô hình cấu tạo phân tử của vật chất

Vật chất được cấu tạo bởi những nguyên tử hoặc phân tử.

- Nguyên tử: gồm hạt nhân ở giữa mang điện (+) chung quanh là các điện tử mang điện (-). Nhiều nguyên tử liên kết lại thành phân tử, chúng có kích thước rất bé. (10-10m), về kích thước có thể coi phân tử như một hạt duy nhất. Các phân tử của một chất thì rất giống nhau và mang trong nó đặc điểm hóa học của chất. Trong khối chất các phân tử chuyển động nhiệt không ngừng và các chuyển động của chúng tuân theo các định luật cơ học.

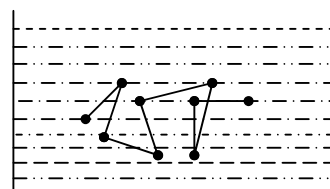
Mô hình cấu trúc phân tử đã được thực nghiệm xác nhận là hoàn toàn đúng đắn. Bằng kính hiển vi điện tử có độ phóng đại vài triệu lần, người ta đã chụp ảnh được hình dạng các phân tử của chất

- Số Avôgadrô: phân tử có kích thước bé nên một mẫu nhỏ vật chất cũng chứa một số rất lớn phân tử. Trong một kmol chất có chứa $N_A = 6,023.10^{26}$ phân tử được gọi là số Avôgadrô, khối lượng tương ứng 1 kmol chất là μ (kg).

VD : $\mu_{H_2} = 2\text{kg}$, $\mu_C = 12\text{kg}$.

3.1.2 Chuyển động Braonơ

Năm 1827. Nhà thực vật học người Anh Braonơ (Brown) đã quan sát sự chuyển động hỗn loạn không ngừng của các hạt phấn hoa nằm lơ lửng trong một cốc nước bằng kính hiển vi. Lúc đầu Braonơ cho rằng các hạt phấn hoa chỉ chuyển động lơ lửng trong cốc nước một thời gian rồi lắng và chìm xuống đáy cốc, nhưng thực tế lại cho thấy các hạt Brao không lắng chìm mà chuyển động không ngừng tạo nên quỹ đạo là những đường gấp khúc không theo một trật tự nào cả và Brao đã không giải thích được hiện tượng đó.



Hình 3.1

Về sau, Anhxtanh (Einstein) đã giải thích chuyển động Brao của các hạt phân hoa như sau: nguyên nhân gây chuyển động Brao là do các phân tử nước (H_2O) chuyển động hỗn loạn từ mọi phía, các hạt phân có kích thước nhỏ, trọng lượng bé nên số va đập trung bình từ hai phía đối diện không bằng nhau, tạo nên một chênh lệch áp lực ở hai mặt làm cho hạt phân chuyển động. Ở mỗi thời điểm, mặt ngẫu nhiên chịu nhiều va đập bởi các phân tử nước mỗi khác nên hạt Brao chuyển động hỗn loạn không có phương ưu tiên tạo nên quỹ đạo là những đường gấp khúc bất kỳ.

Chuyển động Brao còn có thể quan sát được trong chất khí, khi nhìn ánh sáng mặt trời rọi qua khe cửa, ta thấy những hạt bụi nhỏ lơ lửng trong không khí, chúng cũng thực hiện chuyển động Brao.

Nhiên cứu tác động của nhiệt độ lên chuyển động Brao, người ta nhận thấy vận tốc trung bình của hạt Brao tỉ lệ với, như vậy khi nhiệt độ tăng chuyển động Brao cũng tăng. Từ chuyển động Brao có thể rút ra một số kết luận sau:

- Chuyển động của các phân tử là hỗn loạn không ngừng.
- Va chạm phân tử lên vật là nguồn gốc gây nên áp lực lên vật.
- Nhiệt độ là thước đo động năng trung bình chuyển động nhiệt phân tử .

3.2 THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

Thuyết động học phân tử về khí: Vận dụng thuyết động học phân tử vào việc nghiên cứu chất khí bằng cách đưa ra “mô hình chất khí”, đối với khí lý tưởng ta có “ mô hình khí lý tưởng ” như sau :

- **KLT gồm những phân tử chuyển động nhiệt không ngừng, kích thước phân tử** rất bé so với khoảng cách giữa chúng. Trong một thể tích bất kỳ dù nhỏ cũng chứa một lượng lớn các phân tử khí.

- Các phân tử KLT chỉ tương tác nhau khi va chạm, còn những lúc khác lực tương tác rất bé có thể bỏ qua. Va chạm giữa các phân tử hoặc giữa phân tử với thành bình là va chạm đàn hồi. Tổng hợp các lực do các phân tử va chạm với thành bình tạo nên áp lực trên thành bình.

- Nếu không có tác dụng từ ngoài thì mật độ phân tử khí phân bố đồng đều và chuyển động của các phân tử hoàn toàn có tính đẳng hướng.

Mẫu KLT giải quyết được một số vấn đề cơ bản của chất khí như: áp suất, nhiệt độ, phương trình trạng thái, các hiện tượng truyền...

3.3 ÁP SUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ THEO THUYẾT ĐHPT

3.3.1 Áp suất khí tác dụng lên thành bình

Xét một kmol KLT đơn nguyên tử đựng trong một bình thể tích V. Theo quan điểm ĐHPT: khối khí là một hệ có N_A phân tử mật độ $n_0 = \frac{N_A}{V}$; áp suất mà khối khí tác dụng lên thành bình là do va chạm phân tử phân tử với thành bình:

$$p = \frac{F}{S} \quad F: \text{áp lực lên diện tích } S \text{ của thành bình}$$

Để xác định p. Xét một phân tử chuyển động theo phương \vec{x} đến đập vuông góc với diện tích S của thành bình, với vận tốc \vec{v}_1 (coi phân tử như một quả cầu nhỏ khối lượng m) sau va chạm phân tử bắn ra với vận tốc \vec{v}_2 .

Do va chạm là đàn hồi nên: $\vec{v}_1 = -\vec{v}_2$ hay $v_2 = v_1 = v_x$

Khi đó động lượng phân tử đã biến thiên:

$$\Delta \vec{K} = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 = \vec{f} \cdot \Delta t$$

\vec{f} : Lực tác dụng của thành bình lên phân tử

Δt : Thời gian va chạm

Chiếu hệ thức lên trục \vec{x} :

$$-m \cdot v_x - m \cdot v_x = f \cdot \Delta t \Rightarrow f = -\frac{2mv_x}{\Delta t}$$

Lực nén do phân tử tác dụng lên thành bình

$$f' = -f = \frac{2mv_x}{\Delta t}$$

Kết quả được dẫn cho trường hợp phân tử đến đập vuông góc với thành bình, nhưng có thể áp dụng được cho trường hợp các phân tử đến đập xiên góc thành bình và có cùng vận tốc v_x .

Trong thời gian Δt số phân tử đến đập vào diện tích S của thành bình, có vận tốc v_x chính là số phân tử nằm trong hình trụ có đáy S, chiều dài đường sinh: $l = v_x \cdot \Delta t$.

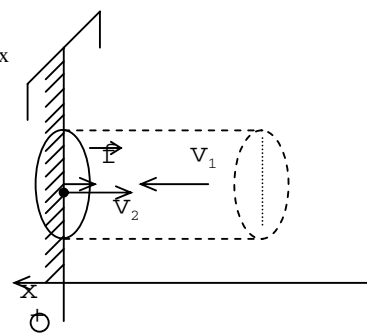
Gọi n_{ox} là mật độ phân tử có vận tốc v_x

Số phân tử nằm trong thể tích hình trụ là: $n_{ox}(v_x \cdot \Delta t \cdot S)$. Do tính chuyển động nhiệt hỗn loạn, thực tế chỉ có một nửa số phân tử trong thể tích trên là đập vào thành bình (trên phương x, có 2 chiều ngược nhau):

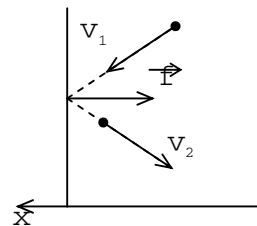
$$\frac{1}{2} n_{ox}(v_x \cdot \Delta t \cdot S)$$

Số phân tử này tạo nên một áp lực trên thành bình :

$$F_x = \frac{1}{2} n_{ox}(v_x \cdot \Delta t \cdot S) \cdot \frac{2mv_x}{\Delta t} = n_{ox} \cdot m v_x^2 \cdot S$$



Hình 3.2



Hình 3.3

Nếu buông lỏng giá trị của v_x , tức là tính đến mọi giá trị có thể của v_x thì tổng áp lực do tất cả các phân tử khí trong thể tích khí nói trên gây nên trên thành bình là :

$$F = \sum_{V_x} (n_{ox} \cdot m v_x^2) S$$

Đặt: $\overline{v_x^2} = \sum_{V_x} n_{ox} \cdot v_x^2 / n_0$: Trung bình bình phương vận tốc

$$\Rightarrow F = n_0 \cdot m \cdot \overline{v_x^2} S$$

Áp suất do các phân tử tạo trên thành bình:

$$p = \frac{F}{S} = n_0 \cdot m \cdot \overline{v_x^2}$$

Ta có: $\vec{v} (v_x; v_y; v_z)$ và $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$

$$\Rightarrow \overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

Do chuyển động hoàn toàn có tính đẳng hướng nên: $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$

$$\Rightarrow \overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$$

$$\Rightarrow p = \frac{1}{3} n_0 \cdot m \cdot \overline{v^2} = \frac{1}{3} m \frac{N_A}{V} \cdot \overline{v^2}$$

$$\text{Vậy: } p = \frac{1}{3} \frac{\mu}{V} \cdot \overline{v^2} \quad (3.1)$$

+ Nếu gọi $\overline{W_a} = \frac{1}{2} m \cdot \overline{v^2}$ là động năng chuyển động nhiệt trung bình của một phân tử thì phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử là:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \cdot \overline{W_a} \quad (3.2)$$

3.3.2 Một số hệ quả

3.3.2.1 Nhiệt độ của khối khí

Từ (1.16) viết cho một kmol KLT: $pV = RT \Rightarrow p = \frac{RT}{V}$

$$\Rightarrow \frac{2}{3} n_0 \cdot \overline{W_a} = \frac{RT}{V}; \text{ hay: } \frac{2}{3} \frac{N_A}{V} \cdot \overline{W_a} = \frac{RT}{V}$$

$$\Rightarrow \overline{W_a} = \frac{3}{2} \frac{RT}{N_A}$$

Đặt: $k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} [\frac{J}{oK}]$: hằng số Bônzman

$$\Rightarrow \overline{W_a} = \frac{3}{2} k T \quad (3.3)$$

Công thức cho thấy nhiệt độ khối khí tỷ lệ với động năng trung bình của chuyển động nhiệt; nhiệt độ càng cao động năng chuyển động nhiệt càng lớn, sự hỗn loạn của các phân tử càng tăng.

Vậy: nhiệt độ là số đo năng lượng chuyển động nhiệt của các phân tử.

3.3.3.2 Mật độ phân tử khí

Từ phương trình (3.2) ta có:

$$n_0 = \frac{3p}{2\overline{W}_d} = \frac{3p}{2 \cdot \frac{3}{2}kT} = \frac{p}{kT} \quad (3.4)$$

Vậy: mật độ phân tử tỷ lệ với áp suất khí và tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối.

Ở đk chuẩn: $p = 1,013 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$; $T = 273 \text{ } ^0K \Rightarrow n_0 = 2,687 \cdot 10^{25}$ phân tử/ m^3

3.3.3.3 Vận tốc căn quân phương

Từ (3.1) $\Rightarrow p = \frac{1}{3} \frac{\mu}{V} \cdot \overline{v^2} = \frac{RT}{V}$

$$\Rightarrow \overline{v^2} = \frac{3RT}{\mu}$$

$$\Rightarrow v_{cqp} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (3.5)$$

Vận tốc căn quân phương của phân tử khí ở một nhiệt độ nhất định đều giống nhau.

3.4 NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG

3.4.1 Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do

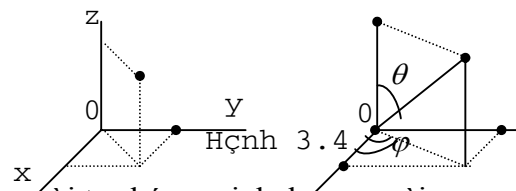
3.4.1.1 Bậc tự do

Bậc tự do của một phân tử là số tọa độ cần thiết để xác định vị trí của phân tử đó trong không gian.

- Đối với phân tử đơn nguyên tử: cần 3 tọa độ cho chuyển động tịnh tiến; nên $i = 3$

- Đối với phân tử lưỡng nguyên tử, ngoài chuyển động tịnh tiến còn có chuyển động quay; nên $i = 5$

- Đối với phân tử đa nguyên (số nguyên tử ≥ 3) người ta chứng minh được ngoài 3 bậc tự do tịnh tiến còn có 3 bậc tự do quay và dao động; nên $i = 6$.



3.4.1.2 Định luật

Động năng trung bình $\overline{W}_d = \frac{3}{2}kT$ được thành lập ở trên cho phân tử đơn nguyên (gồm 3 bậc tự do tịnh tiến; $i = 3$). Trường hợp tổng quát, phân tử có i bậc tự do thì động năng chuyển động nhiệt trung bình của phân tử là: $\overline{W}_d = \frac{i}{2}kT$. Như vậy mỗi bậc tự do của phân tử ứng với một năng lượng trung bình: $\frac{1}{2}kT$. Từ đó có định luật sau :

“Động năng trung bình của phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do và năng lượng ứng với một bậc tự do bằng $\frac{1}{2}kT$ ”.

3.4.2 Nội năng khí lý tưởng

Nội năng U là phần năng lượng ứng với các vận động bên trong hệ. Phần năng lượng này bao gồm: Động năng chuyển động nhiệt phân tử + thế năng phân tử + năng lượng vô điện tử.

Theo thuyết động học phân tử: phân tử KLT có kích thước không đáng kể và không tương tác nhau nên năng lượng vô điện tử và thế năng tương tác phân tử có thể bỏ qua. Từ đó :

Nội năng U của khí lý tưởng chỉ có phần đóng góp của động năng chuyển động nhiệt W_d của phân tử.

Đối với 1 kmol khí bậc tự do i thì:

$$U = \sum_i W_{di} = N_A \overline{W_d} = N_A \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} k N_A T = \frac{i}{2} R T$$

Vậy nội năng của 1 kmol khí lý tưởng:

$$U = \frac{i}{2} R T \quad (3.6)$$

Đối với m kg, nội năng khối khí là:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} T \quad (3.7)$$

Kết quả cho thấy: nội năng khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ khối khí. Nếu nhiệt độ khối khí biến thiên 1 lượng ΔT thì nội năng khối khí thay đổi một lượng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T \quad (3.8)$$

3.5 NHIỆT DUNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

3.5.1 Nhiệt dung phân tử

Từ biểu thức nguyên lý I cho quá trình vi phân:

$$\delta Q = dU + \delta A$$

Đối với 1 kmol khí lý tưởng: $\delta Q = C dT$ C : nhiệt dung phân tử = C_μ

$$\Rightarrow C dT = dU + p \cdot dV$$

$$\Rightarrow C = \frac{dU}{dT} + p \frac{dV}{dT}$$

+ Nếu là quá trình đẳng tích: $V = \text{const} \Rightarrow dV = 0$; $C = C_V$ từ đó

Nhiệt dung phân tử đẳng tích:

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{d}{dT} \left(\frac{iR}{2} T \right) = \frac{iR}{2}$$

$$\text{Vậy : } C_V = \frac{iR}{2} \quad (3.9)$$

- Đối với khí đơn nguyên, $i=3 \Rightarrow CV = \dot{G}$
- Đối với khí lưỡng nguyên, $i=5 \Rightarrow CV = \dot{G}$
- Đối với khí đa nguyên, $i=6 \Rightarrow CV = 3R$

Vậy: nhiệt dung phân tử đẳng tích của khí là một hằng số.

Từ đó có thể viết lại các biểu thức (3.7) và (3.8) như sau:

$$U = \frac{m}{\mu} C_v T \quad (3.10)$$

$$\text{Và: } \Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T \quad (3.11)$$

+ Nếu là quá trình đẳng áp: $p = \text{const} \Rightarrow dp = 0$; $C = C_p$

Nhiệt dung phân tử đẳng áp: $\delta Q = C_p dT$ mà:

$$pV = RT \Rightarrow p dV = R dT \Rightarrow \frac{dV}{dT} = \frac{R}{p}$$

$$\text{Vậy: } C_p = \frac{dU}{dT} + R = \frac{iR}{2} + R = \frac{i+2}{2} R \quad (3.12)$$

$$\text{- Đối với khí đơn nguyên, } i=3 \Rightarrow C_p = \frac{5R}{2}$$

$$\text{- Đối với khí lưỡng nguyên, } i=5 \Rightarrow C_p = \frac{7R}{2}$$

$$\text{- Đối với khí đa nguyên, } i=6 \Rightarrow C_p = 4R$$

+ Hệ số poaxông: $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

$$\text{Nên: } \gamma = \frac{i+2}{i} \quad (3.13)$$

$$\text{- Đối với khí đơn nguyên: } \gamma = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$\text{- Đối với khí lưỡng nguyên: } \gamma = \frac{7}{5} = 1,4$$

$$\text{- Đối với khí đa nguyên: } \gamma = \frac{4}{3} = 1,33$$

Như vậy nhiệt dung phân tử đẳng tích C_v và nhiệt dung phân tử đẳng áp C_p của khí lý tưởng là những đại lượng không phụ thuộc nhiệt độ mà chỉ phụ thuộc bản chất từng loại khí (i).

3.5.2 So sánh với thực nghiệm

Đo thực nghiệm C_p , C_v của một số loại khí, từ đó xác định hệ số γ , kết quả như sau :

$$\text{- Khí He : } \gamma = 1,67$$

$$\text{- Ar : } \gamma = 1,65$$

$$\text{- N}_2 \text{ : } \gamma = 1,41$$

- CH₄ : $\gamma = 1,30$

Vậy kết quả lý thuyết khá phù hợp, tuy không hoàn toàn chính xác với thực nghiệm.

Sự sai lệch này là do những hạn chế của **cơ học cổ điển** vào việc nghiên cứu sự vận động hạt vi mô (nguyên tử, phân tử), để có kết quả lý thuyết chính xác hơn cần phải áp dụng một lý thuyết cơ học mới trong việc khảo sát vận động của hạt vi mô: cơ học lượng tử, ngành nhiệt khảo sát theo hướng này là nhiệt **thống kê lượng tử**, nằm ngoài phạm vi giáo trình.

3.6 PHƯƠNG PHÁP THỐNG KÊ; ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ CỦA MẮCXCƠEN (MAXWELL)

3.6.1 Xác suất và giá trị trung bình

3.6.1.1 Xác suất

Xác suất của một sự kiện là đại lượng đặc trưng cho khả năng xảy ra sự kiện đó. Xác suất P có giá trị từ: $0 \rightarrow 1$

$P = 0 \Leftrightarrow$ không có khả năng xảy ra sự kiện.

$P = 1 \Leftrightarrow$ sự kiện chắc chắn xảy ra.

3.6.1.2 Giá trị trung bình

Số phân tử chất khí (hệ) rất lớn và chuyển động hỗn loạn không ngừng. Đặc trưng cho chuyển động của mỗi phân tử là vận tốc, động lượng, động năng... đều khác nhau.

Do vậy không thể khảo sát chuyển động của từng phân tử trong hệ. Trong vật lý phân tử (nhiệt thống kê) để khảo sát trạng thái của một hệ người ta xét giá trị trung bình các đại lượng vật lý đặc trưng cho chuyển động phân tử như \bar{v} ; $\overline{v^2}$; $\bar{\epsilon}$...

Giả sử một hệ có $N = 1000$ phân tử chuyển động nhiệt mà các phân tử chỉ có thể nhận 4 giá trị vận tốc là v_1, v_2, v_3, v_4 . Trong đó

n_1 phân tử có vận tốc v_1 ; n_2 phân tử có vận tốc v_2 ; n_3 phân tử có vận tốc v_3 ; n_4 phân tử có vận tốc v_4 . rõ là:

$$n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = N = 1000$$

Giá trị trung bình vận tốc của 1 phân tử

$$\bar{v} = (n_1v_1 + n_2v_2 + n_3v_3 + n_4v_4) / N = \sum_1^4 \frac{n_i}{N} v_i = \sum_1^4 P(v_i) v_i \quad (3.14)$$

Với : $P(v_i) = \frac{n_i}{N}$: xác suất để một phân tử của hệ có vận tốc v_i .

Rõ là: $P(v_i) < 1$ và $\sum_i P(v_i) = 1$ (3.15)

3.6.2 Mật độ xác suất

Trong ví dụ trên các đại lượng vi nhận các giá trị không liên tục. Nếu các phân tử của hệ chuyển động hoàn toàn ngẫu nhiên và có thể nhận giá trị $v : 0 \rightarrow \infty$

Gọi dN : số phân tử có vận tốc trong khoảng $v \rightarrow v + dv$; xác suất để một phân tử của hệ có vận tốc nằm trong khoảng này

$$P(v) = \frac{dN}{N} \quad (3.16)$$

3.6.2.1 Mật độ xác suất

Xác suất tìm thấy hạt ở vận tốc v trong một đơn vị thể tích vùng không gian là mật độ xác suất:

$$f(v) = \frac{P(v)}{dv} \quad (3.17)$$

$f(v)$ còn gọi là hàm phân bố trong không gian vận tốc.

3.6.2.2 Các giá trị trung bình

$$\text{Vận tốc trung bình: } \bar{v} = \sum_{i1} P(v_i) v_i = \int_0^{\infty} v \cdot f(v) \cdot dv \quad (3.18)$$

$$\text{Trung bình bình phương vận tốc: } \overline{v^2} = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv \quad (3.19)$$

$$\text{Trung bình năng lượng của một hạt: } \bar{\varepsilon} = \int_0^{\infty} \varepsilon(v) f(v) \cdot dv \quad (3.20)$$

3.6.2.3 Số phân tử theo hàm phân bố

Theo (3.15) và (3.16) số phân tử có vận tốc $v \rightarrow v + dv$

$$dN = N \cdot f(v) \cdot dv \quad (3.21)$$

Số phân tử của hệ có vận tốc từ $v_1 \rightarrow v_2$

$$\Delta N = \int dN = N \int_{v_1}^{v_2} f(v) \cdot dv \quad (3.22)$$

Nếu $v_1 \rightarrow 0$ và $v_2 \rightarrow \infty$ thì $N = N \cdot \int_0^{\infty} f(v) \cdot dv$

$$\Rightarrow \int_0^{\infty} f(v) \cdot dv = 1 \text{ gọi là điều kiện } \mathbf{chuẩn\ h\o{a}} \text{ của hàm phân bố.} \quad (3.23)$$

3.6.3 Định luật phân bố phân tử theo vận tốc của Măcxoen

3.6.3.1 Định luật

Các phân tử khí trong hệ chuyển động nhiệt hỗn loạn ở mọi giá trị vận tốc, tuy vậy sự phân bố số phân tử trong hệ theo vận tốc sẽ diễn ra như thế nào ?

1895, Dựa trên lý thuyết xác suất và mẫu cơ học khí lý tưởng, Măcxoen đề xuất hàm phân bố phân tử theo vận tốc của hệ có N phân tử, nhiệt độ T , khối lượng m .

Măcxoen giả thuyết:

- Các phân tử chuyển động đập lẫn nhau, tương tác giữa chúng không đáng kể.

- Không gian có tính đẳng hướng, không có phương ưu tiên (hệ không đặt trong trường lực).

- Phân tử có thể nhận giá trị bất kỳ nào của vận tốc từ $0 \rightarrow \infty$ và biến đổi liên tục.

- Động năng trung bình của một phân tử: $\bar{W} = \frac{3}{2} kT$ (ở đây chỉ kể đến động năng tịnh tiến vì phân tử được coi như là một chất điểm).

Từ các giả thuyết trên Măcxoen đã tìm được hàm phân bố (3.17) của phân tử theo vận tốc như sau:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \quad (3.24)$$

hoặc: $f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$ với: $\frac{\mu}{R} = m \frac{N_A}{R} = \frac{m}{k}$ (3.25)

$$\Rightarrow f(v) = 4\pi \left(\frac{\mu}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 \cdot e^{-\frac{\mu v^2}{2RT}} \quad (3.26)$$

Các công thức trên được gọi là định luật phân bố phân tử theo vận tốc của Măcxoen.

+ Biểu đồ của $f(v)$ theo v

Từ đồ thị của $f(v)$ ta rút ra được một số kết quả sau:

- Diện tích giới hạn bởi đường biểu diễn và trục vận tốc v có giá trị bằng

$$\int_0^{\infty} f(v) dv = 1$$

- Đường biểu diễn có 1 cực đại tại v_{xs} ; là vận tốc mà tại đó xác suất đạt cực đại; khả năng để hạt ở v_{xs} là lớn nhất.

- Khi nhiệt độ hệ tăng đường biểu diễn dịch sang phải về phía vận tốc lớn đồng thời $f(v_{xs})$ giảm.

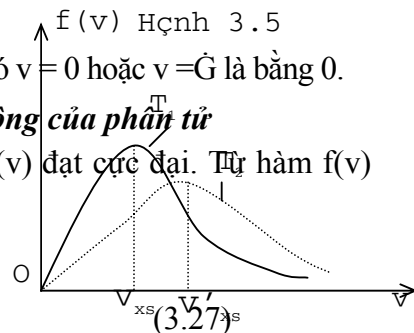
- Khi $v \rightarrow 0$ hoặc $v \rightarrow \infty$ thì $f(v) \approx 0$ nghĩa là số hạt có $v = 0$ hoặc $v = \infty$ là bằng 0.

3.6.3.2 Các vận tốc đặc trưng đối với chuyển động của phân tử

Vận tốc v_{xs} là vận tốc ứng với xác suất cực đại, $f(v)$ đạt cực đại. Từ hàm $f(v)$ nếu lấy đạo hàm $\frac{df(v)}{dv}$ rồi cho $\frac{df(v)}{dv} = 0$

Ta được: $v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$

Theo (3.18) vận tốc trung bình \bar{v} :



$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \cdot f(v) dv = \int_0^{\infty} 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^3 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$$

Áp dụng các tích phân dạng

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} \quad (3.28)$$

Theo (3.19); Trung bình của bình phương vận tốc \bar{v}^2 :

$$\bar{v}^2 = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \int_0^{\infty} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^4 dv$$

Áp dụng phương pháp tích phân từng phần ta được:

$$\bar{v}^2 = \frac{3kT}{m} = \frac{3RT}{\mu} \quad (3.29)$$

Theo (3.5); Vận tốc căn quân phương:

$$\Rightarrow v_{\text{cqp}} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (3.30)$$

So sánh:

$$\Rightarrow v_{\text{xs}} < \bar{v} < v_{\text{cqp}}$$

3.6.3.3 Số phân tử có vận tốc trong khoảng $v \rightarrow v + dv$

Có :
$$f(v) = \frac{dN}{Ndv} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2$$

$$\Rightarrow dN = 4\pi \cdot N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2 dv$$

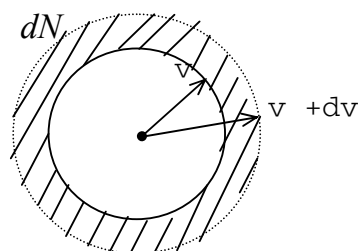
Vùng không gian giới hạn bởi hai mặt cầu bán kính v và $v + dv$ là: $4\pi v^2$ có chứa dN phân tử .

Mặt khác: hệ Đề các trong không gian vận tốc

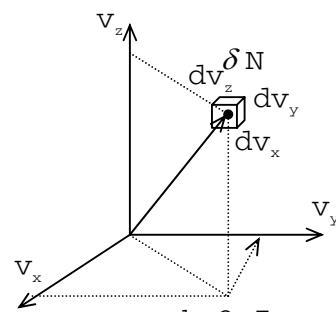
\vec{v} (v_x, v_y, v_z) mà $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ thì trong thể tích $dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z$ có δN phân tử.

Từ đó, số phân tử δN có vận tốc v thỏa $v_x + dv_x; v_y + dv_y; v_z + dv_z$ là :

$$\begin{aligned} 4\pi v^2 dv \cdot \delta N &= dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z dN \\ \Rightarrow \delta N &= \frac{dN}{4\pi v^2 dv} \cdot dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z \\ \Rightarrow \delta N &= N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x \cdot \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} e^{-\frac{mv_y^2}{2kT}} dv_y \cdot \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{1/2} e^{-\frac{mv_z^2}{2kT}} dv_z \quad (3.31) \end{aligned}$$



Hình 3.6



Hình 3.7

Trong đó: $\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x$ là xác suất để phân tử có vận tốc theo phương \vec{x}

giá trị $v_x : v_x \rightarrow v_x + dv_x$. Các đại lượng cùng dạng khác cũng có ý nghĩa tương tự.

Công thức cho phép tính được số phân tử có vectơ vận tốc \vec{v} mà các thành phần của \vec{v} nằm trong khoảng $(v_x ; v_x + dx)$; $(v_y ; v_y + dy)$; $(v_z ; v_z + dz)$. (nhân với N).

3.7 ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO THỂ NĂNG CỦA BÔNZMAN

3.7.1 Công thức phong vũ biểu

Theo định nghĩa, áp suất khối khí là đại lượng có giá trị bằng trọng lượng cột khí có tiết diện đáy là 1 đơn vị diện tích.

Đối với khí quyển, áp suất khí quyển ở độ cao h là trọng lượng cột khí (khí lý tưởng) tiết diện 1m², độ cao h. Trường hợp này khối khí được đặt trong trường lực là trọng trường đều và có ngoại lực tác dụng nên áp suất của khí không đồng đều, và thay đổi từ điểm này đến điểm khác.

Giả sử: một cột khí thẳng đứng đặt trong trọng trường đều có diện tích đáy bằng một đơn vị và ở cân bằng nhiệt ($T = \text{const}$).

Chọn trục \vec{OZ} thẳng đứng, chiều dương hướng lên. Xét 2 điểm có độ cao z và z + dz. Độ chênh áp suất giữa hai điểm này là dp = trọng lượng cột khí có đáy là 1 đơn vị diện tích, chiều cao dz. Vậy:

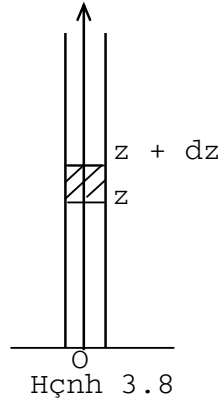
$$dp = -\rho g \cdot dz$$

Có : $-\rho = \frac{\mu p}{RT}$: khối lượng riêng

Dấu - biểu thị z tăng thì p giảm ($dp < 0$)

$$dp = -\frac{\mu p}{RT} g \cdot dz$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dz$$



Tích phân 2 vế khi $z : 0 \rightarrow z$; ứng với Pz : $P(0) \rightarrow P(z)$

$$\int_{P(0)}^{P(z)} \frac{dp}{p} = -\frac{\mu g z}{RT} \Rightarrow \ln \frac{P(z)}{P(0)} = \ln e^{-\frac{\mu g z}{RT}}$$

Đồng nhất hai vế của phương trình:

$$\Rightarrow p(z) = p(0) \cdot e^{-\frac{\mu g z}{RT}}$$

Nếu lấy gốc độ cao z là mặt biển $\Leftrightarrow z = 0 \Leftrightarrow p_0 = p(0)$

Thì:
$$p(z) = p_0 \cdot e^{-\frac{\mu gz}{RT}} \quad (3.32)$$

Công thức được gọi là công thức khí áp biểu thị sự giảm áp suất theo độ cao.

3.7.2 Định luật phân bố (mật độ phân tử) Bônzman

Trong điều kiện nhiệt độ không đổi, Theo (3.2): áp suất tỉ lệ với mật độ phân tử $p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W_a} = n_0 kT$. Do vậy nếu áp suất khí thay đổi theo độ cao z thì mật độ phân tử (n_0) cũng thay đổi.

Từ: $\mu = m \cdot N_A \quad R = k \cdot N_A$

$$\Rightarrow p(z) = p_0 e^{-\frac{mgz}{kT}} \quad \text{do tỉ lệ: } \frac{n_0(z)}{p(z)} = \frac{n_0(0)}{p(0)}$$
$$\Rightarrow n_0(z) = n_0(0) \cdot e^{-\frac{mgz}{kT}} \quad (3.33)$$

$n_0(0)$ là mật độ phân tử tại $z = 0 \Leftrightarrow W_t = 0$

Công thức cho thấy mật độ phân tử giảm theo độ cao z , như vậy càng lên cao không khí càng loãng.

Công thức được gọi là **định luật phân bố Bônzman**, được thiết lập đối với khối khí đặt trong trọng trường đều. Tuy vậy nó vẫn áp dụng được khi khối khí được đặt trong một trường thế bất kỳ (W_t).

$$n_0(W_t) = n_0(0) \cdot e^{-\frac{W_t}{kT}} \quad (3.34)$$

Vậy chỗ nào thế năng W_t nhỏ thì mật độ phân tử càng lớn.

Hàm: $f(W_t) = e^{-\frac{W_t}{kT}}$ được gọi là **hàm phân bố Bônzman** (3.35)

Theo thống kê Bônzman, xác suất để phân tử có đủ năng lượng vượt qua rào thế W_t :

$$\frac{n_0(W_t)}{n_0(0)} = e^{-\frac{W_t}{kT}} \quad : \text{hàm phân bố mật độ phân tử theo thế năng } W_t.$$

Kết hợp phân bố Măcxoen và phân bố Bônzman ta có thể tìm được số hạt dn trong tổng số hạt dN trong một lớp nhỏ (dx, dy, dz) ở mức thế năng W_t và có vận tốc trong khoảng $\vec{v} \rightarrow \vec{v} + d\vec{v}$:

$$dn = dN \cdot \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}} dv_x dv_y dv_z = dN \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_x dv_y dv_z$$

Trong đó: $dN = n_0(W_t) \cdot dx \cdot dy \cdot dz = n_0(0) e^{-\frac{W_t}{kT}} dx \cdot dy \cdot dz$

từ đó: $dn = n_0(0) \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{(W_a + W_t)}{kT}} dx \cdot dy \cdot dz \cdot dv_x \cdot dv_y \cdot dv_z$

với: $W = W_t + W_d$: cơ năng toàn phần của hạt.

$$\text{hay} \quad dn = n_0(o) \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-w/kT} dx.dy.dz.dv_x.dv_y.dv_z \quad (3.36)$$

Công thức được gọi là công thức **Măcxoen-Bônzman**.

Phân bố Măcxoen và phân bố Bônzman áp dụng tốt với các hệ có số phân tử đủ lớn, loãng, và nhiệt độ tương đối cao. Các hệ đó được gọi là các khí cổ điển và các định luật phân bố nói trên được gọi là các định luật phân bố cổ điển.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1:

Một lượng khí O₂ đựng trong một bình có thể tích V₁ = 10 lít, áp suất khí trong bình p₁ = 10¹¹ mmHg, nhiệt độ khí t₁ = 10⁰C. Tìm:

1. Động năng trung bình và động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí.
2. Mật độ các phân tử khí trong bình.
3. Nén khí đẳng áp để mật độ phân tử khí tăng gấp đôi thì nhiệt độ khí trong bình là bao nhiêu?
4. Nội năng khối khí trước và sau khi nén ?

Giải :

1. Động năng trung bình và động năng tịnh tiến trung bình:

$$\text{Động năng trung bình của một phân tử: } \overline{W_d} = \frac{i}{2} kT_1$$

Ôxi là khí lưỡng nguyên tử nên i = 5, vậy:

$$\overline{W_d} = \frac{5}{2} 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 283 = 9,76 \cdot 10^{-21} \text{ j}$$

Ôxi có 3 bậc tự do tịnh tiến nên động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử:

$$\overline{W} = \frac{3}{2} kT_1 = \frac{3}{5} \overline{W_d} = 5,856 \cdot 10^{-21} \text{ j}$$

2. Mật độ phân tử:

Ở điều kiện thường Ôxi là khí lí tưởng nên:

$$n_0 = \frac{p}{kT_1} = \frac{10^{-11} \cdot 1,013 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 283} = 3,41 \cdot 10^{11} \text{ pt/ m}^3.$$

3. Nén khí đẳng áp để mật độ phân tử khí tăng gấp đôi thì nhiệt độ khí:

$$\text{Có :} \quad n'0 = 2 n0 = \hat{G}$$

$$\text{Nên :} \quad \hat{G} \hat{G} T2 = \hat{G} = \hat{G} = 141,50K$$

4. Nội năng khối khí trước và sau khi nén:

$$\text{Trước khi nén: } U1 = N\overline{U}$$

Gọi N là số phân tử khí trong bình: N = n0V1 ; từ đó:

$$\begin{aligned} U_1 &= N \cdot \overline{W_d} = n_0 V_1 \overline{W_d} \\ &= 3,41 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-2} \cdot 9,76 \cdot 10^{-21} = 33,28 \cdot 10^{-12} \text{ j} \end{aligned}$$

Sau khi nén: $U_2 = N_1' = n_0 V_1 U_1 = 16,64 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

Thí dụ 2:

1. Ở nhiệt độ 1270C số phân tử khí Hydrô có vận tốc trong khoảng từ 3990m/s đến 4010m/s chiếm tỉ lệ bao nhiêu phần trăm?

2. Ở nhiệt độ trên, số phân tử Hydrô có vận tốc khác với vận tốc có xác suất lớn nhất vXS không quá 10m/s chiếm bao nhiêu phần trăm?

Giải :

1. Tỉ lệ phần trăm số phân tử có v trong khoảng từ 3990m/s đến 4010m/s:

Do khoảng vận tốc từ 3990m/s đến 4010m/s mà ta quan tâm rất bé, nên có thể coi: $dv = v + dv - v = 4010 - 3990 = 20\text{m/s}$ ($v = 3990\text{m/s}$).

Số phân tử khí có vận tốc từ v đến v + dv được xác định bằng công thức (3.21): $dN = N \cdot f$; với f(v) theo phân bố Mắcxoen, nên tỉ lệ:

$$\hat{c} = f(v) \cdot dv = \hat{G} \quad \text{Có } \hat{G}$$

$$= 4 \times \pi \left(\frac{2}{2\pi \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 400} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot (3990)^2 e^{-\frac{2 \cdot (3990)^2}{2,8,31 \cdot 10^3 \cdot 400}} \times 20$$
$$= 0,985 \cdot 10^{-3} = 0,098 \%$$

2. Vận tốc có xác suất lớn nhất ở nhiệt độ T = 4000K là:

$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{2,8,31 \cdot 10^3 \cdot 400}{2}} \approx 1823\text{m/s}$$

Ở nhiệt độ T = 4000K số phần trăm phân tử khí có vận tốc không khác vXS quá 10m/s thì nằm trong khoảng vận tốc từ v = 1813đến 1833m/s tương ứng với khoảng biến thiên dv = 20m/s.

Đặt: \hat{G} : vận tốc tỉ đối, thì phân bố ở trên có thể được viết lại theo u:

$$\frac{dN}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\left(\frac{v}{v_{xs}}\right)^2} \cdot \left(\frac{v}{v_{xs}}\right)^2 \cdot \frac{dv}{v_{xs}} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u} \cdot u^2 \cdot du$$
$$= \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\left(\frac{1813}{1823}\right)^2} \cdot \left(\frac{1813}{1823}\right)^2 \cdot \frac{20}{1823} = 0,0051 = 0,51 \%$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG III: THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

Bài 3.1: Trong một thể tích 2lít, chứa 10g khí ôxy ở áp suất 680mmHg. Tìm :

- a. Vận tốc căn quân phương của phân tử khí?
- b. Số phân tử khí chứa trong bình.
- c. Khối lượng riêng của khối khí?

$$\text{ĐS: } \sqrt{v^2} = 230\text{m/s}; 1,9 \cdot 10^{23}; 5\text{kg/m}^3$$

Bài 3.2: Khối lượng riêng của một chất khí là $\rho = 6.10^{-2} \text{ kg/m}^3$, vận tốc căn quân phương của các phân tử khí này là 500m/s. Tìm áp suất của khối khí tác dụng lên thành bình ?

$$\text{ĐS: } 5.10^3 \text{ N/m}^2$$

Bài 3.3: Trong một thể tích 3dm³, chứa 4.10⁻⁶kg khí Hêli, 7.10⁻⁵ kg khí Nitơ và 5.10²¹ phân tử khí Hydrô. Tìm áp suất của hỗn hợp khí đó nếu nhiệt độ của nó là 27⁰C ?

$$\text{ĐS: } 9,81.10^3 \text{ N/m}^2$$

Bài 3.4: Có một kg khí lưỡng nguyên tử, chiếm thể tích $V = 10\text{cm}^3$ ở áp suất $p = 40\text{mmHg}$ và nhiệt độ $t = 27^0\text{C}$. Hãy tìm năng lượng chuyển động nhiệt và số phân tử của khối khí này ?.

$$\text{ĐS: } 0,133\text{J} ; 1,2.10^{19} \text{ phân tử}$$

Bài 3.5: Có 20g khí ôxy ở nhiệt độ 200C. Hãy tìm:

- Năng lượng chuyển động nhiệt của khối khí?
- Phần năng lượng ứng với chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay của các phân tử trong khối khí?

$$\text{ĐS: } 3,7.10^3\text{J} ; 2,2.10^3\text{J} ; 1,5.10^3\text{J}$$

Bài 3.6: Tổng động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử khí Nitơ chứa trong một khí cầu thể tích 0,02cm³ bằng 5.10³J và vận tốc căn quân phương của một phân tử khí đó là 2.10³m/s

- Tìm khối lượng khí Nitơ chứa trong khí cầu ?
- Áp suất khí tác dụng lên thành khí cầu?

$$\text{ĐS: } 2,5.10^{-3}\text{kg} ; 1,67.10^5 \text{ N/m}^2$$

Bài 3.7: Tìm vận tốc trung bình, vận tốc căn quân phương và vận tốc có xác suất lớn nhất của phân tử khí ôxy ở 132⁰C

$$\text{ĐS: } 518\text{m/s} ; 557\text{m/s} ; 459\text{m/s}$$

Bài 3.8: Tìm vận tốc căn quân phương của các phân tử khí. Biết khối lượng riêng của khí là $\rho = 3.10^{-2} \text{ kg/m}^3$ và áp suất do khí tác dụng lên thành bình: $p = 3,6.10^3 \text{ N/m}^2$.

$$\text{ĐS: } 600\text{m/s}$$

Bài 3.9: Có bao nhiêu phần trăm phân tử khí Nitơ ở 7⁰C có vận tốc nằm trong khoảng từ 500 đến 510m/s?

$$\text{ĐS: } 1,9\%$$

Bài 3.10: Trong một khối khí chứa N phân tử. Hỏi có bao nhiêu phần trăm phân tử khí chuyển động với vận tốc :

- Lớn hơn vận tốc xác suất lớn nhất ?

b- Bé hơn vận tốc có xác suất bé nhất ?

ĐS: 57% ; 43%

Bài 3.11: Áp suất không khí trên một đỉnh núi cao 1000m giảm đi bao nhiêu lần so với áp suất không khí ở trên mặt biển? Nhiệt độ không khí xem như không đổi theo chiều cao và bằng 27°C .

ĐS: 3,2

Bài 3.12: Trên độ cao h bằng bao nhiêu thì mật độ của ôxy giảm đi 1% ? Biết nhiệt độ của ôxy là 27°C .

ĐS: 73m

CHƯƠNG IV : **CÁC HIỆN TƯỢNG ĐỘNG HỌC** **TRONG CHẤT KHÍ**

Các phân tử khí luôn chuyển động hỗn loạn và va chạm vào nhau. Sự va chạm phân tử đóng một vai trò quan trọng đối với các quá trình xảy ra bên trong khối chất.

Khi trong khối khí có sự không đồng đều về: mật độ, nhiệt độ, hoặc vận tốc định hướng thì sự va chạm phân tử sẽ làm mất dần sự không đồng đều đó.

Lúc đó trong khối chất sẽ xuất hiện các quá trình gọi chung là **các hiện tượng truyền** như: hiện tượng khuếch tán, hiện tượng nội ma sát, hiện tượng dẫn nhiệt... các quá trình truyền là các quá trình không cân bằng rất phức tạp. Do vậy, giả thiết hệ là khí lý tưởng và các quá trình diễn ra rất chậm (coi là quá trình cân bằng).

4.1 QUÃNG ĐƯỜNG TỰ DO TRUNG BÌNH CỦA PHÂN TỬ KHÍ

4.1.1 Số va chạm trung bình

Khi chuyển động nhiệt, phân tử luôn va chạm với các phân tử ở lân cận.

Quãng đường tự do λ là quãng đường giữa hai lần va chạm liên tiếp của phân tử .

Do tính hỗn loạn, sự va chạm là ngẫu nhiên từ đó quãng đường tự do của phân tử (A) là rất khác nhau.

Xét trong một khoảng thời gian \bar{t} , phân tử (A) có n va chạm thì $n =$ số quãng đường tự do. Từ đó:

Quãng đường tự do trung bình của phân tử (A):

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}{n}$$

Gọi \bar{v} : vận tốc trung bình của phân tử .

\bar{Z} : số va chạm trung bình của phân tử trong một đơn vị thời gian, thực:

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{Z}} \quad (4.1)$$

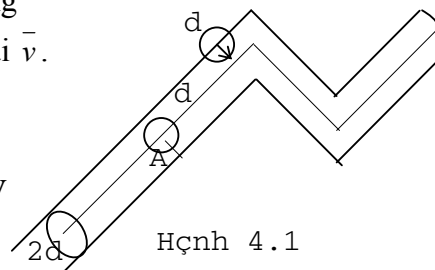
Nếu coi phân tử là một quả cầu bán kính r đường kính $d = 2r$ và nếu giả thiết: chỉ có phân tử A chuyển động với vận tốc \bar{v} còn tất cả các phân tử khác đều đứng yên. Thì trong một đơn vị thời gian phân tử A đã đi được quãng đường $\bar{v} \bar{t}$, trong thời gian này nó va chạm với tất cả các phân tử nào có tâm nằm trong hình trụ gấp khúc bán kính d (đường kính $2d$) chiều dài $\bar{v} \bar{t}$.

Thể tích hình trụ này: $V = \pi d^2 \bar{v} \bar{t}$

Gọi n^0 : mật độ phân tử .

\Rightarrow số phân tử nằm trong thể tích hình trụ này: $n_0 V$

$$n_0 V = n_0 \pi d^2 \bar{v} \bar{t}$$



Số $n_0 V$ cũng chính là số va chạm trung bình \bar{Z} giữa phân tử A và các phân tử khác trong một đơn vị thời gian, mà :

$$\bar{Z} = n_0 \pi d^2 \bar{v} \quad (4.2)$$

- Kết quả trên được xây dựng với giả thiết: chỉ phân tử A chuyển động còn các phân tử khác đứng yên. Thực tế, các phân tử khác cũng chuyển động vì vậy số va chạm sẽ nhiều hơn, và phải thay \bar{v} bằng vận tốc trung bình tương đối \bar{v}_{ia}

Vận tốc \bar{v}_{ia} được tính như sau: khi hai phân tử đều chuyển động thì động năng trung bình của mỗi phân tử : $\bar{W}_a = \frac{3}{2} kT$ và tổng động năng của chúng là $2\bar{W}_a$. Nếu xét tương đối, tức là coi một phân tử đứng yên và một phân tử chuyển động thì phân tử chuyển động phải mang toàn bộ năng lượng tức là có động năng trung bình $2\bar{W}_a$ từ đó :

$$\frac{1}{2} m v_{ia}^2 = 2 \cdot \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v_{ia}^2 = 2v^2$$

hay $\bar{v}_{ia} = \bar{v} \sqrt{2}$

Vậy số va chạm trung bình của phân tử trong một đơn vị thời gian:

$$\bar{Z} = \sqrt{2} n_0 \pi d^2 \bar{v} = 4\sqrt{2} \pi r^2 n_0 \bar{v} \quad (4.3)$$

4.1.2 Công thức quãng đường tự do trung bình

Theo trên : $\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{Z}}$

$$\Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{4\sqrt{2} \pi r^2 n_0 \bar{v}} = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi r^2 n_0} \quad \text{với } n_0 = \frac{p}{kT} : \text{ mật độ hạt}$$

$$\Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{kT}{4\sqrt{2} \pi r^2 p}$$

hay : $\bar{\lambda} = \frac{kT}{4\sqrt{2} \sigma p} \quad (4.4)$

với $\sigma = \pi r^2$: tiết diện hiệu dụng của phân tử.

Công thức cho thấy khi nhiệt độ $T = \text{const}$ thì $\bar{\lambda}$ tỉ lệ nghịch với áp suất p , còn khi $p = \text{const}$, $\bar{\lambda}$ tăng tỉ lệ với nhiệt độ T .

Ví dụ: với $r \approx 10^{-8} \text{ cm} (10^{-10} \text{ m})$; $n_0 = 3.10^{19} \text{ cm}^{-3}$

và $\bar{v} = 5.10^4 \text{ cm/s}$ thì:

$$\bar{Z} = 4\sqrt{2} \times 3,14 (10^{-8})^2 \cdot 5.10^4 \cdot 3.10^{19} \approx 3.10^9 \text{ vc/s} \quad (\text{cỡ 3 tỉ lần va chạm/s})$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{4\sqrt{2} \times 3,14 (10^{-8}) \cdot 3.10^{19}} = 1,8.10^{-5} \text{ cm}$$

4.2 HIỆN TƯỢNG KHUYẾT TÁN

Hệ là khối khí có mật độ khối lượng ρ (hoặc khối lượng riêng) không đồng đều, có chỗ mật độ lớn, có chỗ mật độ nhỏ.

$$\rho = \rho(x, y, z)$$

Khi đó do vận động nhiệt sẽ xảy ra quá trình san bằng sự chênh lệch mật độ. Quá trình được gọi là **quá trình khuyết tán**, hiện tượng được gọi là hiện tượng khuyết tán.

Vậy: hiện tượng khuyết tán là hiện tượng truyền khối lượng khí từ nơi có mật độ khối lượng lớn sang nơi có mật độ khối lượng bé hơn.

4.2.1 Theo quan điểm vĩ mô

Để đơn giản ta giả thiết \vec{OX} là phương truyền hay phương khuyết tán; ρ chỉ thay đổi theo phương \vec{OX} .

$$\rho = \rho(x)$$

A, B : 2 điểm thuộc \vec{OX} mà $\rho_A > \rho_B$

$$\text{Ta có : } \frac{\rho_B - \rho_A}{AB} = \frac{d\rho}{dx}$$

$\frac{d\rho}{dx}$: gradien khối lượng riêng theo phương \vec{OX}

$$\frac{d\rho}{dx} = \text{const} \quad \text{và} \quad \frac{d\rho}{dx} < 0$$

Thực nghiệm cho thấy rằng :

Nếu dS là diện tích nhỏ đặt vuông góc \vec{OX} , thì khối lượng dM của khí khuyết tán truyền qua dS trong thời gian dt là:

$$dM = -D \frac{d\rho}{dx} \cdot dS \cdot dt \quad (4.5)$$

D : Hệ số tỉ lệ hay hệ số khuyết tán.

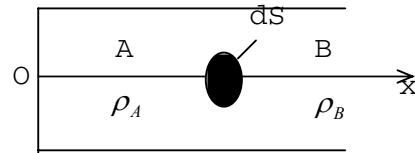
Dấu - vì khí khuyết tán theo chiều giảm ρ

Đơn vị: trong hệ SI $D[\text{m}^2/\text{s}]$; $\frac{d\rho}{dx} [\text{Kg}/\text{m}^4]$

D : Biểu thị khối lượng khí khuyết tán qua một đơn vị diện tích vuông góc với phương khuyết tán.

+ **Định luật Fick:** Khối lượng khí truyền qua một diện tích dS đặt vuông góc với phương khuyết tán thì tỉ lệ với dS , với thời gian truyền dt và với gradien của mật độ khối lượng.

- **Ghi chú:** Trong quá trình khuyết tán, mật độ khối lượng ρ (hay khối lượng riêng) tại 1 vị trí trên phương truyền phải biến thiên theo thời gian. Tuy vậy, nếu xét trong một khoảng thời gian dt rất nhỏ thì ρ có thể coi là không đổi tại đó và ta có sự **khuyết tán dừng** (như ở trên).

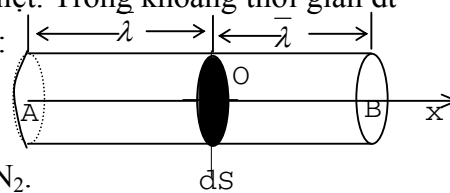


Hình 4.2

4.2.2 Theo quan điểm vi mô

Bản chất hiện tượng khuếch tán là sự vận động nhiệt. Trong khoảng thời gian dt có hai dòng phân tử chuyển động nhiệt diễn ra đồng thời:

- Dòng chuyển động từ $A \rightarrow B$: dN_1 phân tử
- Dòng chuyển động từ $B \rightarrow A$: dN_2 phân tử
- Do $\rho_A > \rho_B$ mật độ hạt $n_A > n_B$ nên : $dN_1 > dN_2$.



Hình 4.3

Kết quả là một lượng $dM = m (dN_1 - dN_2)$ được truyền qua dS có chiều từ A B trong thời gian dt .

Xét hai hình trụ có đáy dS chiều dài $\bar{v} dt$. Số phân tử nằm trong hai hình trụ (bên trái và bên phải dS) là:

$$dN_1 = n_A \bar{v} dt \cdot dS \quad \text{và} \quad dN_2 = n_B \bar{v} dt \cdot dS$$

Trong thời gian này toàn bộ số dN_1, dN_2 đều chuyển động theo phương ox và đều hướng về dS thì:

$$dM = m \cdot (n_A - n_B) \bar{v} \cdot dt \cdot dS \quad m: \text{khối lượng một phân tử}$$

Thực tế do tính chuyển động hỗn loạn và đẳng hướng nên một phân tử có thể chuyển động bất kỳ, chuyển động đó phụ thuộc vào 3 phương x, y, z . nghĩa là có 6 hướng khác nhau, 6 hướng này hoàn toàn đồng khả năng; vì vậy thực tế chỉ có $\frac{dN_1}{6}$ và

$\frac{dN_2}{6}$ phân tử được chuyển qua dS theo phương ox nên:

$$dM = \frac{1}{6} m \cdot (n_A - n_B) \bar{v} \cdot dt \cdot dS \quad \text{với} \quad m \cdot n_A = \rho_A$$

$$\Rightarrow dM = \frac{1}{6} (\rho_A - \rho_B) \bar{v} \cdot dt \cdot dS$$

Mặt khác, tính trung bình thì những phân tử khí nằm cách dS một khoảng \bar{G} thì có thể đi đến dS mà không bị va chạm. (chính các phân tử này mới đóng vai trò quan trọng trong hiện tượng khuếch tán)

$$\text{Thì:} \quad \frac{\rho_B - \rho_A}{2\lambda} = \frac{d\rho}{dx}$$

$$\Rightarrow \rho_B - \rho_A = 2\lambda \frac{d\rho}{dx}$$

$$\Rightarrow dM = -\frac{1}{6} 2\lambda \frac{d\rho}{dx} \bar{v} \cdot dt \cdot dS = -\frac{1}{3} \lambda \cdot \bar{v} \frac{d\rho}{dx} dS \cdot dt$$

So sánh với công thức ở (4.5) ta được kết quả:

$$\text{Hệ số khuếch tán :} \quad D = \frac{1}{3} \lambda \cdot \bar{v} \quad (4.6)$$

$$\text{Với: } \bar{\lambda} = \frac{kT}{4\sqrt{2}\sigma p}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

$$\text{Vậy: } D = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{\sigma \cdot p} \sqrt{\frac{(kT)^3}{\pi \cdot m}} \quad (4.7)$$

Hệ số D tỉ lệ với $T^{\frac{3}{2}}$ và tỉ lệ nghịch với áp suất p, từ đó: nhiệt độ càng cao, áp suất càng thấp thì quá trình khuếch tán diễn ra càng nhanh.

4.3 HIỆN TƯỢNG DẪN NHIỆT

Truyền nhiệt bằng dẫn nhiệt: Giả sử hệ là khối khí có nhiệt độ T không đồng đều:

$$T = T(x, y, z)$$

Do vận động nhiệt, phân tử ở các vùng nhiệt độ khác nhau tương tác với nhau dẫn đến quá trình san bằng nhiệt độ. Khi đó cũng xuất hiện quá trình truyền nhiệt lượng từ lớp khí nóng sang lớp khí lạnh có nhiệt độ thấp hơn. Kết quả là một dòng nhiệt được truyền từ nơi có nhiệt độ cao sang nơi có nhiệt độ thấp.

4.3.1 Theo quan điểm vĩ mô

Giả sử nhiệt độ T của khối khí thay đổi giảm dần theo phương \vec{OX} .

$$T = T(x)$$

Thực nghiệm cho thấy: trong thời gian dt, nhiệt lượng dQ truyền qua diện tích dS đặt vuông góc với phương truyền \vec{ox} :

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dx} dS \cdot dt \cdot (j) \quad (4.8)$$

+ **Định luật Fourier:** nhiệt lượng dQ truyền qua dS đặt vuông góc với phương truyền nhiệt \vec{ox} , tỉ lệ với dS, với thời gian truyền và với độ lớn gradien nhiệt theo \vec{OX} .

χ : hệ số dẫn nhiệt; χ biểu thị nhiệt lượng khí truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền trong một đơn vị thời gian.

dấu - do nhiệt truyền theo chiều nhiệt độ giảm.

Trong hệ SI: $\chi [\frac{W}{m \cdot K}]$

4.3.2 Theo quan điểm vi mô

Giả sử A, B là hai điểm trên phương truyền nhiệt, mà $T_A > T_B$, khi đó động năng tịnh tiến trung bình $\bar{W}_a(A) > \bar{W}_a(B)$; do chuyển động nhiệt các phân tử ở lớp khí nóng bay sang lớp khí lạnh, va chạm với chúng và truyền cho các phân tử này một phần năng lượng.

Đồng thời các phân tử ở lớp khí lạnh bay sang lớp khí nóng, va chạm với chúng và thu được một phần năng lượng ở dạng động năng của các phân tử lớp nóng. Kết quả

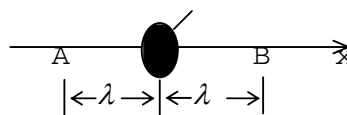
là : một dòng nhiệt dQ được truyền từ lớp khí nóng sang lớp khí lạnh hơn, nhiệt lượng truyền qua dS trong thời gian dt là:

$$dQ = dN_1 \cdot \bar{W}_a(A) - dN_2 \cdot \bar{W}_a(B)$$

Xét đối với 2 điểm A, B nằm 2 bên dS cách dS một đoạn $\bar{v}dt$; hình thành 2 lớp khí có bề dày $\bar{v}dt$. Theo kết quả trước, số phân tử qua dS trong thời gian dt :

$$dN_1 = \frac{1}{6} n_A \cdot \bar{v}_A dS \cdot dt$$

$$dN_2 = \frac{1}{6} n_B \cdot \bar{v}_B dS \cdot dt$$



Hình 4.4

Do $n \approx \frac{1}{T}$; $\bar{v} \approx \sqrt{T}$ nên $n \cdot \bar{v} \approx \frac{1}{\sqrt{T}}$

Từ đó một cách gần đúng, nếu chênh nhiệt độ không nhiều thì có thể coi:

$$n_A \cdot \bar{v}_A = n_B \cdot \bar{v}_B \approx n \bar{v}$$

$$\Rightarrow dQ = \frac{1}{6} n \cdot \bar{v} dS \cdot dt \cdot [\bar{W}_a(A) - \bar{W}_a(B)] \quad \text{với} \quad \bar{W}_a = \frac{i}{2} kT$$

$$\Rightarrow dQ = \frac{1}{6} n \cdot \bar{v} dS \cdot dt \cdot \frac{i}{2} k(T_A - T_B)$$

Tính trung bình các phân tử ở cách dS một $\bar{\lambda}$ thì qua dS mà không bị va chạm

nên nếu T là nhiệt độ tại dS thì : $\frac{T_A - T_B}{2\bar{\lambda}} = -\frac{dT}{dx}$

$$\Rightarrow T_A - T_B = -2\bar{\lambda} \frac{dT}{dx}$$

với: $\frac{i}{2}k = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{N_A} = \frac{i}{2} R \cdot \frac{m}{m \cdot N_A} = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{\mu} m = \frac{C_V}{\mu} m = c_V m$

CV : nhiệt dung phân tử đẳng tích; c_v : nhiệt dung riêng đẳng tích

Vậy : $dQ = -\frac{1}{6} n \cdot \bar{v} dS \cdot dt \cdot m \cdot c_V \cdot 2\bar{\lambda} \frac{dT}{dx}$

$$dQ = -\frac{1}{3} n \cdot m \cdot \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \cdot c_V \frac{dT}{dx} dS \cdot dt$$

$$dQ = -\frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \cdot c_V \frac{dT}{dx} dS \cdot dt; \text{ có } n \cdot m = \rho$$

So sánh với công thức vĩ mô: $dQ = -\chi \frac{dT}{dx} \cdot dS \cdot dt$ ta được :

Hệ số dẫn nhiệt của khí :

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \cdot \bar{\lambda} \cdot c_V \quad (4.9)$$

Có $\rho \approx p$ và G nên χ không phụ thuộc vào áp suất khí p. Tuy vậy thực nghiệm cũng cho thấy điều này chỉ đúng ở điều kiện thường còn ở áp suất rất thấp thì χ phụ thuộc vào p.

4.4 HIỆN TƯỢNG NỘI MA SÁT

4.4.1 Theo quan điểm vĩ mô

Hiện tượng: Giả sử có hai bản phẳng song song aa' và bb' cách nhau d , ở giữa lấp đầy khí.

Nếu bản aa' đứng yên, còn bb' được làm cho chuyển động đều với vận tốc \vec{u} song song aa' ; thì khối khí nằm giữa hai bản cũng chuyển động theo nhưng các lớp khí bên trong có vận tốc khác nhau, lớp gần sát bb' có vận tốc lớn nhất gần bằng u , còn lớp gần sát aa' có vận tốc bé nhất gần bằng 0.

Người ta cho rằng: giữa hai lớp khí kế cận có lực tương tác, lớp chuyển động nhanh kéo theo lớp chuyển động chậm, lớp chuyển động chậm ngăn cản lớp chuyển động nhanh, tương tự như giữa hai lớp có lực ma sát. Hiện tượng trên được gọi là hiện tượng **nội ma sát**, lực ma sát giữa hai lớp được gọi là **lực ma sát nội \vec{f}** , có phương tiếp xúc với bề mặt lớp khí. Lực này gây nên bởi sự trao đổi động lượng của các phân tử của hai lớp khí.

+ Định luật Newton: Nếu dS là diện tích tiếp xúc giữa hai lớp khí, thì f tỉ lệ với dS và độ biến thiên vận tốc dòng $\frac{du}{dy}$.

$$f = \eta \cdot \frac{du}{dy} \cdot dS \quad (4.10)$$

Công thức biểu thị nội dung của định luật thực nghiệm Newton.

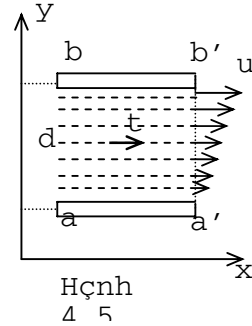
G : Hệ số tỉ lệ được gọi là hệ số **nhớt**, hay hệ số **nội ma sát**.

Trong hệ SI: $\eta [N \cdot s / m^2]$

4.4.2 Theo quan điểm vi mô

Có thể coi khối khí gồm nhiều lớp, trong mỗi lớp phân tử khí ngoài chuyển động nhiệt, còn tham gia vận tốc dòng \vec{u} , vận tốc này là như nhau đối với phân tử trong một lớp, còn trong các lớp khác nhau vận tốc dòng u có giá trị khác nhau.

Do chuyển động nhiệt hỗn loạn, có những phân tử khí ở lớp chuyển động nhanh bay sang lớp chuyển động chậm và va chạm với phân tử của lớp chậm, trong va chạm nó truyền một phần động lượng cho các phân tử của lớp chậm, làm tăng vận tốc dòng của lớp chậm, nói cách khác lớp nhanh tác dụng lên lớp chậm một lực theo hướng vận tốc dòng u , đó là lực nội ma sát \vec{f} .



Đồng thời cũng diễn ra quá trình ngược lại, các phân tử ở lớp chậm bay sang lớp chuyển động nhanh, va chạm với các phân tử lớp nhanh làm giảm động lượng các phân tử lớp này, kết quả là kim hãm lớp chảy nhanh. nói cách khác là lớp chậm đã tác dụng lên lớp nhanh một lực nội ma sát \vec{f} hướng ngược chiều với vận tốc dòng \vec{u} .

Gọi u_1, u_2 : Vận tốc dòng của lớp chậm và lớp nhanh.

dS : Diện tích tiếp xúc giữa hai lớp.

Trong thời gian dt số phân tử từ lớp chậm sang lớp nhanh hoặc từ lớp nhanh sang lớp chậm là : dN_1, dN_2 mà:

$$dN_1 = dN_2 = dN = \frac{1}{6} n \cdot \bar{v} dS \cdot dt$$

Độ biến thiên động lượng dK gây bởi sự trao đổi phân tử qua dS trong thời gian dt là :

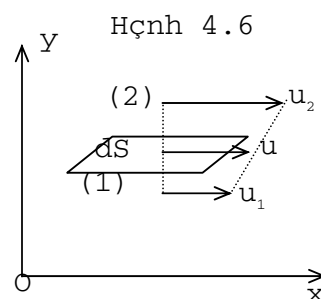
$$\begin{aligned} dK &= dN (m \cdot u_1 - m \cdot u_2) \\ &= \frac{1}{6} n \cdot \bar{v} dS \cdot dt (m \cdot u_1 - m \cdot u_2) \end{aligned}$$

Theo định lý xung lượng trong dt : $f \cdot dt = dK$

Lực nội ma sát có giá trị:

$$f = \frac{dK}{dt} = \frac{1}{6} n \cdot \bar{v} \cdot dS \cdot m (u_1 - u_2)$$

$$f = \frac{1}{6} \rho \cdot \bar{v} \cdot dS \cdot (u_1 - u_2)$$



Tương tự các hiện tượng đã khảo sát ở phần trên :

$$\frac{u_1 - u_2}{2\lambda} = \frac{du}{dy} \Rightarrow u_1 - u_2 = 2\lambda \frac{du}{dy}$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \cdot \lambda \cdot \frac{du}{dy} \cdot dS$$

So sánh với công thức Newton ta được hệ số nội ma sát :

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{v} \cdot \lambda. \quad (4.11)$$

- Thấy rằng: $\rho \approx \frac{1}{T}$; $\bar{v} \approx \sqrt{T}$; $\lambda \approx T \Rightarrow \eta \approx \sqrt{T}$, như vậy khi nhiệt độ tăng, hệ số η tăng làm lực ma sát nội f tăng.

- Do $\rho \approx p$; $\lambda \approx \frac{1}{p}$ nên η không phụ thuộc vào áp suất khí.

Đối với chất lỏng người ta cũng quan sát thấy có hiện tượng nội ma sát như trong chất khí.

4.5 PHƯƠNG TRÌNH TRUYỀN, MỐI LIÊN HỆ GIỮA CÁC HỆ SỐ TRUYỀN

4.5.1 Phương trình truyền

Các phương trình khuếch tán, truyền nhiệt, nội ma sát đều có cùng dạng; do vậy có thể dùng một phương trình thống nhất để diễn tả các hiện tượng truyền.

$$dG = - K \cdot \frac{dH}{dx} \cdot dS \cdot dt \quad (4.12)$$

Trong phương trình này :

. G : Đại lượng truyền ; dG : đại lượng truyền qua diện tích dS đặt vuông góc với phương truyền \vec{OX} trong thời gian dt.

. H : Đại lượng biến thiên; $\frac{dH}{dx}$: Gradient của đại lượng H theo ox.

. K : Hệ số truyền.

- Trong hiện tượng khuếch tán : $K = D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v}$

- Trong hiện tượng dẫn nhiệt : $K = \chi = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{\lambda} \bar{v} \cdot c_v$

- Trong hiện tượng nội ma sát: $K = \eta = \frac{1}{3} \rho \cdot \bar{\lambda} \bar{v}$

- Ý nghĩa: nếu dS = 1âvdt ; $\frac{dH}{dx} = 1 \Rightarrow K = -\frac{dG}{dt}$ nên K biểu thị tốc độ truyền,

K càng lớn hiện tượng truyền càng nhanh và hệ sớm đạt cân bằng.

4.5.2 Liên hệ giữa các hệ số truyền

Giữa các hệ số truyền có mối liên hệ như sau:

$$\eta = \rho \cdot D \quad (4.13)$$

$$\text{Hoặc : } \chi = c_v \cdot \eta = c_v \rho \cdot D \quad (4.14)$$

Để dàng xác định nhiệt dung riêng đẳng tích c_v ; hệ số nội ma sát η bằng thực nghiệm; từ mối quan hệ trên suy ra hệ số khuếch tán D hoặc hệ số dẫn nhiệt χ

4.5.3 Tính gần đúng của các công thức tính hệ số truyền

Trong các biểu thức của hệ số K, biểu thức nào cũng chứa $\bar{\lambda}$. Do vậy, nếu đo thực nghiệm một hệ số truyền K có thể suy ra $\bar{\lambda}$ từ đó xác định được đường kính hiệu dụng của phân tử d.

Từ thực nghiệm: các giá trị d thu được từ việc đo η hoặc đo χ của vài loại khí như sau:

	Theo χ	Theo η
Khí : H ₂	d = 1,67.10 ⁻¹⁰ m	d = 2,21.10 ⁻¹⁰ m
O ₂	d = 2,13.10 ⁻¹⁰ m	d = 2,98.10 ⁻¹⁰ m

Kết quả cho thấy hai cách tính d theo χ và theo η cho hai kết quả sai lệch nhau, điều đó biểu hiện tính gần đúng của các công thức tính K.

4.6 ÁP SUẤT THẤP (KHÍ HIẾM)

4.6.1 Khái niệm khí hiếm

Ta biết rằng áp suất khí chỉ phụ thuộc vào mật độ phân tử n_0 và nhiệt độ T .
($p = n_0.KT$); nên ở một nhiệt độ T không đổi khi p giảm thì mật độ hạt n_0 cũng giảm, làm quãng đường tự do $\bar{\lambda}$ tăng lên. $\left(\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot n_0} \right)$

Khi $\bar{\lambda}$ lớn hơn kích thước bình chứa (d) thì cơ chế va chạm phân tử thay đổi hẳn, sự va chạm chủ yếu diễn ra giữa phân tử và thành bình, dẫn đến tính chất của khí cũng thay đổi. Khí có $\bar{\lambda} > d$ được gọi là khí ở **áp suất thấp** hay **khí hiếm**.

Mức độ hiếm (còn gọi là độ chân không) được đánh giá như sau :

$\bar{\lambda} \gg d \Leftrightarrow$ độ chân không rất cao.

$\bar{\lambda} > d \Leftrightarrow$ độ chân không cao.

$\bar{\lambda} \approx d \Leftrightarrow$ độ chân không trung bình.

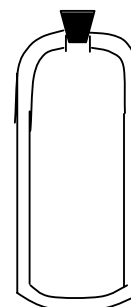
4.6.2 Hiện tượng nội ma sát và dẫn nhiệt của khí ở áp suất thấp

Trong điều kiện nhiệt độ và áp suất bình thường thì hệ số dẫn nhiệt χ hoặc hệ số nội ma sát η không phụ thuộc vào áp suất p của khí. Nhưng ở áp suất thấp thì χ và η đều phụ thuộc p , điều đó được giải thích như sau:

- Ở áp suất rất thấp $\bar{\lambda}$ lớn nên các phân tử không va chạm nhau mà chỉ va chạm với thành bình.

- Ở điều kiện thường, hệ số dẫn nhiệt χ phụ thuộc vào n_0 và $\bar{\lambda}$, hai đại lượng này ảnh hưởng và bù trừ nhau làm χ không phụ thuộc vào áp suất. Còn ở áp suất thấp, n_0 giảm nhưng $\bar{\lambda}$ không tăng (do $\bar{\lambda} > d$) từ đó χ chỉ còn

phụ thuộc vào n_0 nên p giảm làm χ giảm.



Hình
4.7

Áp suất càng thấp, số phân tử va chạm vào thành bình càng ít, hiện tượng nội ma sát và dẫn nhiệt càng kém (do ít phân tử tương tác với thành bình). Điều này được ứng dụng để chế tạo “phích đựng nước nóng”. Vỏ phích được cấu tạo bởi 2 lớp, giữa hai lớp là khí ở áp suất thấp. Do mật độ khí giữa hai lớp rất bé nên tốc độ truyền nhiệt từ trong ra ngoài rất chậm.

4.6.3 Cách thực hiện áp suất thấp

Để thực hiện áp suất thấp trong một bình chứa, cần dùng bơm rút khí ra khỏi bình, các bơm rút khí gọi là bơm chân không, phổ biến là các loại sau :

4.6.3.1- Bơm dầu: Có thể hạ đến áp suất cỡ 10⁻² (10-3mmHg. Gọi là bơm dầu là vì người ta dùng dầu để làm mát và làm tăng độ kín của bơm bằng cách đặt cả máy bơm vào trong một thùng dầu.

4.6.3.2- Bơm khuyết tán: Có thể bắt đầu hoạt động ở áp suất cỡ 10⁻²mmHg và đạt áp suất cỡ 10⁻⁶mmHg.

Dầu bị nung nóng bay hơi trong ống dẫn, phun thành dòng kéo theo các phân tử khí trong ống dẫn. Bơm khuyết tán thường được nối với một bơm dầu. Bơm dầu tạo chân không thấp rồi đến bơm khuyết tán tạo chân không cao hơn.

Ngoài ra còn một số loại bơm khác như : bơm hấp thụ, bơm ion vv...

4.6.4 Đo áp suất thấp

Để đo áp suất thấp người ta dùng áp kế, các áp kế được dùng phổ biến là :

- Áp kế Mắc - Lêôt : khoảng đo $10^{-1} \div 10^{-3}$ mmHg
- Áp kế nhiệt điện : khoảng đo $10^{-1} \div 10^{-2}$ mmHg
- Áp kế ion : khoảng đo $10^{-1} \div 10^{-7}$ mmHg

Như vậy mỗi áp kế phù hợp với một phạm vi chân không nhất định.

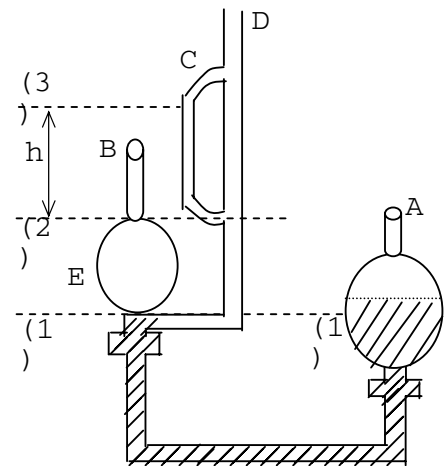
4.6.4.1 Áp kế Mắc- Lêôt

- **Cấu tạo:** 2 bình E và A được thông nhau bởi một ống cao su; trên E có gắn các ống B (kín), ống mao quản C và ống dẫn D. Đầu D được nối với một bình phải đo áp suất p; đầu A hở thông với khí quyển và có thể nâng cao hoặc hạ thấp dễ dàng. Đồ thủy ngân vào bình A.

- **Hoạt động:** Bằng cách điều chỉnh độ cao bình A sao cho thủy ngân ở mức (1). Khi đó bình E rỗng và chiếm đầy khí cần đo áp suất p, thể tích bình E và ống B được biết trước (giả sử bằng V).

Nâng bình A lên sao cho mực thủy ngân trong E đến mức (2), khí trong bình E bị dồn vào thể tích V' của B, áp suất trong B là p₂. Đồng thời do chênh lệch áp suất, mực thủy ngân trong C đạt vị trí (3) (chênh nhau h). Từ đó :

$$p_2 = p + h \quad p: \text{áp suất cần đo}$$



Hình 4.8

Áp dụng định luật Bôilơ - Mariôt :

$$p_2 \cdot V' = p \cdot V$$

$$\Rightarrow p = \frac{V'}{V} \cdot p_2 = \frac{V'}{V} (p + h) \quad \text{vì } p \ll h$$

$$\Rightarrow p = \frac{V'}{V} \cdot h = \alpha \cdot h \quad (\text{mmHg})$$

Tỉ số $\frac{V'}{V}$ biết trước do đó chỉ đo h ta biết được áp suất p của khí cần đo.

- Nhược điểm: áp kế Mắc - Lêôt dùng thủy ngân rất độc, nên không tiện trong việc theo dõi áp suất liên tục.

4.6.4.2 Áp kế ion

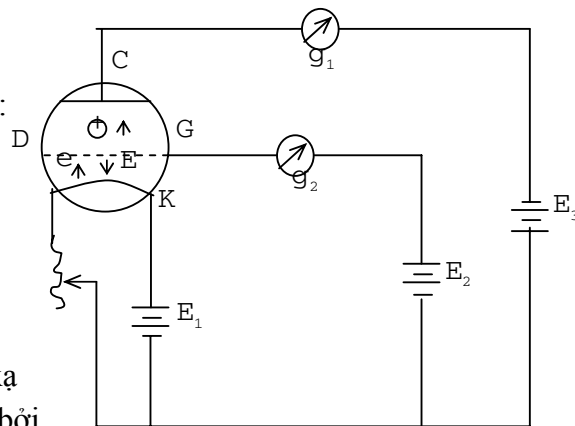
- **Cấu tạo:** có cấu tạo giống đèn 3 cực gồm:

- . Katốt K được đốt nóng bởi E_1
- . Lưới G : cực lưới điện thế V_G làm anốt
- . Cực góp C: có điện thế $V_c < V_G$

Bóng đèn được thông với bình khí cần xác định áp suất p.

- **Hoạt động:** khi K được đốt nóng nó phát xạ electron và e- được tăng tốc trong điện trường gây bởi U_{GK} chuyển động về phía G; trên đường dịch chuyển e⁻ va chạm với các phân tử khí từ bình làm ion hóa các phân tử (tạo ion⁺; và e⁻)

Do $V_c < V_G$, các ion⁺ chuyển động về phía C, còn e⁻ về phía G. Điện kế g_1 cho biết cường độ dòng ion. Cường độ dòng ion tỉ lệ với số phân tử bị ion hóa tức tỉ lệ với áp suất bình khí ($i = \gamma \cdot p$). Dựa vào i biết được p khi đã xác định được hệ số tỉ lệ γ .



Hình 4.9

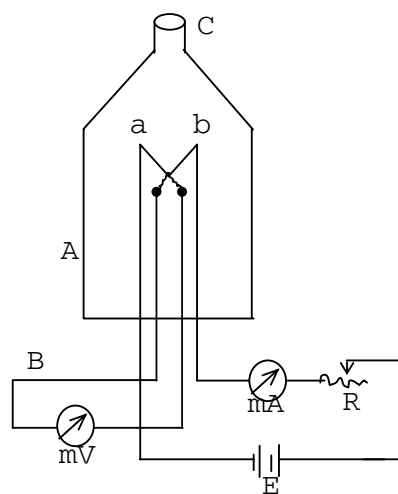
4.6.4.3 Áp kế nhiệt điện

- **Cấu tạo:** ống thủy tinh A trong có dây ab được đốt nóng bởi nguồn E, ống A được nối với bình khí cần đo áp suất p qua C. Khi thay đổi R, cường độ dòng điện đốt nóng bị thay đổi và được theo dõi bởi (mA), nhiệt độ dây ab được đo bằng pin nhiệt điện ở (mV).

- **Hoạt động:** Nối C với bình khí cần đo p và đốt nóng (ab). Do hệ số dẫn nhiệt χ phụ thuộc vào áp suất thấp p; áp suất càng thấp thì χ càng bé, sự dẫn nhiệt diễn ra càng chậm, nhiệt độ T của dây ab càng cao, điều này dẫn đến chênh nhiệt độ ở pin nhiệt điện lớn làm suất nhiệt điện động lớn; giá trị đó được hiển thị ở (mV).

Theo dõi (mV) ta suy ra được p.

- Ưu điểm: dễ dàng sử dụng.



Hình 4.10

- Nhược điểm: kém chính xác, sai số cỡ 10% → 15 %

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1:

Trong một bình thể tích 1dm^3 chứa khí N_2 ở nhiệt độ 7°C và áp suất $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.

Tìm :

1. Tổng va chạm của các phân tử Nitơ diễn ra trong bình trong một giây.
2. Thời gian trung bình giữa hai lần va chạm liên tiếp.

Cho đường kính của phân tử N_2 là $d = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Giải:

1. Số va chạm trung bình của một phân tử với các phân tử khác trong một giây:

$$\bar{Z} = \sqrt{2} \pi d^2 \bar{v} n_0$$

Với: $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\mu\pi}}$ và $n_0 = \frac{p}{kT}$

Số va chạm của tất cả các phân tử trong một đơn vị thể tích trong một đơn vị

thời gian trong thể tích V là: $Z_T = \frac{V n_0 \bar{Z}}{2}$

Với: $\frac{n_0}{2}$: là số va chạm cặp đôi trong một đơn vị thể tích.

Do đó: $Z_T = \frac{V n_0 \bar{Z}}{2} = 2V \left(\frac{pd}{kT} \right)^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{\mu}} = 2,64 \cdot 10^{32} \text{ s}^{-1}$

2. Thời gian trung bình giữa hai va chạm liên tiếp của các phân tử là $\bar{\tau} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{v}}$;

trong đó: $\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n_0}$; $n_0 = \frac{p}{kT} = \frac{N_A p}{RT}$

$$\Rightarrow \bar{\tau} = \frac{\sqrt{\frac{\mu RT}{\pi}}}{4d^2 p N_A} = 7,4 \cdot 10^{-11} \text{ giây.}$$

Thí dụ 2: Một bình técmột hình trụ bán kính trong $r_1 = 9\text{cm}$, bán kính ngoài $r_2 = 10\text{cm}$, chiều cao $h = 20\text{cm}$, đựng đầy nước đá ở nhiệt độ 0°C . Nhiệt độ không khí bên ngoài là 20°C .

a. Không khí ở giữa các thành bình có thể có áp suất lớn nhất là bao nhiêu để hệ số dẫn nhiệt của nó còn phụ thuộc vào áp suất ?. Đường kính của các phân tử không khí bằng $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Nhiệt độ không khí giữa các thành bình coi như bằng nhiệt độ trung bình số học của nhiệt độ nước đá và nhiệt độ không khí bên ngoài.

b. Tìm hệ số dẫn nhiệt của không khí giữa các thành bình ở áp suất 760mmHg và 10^{-4}mmHg ?.

c. Hãy tính nhiệt lượng truyền qua thành bình sau 1 phút trong hai trường hợp ứng với áp suất không khí giữa hai thành bình bằng $p_1 = 760\text{mmHg}$ và

$$p_2 = 10^{-4}\text{mmHg}. \text{ Bán kính trung bình của thành técmốt bằng } r = \frac{r_1 + r_2}{2}.$$

Giải :

a. Hệ số dẫn nhiệt của chất khí được tính theo công thức:

$$\chi = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v} c_v = \frac{i}{6} \bar{v} \bar{\lambda} n_0 k$$

$$\text{Thay : } \bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} \cdot p \cdot d^2} \quad \text{và} \quad n_0 = \frac{p}{kT}$$

$$\text{Ta được : } \chi = \frac{i}{6\sqrt{2}} \cdot \frac{\bar{v} \cdot k}{\pi \cdot d^2}$$

Vậy : Hệ số dẫn nhiệt không phụ thuộc vào áp suất, điều này đúng ở điều kiện thường. Nhưng đối với khí kém thì không đúng nữa; vì đối với khí kém, mật độ phân tử nhỏ đến mức $\bar{\lambda} \geq$ kích thước bình chứa, khi đó sự va chạm giữa các phân tử khí rất hiếm, các phân tử bay trực tiếp từ thành này đến thành kia của bình chứa (khi đó $\bar{\lambda}$ lấy bằng kích thước bình chứa). Điều này làm quá trình dẫn nhiệt trong khí kém thay đổi, các phân tử sau khi va chạm vào thành nóng nhận thêm năng lượng, động năng của nó tăng lên; sau đó khi va chạm vào thành lạnh nó truyền bớt một phần năng lượng. Vì vậy nhiệt lượng truyền giữa hai thành bình tỷ lệ với số phân tử va chạm với thành bình, nghĩa là tỷ lệ với mật độ phân tử hay tỷ lệ với áp suất. Áp suất càng thấp thì sự dẫn nhiệt càng kém, χ càng bé.

Vậy : Khi $\bar{\lambda} \geq l$ (kích thước bình chứa) thì hệ số dẫn nhiệt χ phụ thuộc vào áp suất :

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} \cdot p \cdot d^2} \geq l$$

$$p \leq \frac{kT}{\sqrt{2\pi} \cdot l \cdot d^2}$$

\Rightarrow Áp suất lớn nhất của không khí ở giữa hai thành bình để hệ số dẫn nhiệt phụ thuộc vào áp suất là:

$$p_0 = \frac{kT}{\sqrt{2\pi} \cdot l \cdot d^2} \quad \text{ở đây } l = r_2 - r_1 = 10^{-2}\text{m}$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{273^0 + 293^0}{2} = 283\text{K}. \text{ Do đó :}$$

$$p_0 = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 283}{\sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 10^{-2} (3 \cdot 10^{-10})^2} = 0,97\text{N} / \text{m}^2$$

b. Hệ số dẫn nhiệt được tính theo công thức (1) trong đó $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$

+ Trường hợp $p^1 = 760\text{mmHg} = 1,013 \cdot 10^5 \text{N/m}^2 > p_0$, nên ta có $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi \cdot p_1 \cdot d^2}}$.

Thay \bar{v} và $\bar{\lambda}$ vào (1) ta có :

$$\chi_1 = \frac{i}{3} \cdot \frac{k}{\pi \cdot d^2} \sqrt{\frac{RT}{\pi \mu}}$$

Không khí được coi như là một chất khí đồng nhất có bậc tự do $i = 5$

Do đó :

$$\chi_1 = \frac{5}{3} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23}}{3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-10})^2} \cdot \sqrt{\frac{8,31 \cdot 10^3 \cdot 283}{3,14 \cdot 29}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{J/ms độ}$$

+ Trường hợp $p_2 = 10^{-4}\text{mmHg} = 0,0133\text{N/m} < p_0$

Trường hợp này không khí giữa hai thành bình là loại khí kém nên quãng đường tự do trung bình của các phân tử không khí lấy bằng khoảng cách giữa hai thành bình: $\lambda = l$.

Thay \bar{v} và $\bar{\lambda}$ vào (1) ta có:

$$\chi_2 = \frac{i}{3} \cdot l \cdot p \cdot \sqrt{\frac{2R}{\pi \cdot \mu \cdot T}}$$

$$\chi_2 = \frac{5}{2} \cdot 10^{-2} \cdot 0,0133 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 8,31 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 29 \cdot 283}} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{J/ms độ}$$

c. Nhiệt lượng truyền qua thành técmôt trong thời gian dt bằng :

$$dQ = -\chi \frac{dT}{dx} \cdot dS \cdot dt$$

Trong đó dS là diện tích mặt trụ có bán kính là bán kính trung bình giữa hai thành técmôt và chiều cao là h :

$$dS = 2\pi \cdot \frac{r_1 + r_2}{2} \cdot h \quad \text{và} \quad \frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{l}$$

Vậy:
$$dQ = -\chi \left(\frac{T_2 - T_1}{l} \right) \pi (r_1 + r_2) h \cdot dt$$

+ Khi áp suất không khí giữa hai thành bình bằng $p_1 = 768\text{mmHg}$ thì:

$$dQ_1 = -\chi_1 \left(\frac{T_2 - T_1}{l} \right) \pi (r_1 + r_2) h \cdot dt$$

$$dQ_1 = -1,3 \cdot 10^{-2} \left(\frac{-20}{10^{-2}} \right) \cdot 3,14 \cdot (9 + 10) \cdot 10^{-2} \cdot 0,2 \cdot 60 = 186 \text{J}$$

+ Khi áp suất không khí giữa hai thành bình bằng $p_2 = 10^{-4}\text{mmHg}$ thì:

$$dQ_2 = -\chi_2 \left(\frac{T_2 - T_1}{l} \right) \pi (r_1 + r_2) h \cdot dt$$

$$dQ_2 = -1,8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{-20}{10^{-2}} \right) \cdot 3,14 \cdot (9 + 10) \cdot 10^{-2} \cdot 0,2 \cdot 60 \approx 2,6 \text{J}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG IV: HIỆN TƯỢNG ĐỘNG HỌC TRONG CHẤT KHÍ.

Bài 4.1: Trong không gian giữa các ngôi sao, trung bình trong 15cm^3 chỉ chứa 1 phân tử không khí. Tính quãng đường tự do trung bình của các phân tử khí đó, biết rằng đường kính hiệu dụng của mỗi phân tử khí là $2,3 \cdot 10^{-10}\text{m}$

$$\text{ĐS: } \bar{\lambda} = 6,4 \cdot 10^{10} \text{ km}$$

Bài 4.2: Trong một bình thể tích 1dm^3 chứa 2g khí Hêli. Xác định quãng đường tự do trung bình của các phân tử khí?

$$\text{ĐS: } \bar{\lambda} = 2,07 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Bài 4.3: Hãy tìm khoảng thời gian trung bình giữa hai va chạm liên tiếp của các phân tử khí Hydrô ở áp suất $13,3\text{N/m}^2$ và nhiệt độ 100°C ?

$$\text{ĐS: } \bar{\tau} = 8,3 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

Bài 4.4: Nén đoạn nhiệt một khối khí lưỡng nguyên tử, ở cuối quá trình nén nhiệt độ của nó tăng gấp đôi. Xác định quãng đường tự do trung bình của các phân tử ở cuối quá trình nén, nếu quãng đường tự do trung bình của chúng lúc ban đầu 10^{-7}m .

$$\text{ĐS: } \bar{\lambda}_2 = 1,77 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

Bài 4.5: Trong một bình hình cầu đường kính $l = 0,4\text{m}$ chứa khí Nitơ ở nhiệt độ 20°C . Hỏi áp suất khí bằng bao nhiêu để các phân tử khí không va chạm nhau. Đường kính hiệu dụng của các phân tử khí Nitơ là $3,1 \cdot 10^{-10}\text{m}$

$$\text{ĐS: } p \leq 2,38 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$$

Bài 4.6: Vận tốc căn quân phương của các phân tử khí bằng 900m/s . Quãng đường tự do trung bình của chúng trong điều kiện đó là $4 \cdot 10^{-6}\text{m}$. Xác định số va chạm trung bình của phân tử khí đó trong 1 giây?

$$\text{ĐS: } \bar{Z} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

Bài 4.7: Quãng đường tự do trung bình của các phân tử khí Hydrô ở một áp suất nào đó và ở nhiệt độ 21°C bằng $9 \cdot 10^{-8}\text{m}$. Do nén đẳng nhiệt nên áp suất của khí tăng lên gấp 3 lần. Tìm số va chạm trung bình của phân tử Hydrô trong một giây ở cuối quá trình nén?

$$\text{ĐS: } \bar{Z} = 2,07 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

Bài 4.8: Hệ số khuếch tán của ôxy ở điều kiện bình thường là $141 \cdot 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$. Xác định hệ số khuếch tán của nó ở nhiệt độ 50°C nếu quá trình hơi nóng khí là đẳng tích.

$$\text{ĐS: } D = 1,41 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Bài 4.9: Hệ số khuếch tán của khí cacbonic ở điều kiện bình thường là $10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$. Xác định hệ số nội ma sát của nó trong điều kiện trên?..

$$\text{ĐS: } \eta = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

Bài 4.10: Hệ số dẫn nhiệt của một chất khí 3 nguyên tử là $1,45 \cdot 10^{-2} \text{J/ms}^\circ\text{C}$, và hệ số khuếch tán của nó ở cùng điều kiện $10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$. Xác định mật độ phân tử khí trong điều kiện đó.

$$\text{ĐS: } n_0 = 3,5 \cdot 10^{25} \text{m}^{-3}$$

Bài 4.11: Tìm vận tốc cực đại có thể đạt được của một viên bi chì có đường kính 1mm nếu nó rơi trong:

a. Khí Nitơ ở nhiệt độ 0°C (đường kính hiệu dụng của phân tử khí Nitơ bằng $3 \cdot 10^{-10} \text{m}$).

b. Khí Hydrô ở 0°C (đường kính hiệu dụng của phân tử khí Hydrô bằng $2,3 \cdot 10^{-10} \text{m}$).

Biết khối lượng riêng của chì là $\rho_0 = 11300 \text{kg/m}^3$.

$$\text{ĐS: } v = 350 \text{m/s}; v = 770 \text{m/s}$$

Bài 4.12: Khoảng cách giữa hai thành của bình Đuyoa là 6mm. Bình chứa không khí. Hỏi từ áp suất nào thì sự truyền nhiệt của không khí bắt đầu phụ thuộc vào áp suất? Nhiệt độ của không khí là 17°C và đường kính hiệu dụng của các phân tử không khí bằng $3 \cdot 10^{-10} \text{m}$.

$$\text{ĐS: } p \leq 1,67 \text{N/m}^2$$

CHƯƠNG V :

NGUYÊN LÝ II NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

5.1 NHỮNG HẠN CHẾ CỦA NGUYÊN LÝ I NĐLH

Theo nguyên lý I, trong một quá trình biến đổi để hệ sinh công hệ cần nhận nhiệt, nhiệt hệ nhận đúng bằng tổng công hệ sinh ra và độ biến thiên nội năng của hệ: $Q = \Delta U + A$.

Vậy, nguyên lý I là dạng của định luật BTĐNL, một định luật cơ bản cho mọi ngành khoa học; tất cả các quá trình biến đổi trong tự nhiên đều phải phù hợp với định luật BTĐNL. Từ đó:

- Tất cả các quá trình diễn ra trong tự nhiên phải phù hợp với nguyên lý I. Thực tế lại cho thấy: có những quá trình biến đổi phù hợp với nguyên lý I mà vẫn không xảy ra trong tự nhiên. Ví dụ:

- Quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh hoặc từ vật lạnh sang vật nóng, cả hai quá trình này đều không vi phạm nguyên lý I. Thực tế cho thấy chỉ có quá trình truyền nhiệt tự phát từ vật nóng sang vật lạnh, quá trình ngược lại không xảy ra tự phát. Điều này cho thấy nguyên lý I có những mặt hạn chế sau:

Hạn chế của nguyên lý I:

- Nguyên lý không cho biết chiều diễn biến của quá trình thực tế xảy ra.
- Theo nguyên lý I: công và nhiệt là hai đại lượng tương đương, công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt và nhiệt có thể biến hoàn toàn thành công. Thực tế cho thấy: công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt, nhưng nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.

- Nguyên lý I không đề cập đến chất lượng nhiệt, thực tế cho thấy nhiệt lấy từ nguồn nhiệt độ cao chất lượng tốt hơn lấy từ nguồn nhiệt độ thấp.

Như vậy nguyên lý I có nhiều mặt hạn chế, nguyên lý II bổ sung vào nguyên lý I hợp thành một hệ lý luận chặt chẽ nhằm giải quyết các vấn đề kỹ thuật nhiệt.

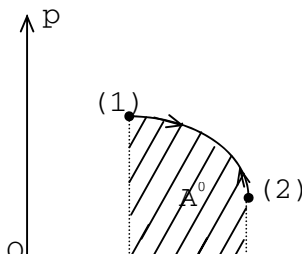
Trước khi đi vào nội dung của nguyên lý II ta xét thế nào là quá trình biến đổi thuận nghịch và không thuận nghịch.

5.2 QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH VÀ QUÁ TRÌNH KHÔNG THUẬN NGHỊCH

5.2.1 Quá trình thuận nghịch

Định nghĩa: Một quá trình biến đổi của hệ được gọi là thuận nghịch khi có thể tiến hành theo chiều ngược lại, trong quá trình ngược hệ đi qua các trạng thái trung gian như quá trình thuận.

Trên giản đồ (p, V) đường biểu đồ của quá trình thuận và quá trình nghịch trùng nhau.



- Quá trình (1) \rightarrow (2) là quá trình giãn khí, công sinh ra A trong quá trình là diện tích giới hạn bởi biểu đồ và trục V.

- Quá trình (2) \rightarrow (1) là quá trình nén khí, công nhận vào A' trong quá trình cũng là phần diện tích giới hạn bởi biểu đồ và trục V.

Khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu, độ biến thiên nội năng hệ $\Delta U = 0$. Từ đó:

Công sinh ra trong quá trình thuận A = Công nhận vào trong quá trình nghịch A'.

Nhiệt nhận vào trong quá trình thuận Q = nhiệt tỏa ra trong quá trình nghịch Q'.

- **Kết quả** : Đối với một quá trình thuận nghịch, sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì môi trường chung quanh hoàn toàn không bị biến đổi.

- Quá trình thuận nghịch là quá trình biến đổi được theo hai chiều: chiều thuận và chiều nghịch. Quá trình cân bằng (đã xét) cũng là một quá trình thuận nghịch, nhưng quá trình thuận nghịch không nhất thiết phải là quá trình cân bằng vì trong định nghĩa của quá trình thuận nghịch không bắt buộc trạng thái trung gian phải là trạng thái cân bằng.

- Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng khó có thể xảy ra trên thực tế, tuy vậy có thể coi quá trình nén hoặc giãn khí **đoạn nhiệt** (hoặc **đẳng nhiệt**) khối khí trong xi lanh diễn ra vô cùng chậm là một quá trình thuận nghịch.

5.2.2 Quá trình không thuận nghịch

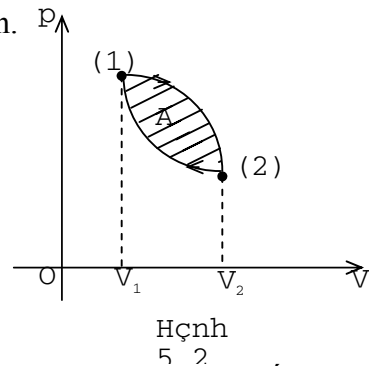
Định nghĩa: Quá trình không thuận nghịch là quá trình mà khi tiến hành theo chiều ngược lại hệ không qua đầy đủ các quá trình trung gian như quá trình thuận.

Trên giản đồ (p, V) biểu đồ của quá trình thuận và quá trình nghịch không trùng nhau.

Như vậy: công và nhiệt hệ nhận từ bên ngoài khác công và nhiệt hệ cung cấp cho bên ngoài; từ đó sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu bằng các quá trình không thuận nghịch môi trường chung quanh chịu một sự thay đổi.

Quá trình không thuận nghịch là quá trình **thực tế** xảy ra.

+ **Ví dụ** : Các quá trình sau là các quá trình không thuận nghịch :



- Quá trình truyền nhiệt: nhiệt chỉ có thể truyền tự phát từ chỗ nóng sang chỗ lạnh hơn, mà không có quá trình tự phát ngược lại.

- Quá trình khuếch tán: nếu mật độ khối lượng không đồng đều thì do khuếch tán sẽ đưa hệ đến trạng thái đồng đều một cách tự phát mà không có quá trình ngược tự phát.

- Quá trình ma sát: có thể biến công thành nhiệt bằng một quá trình ma sát nhưng không có quá trình ngược lại để biến đổi nhiệt thành công.

Ba quá trình trên là ba quá trình không thuận nghịch tiêu biểu; từ đó để có quá trình thuận nghịch thì cần loại trừ ma sát, không cho nhiệt truyền tự phát, tránh khuếch tán daãn đều áp suất; để thỏa yêu cầu đó thì quá trình phải diễn ra rất chậm và nếu có trao đổi nhiệt thì nhiệt độ của các phần tiếp xúc phải bằng nhau; về nguyên tắc chỉ có hai quá trình có thể là thuận nghịch là:

- Quá trình đẳng nhiệt.

- Quá trình đoạn nhiệt.

Một chu trình thuận nghịch đơn giản là gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt: chu trình **Cacnô** mà ta xét ở phần sau.

+ Sự quan trọng của quá trình thuận nghịch:

Quá trình thuận nghịch là quá trình lý tưởng khó xảy ra. Tuy vậy nó là một quá trình tối ưu về công và nhiệt, chu trình của một động cơ gồm các quá trình thuận nghịch là một chu trình tối ưu, có hiệu suất biến đổi lớn nhất.

5.3 NGUYÊN LÝ II NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Để hiểu nguyên lý II, trước hết ta tìm hiểu thế nào là máy nhiệt.

5.3.1 Máy nhiệt

Máy nhiệt là một hệ nhiệt động biến công thành nhiệt hoặc nhiệt thành công.

- Hệ biến công thành nhiệt \Leftrightarrow máy làm lạnh: tủ lạnh, điều hòa nhiệt độ...

- Hệ biến nhiệt thành công \Leftrightarrow động cơ nhiệt: máy hơi nước...

+ Đặc điểm: Máy nhiệt có các đặc điểm sau.

- Tác nhân: chất vận chuyển trung gian để biến nhiệt thành công hoặc công thành nhiệt. Ví dụ : với máy hơi nước: hơi nước là tác nhân.

- Nguồn nhiệt: khi máy hoạt động, tác nhân trao đổi nhiệt với các vật có nhiệt độ khác nhau:

.Vật nhiệt độ cao (T_1) : nguồn nóng.

.Vật nhiệt độ thấp (T_2) : nguồn lạnh.

- Chu trình: tác nhân biến đổi theo chu trình; sau một chu trình nó trở lại trạng thái ban đầu.

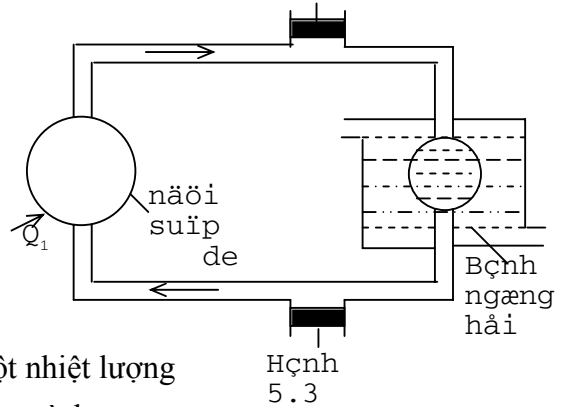
Có hai loại máy nhiệt:

5.3.1.1 Động cơ nhiệt: là loại máy nhận nhiệt để sản sinh công.

Ví dụ: máy hơi nước.

. Tác nhân: hơi nước.

- . Nguồn nóng: nồi súp
- . Nguồn lạnh: bình ngưng hơi
- . Chu trình: tác nhân hoạt động theo



chu trình thuận cùng chiều kim đồng hồ. Trong chu trình tác nhân nhận của nguồn nóng (T1)

một nhiệt lượng Q1 ; nhả lại cho nguồn lạnh (T2) một nhiệt lượng Q2' đồng thời sinh công A là diện tích giới hạn bởi chu trình.

$$\text{Hiệu suất động cơ: } \eta = \frac{A}{Q_1} \quad (5.1)$$

Theo nguyên lý I: $A = Q - \Delta U$

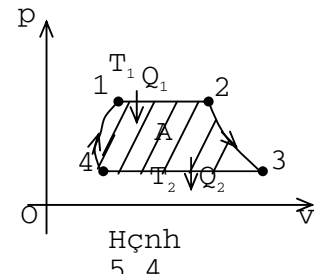
Sau một chu trình thì $\Delta U = 0$

$$\Rightarrow A = Q = Q_1 - Q_2'$$

= nhiệt mà tác nhân thực sự nhận.

$$\Rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1}$$

$$\Rightarrow \text{hay: } \eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} < 1 \quad (5.2)$$



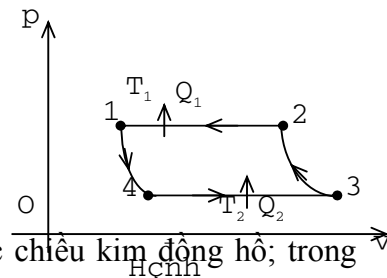
+ Nếu $Q_2' = 0 \Rightarrow \eta = 1$ như vậy động cơ hoạt động mà chỉ tiếp xúc một nguồn nhiệt; điều này không thể xảy ra.

(Lưu ý: do $Q_2' = -Q_2$ mà $Q_2 < 0 \Rightarrow Q_2' > 0$)

5.3.1.2 Máy làm lạnh: là loại máy nhiệt tiêu thụ công để chuyển nhiệt từ một nguồn lạnh sang nguồn nóng, kết quả là nguồn lạnh càng lúc càng lạnh thêm.

Ví dụ: máy làm lạnh bằng khí ép, tủ lạnh...

- Tác nhân: khí Amôniac (NH3)
- Nguồn lạnh: giàn lạnh (T2)
- Nguồn nóng : giàn nóng (T1)
- Một động cơ chạy máy nén



- Chu trình: tác nhân biến đổi theo chu trình ngược chiều kim đồng hồ; trong chu trình tác nhân nhận của nguồn lạnh một nhiệt lượng Q2, đồng thời nhận một công A' để chuyển Q2 lên nguồn nóng T1, tại nguồn nóng nó nhượng lại nhiệt lượng Q1;

sau đó bị bốc hơi và hạ nhiệt độ đến T_2 , hiện tượng cứ tiếp diễn kết quả là nguồn lạnh càng lúc càng lạnh thêm.

Hệ số làm lạnh:
$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} \quad (5.3)$$

ε coi thảo lẫn hẳn 1.

Nếu không cần A' thì $\varepsilon \rightarrow \infty$; tức là nhiệt tự phát truyền từ vật lạnh sang vật nóng, điều này không thể xảy ra.

5.3.2 Phát biểu nguyên lý II nhiệt động lực học

Từ thực nghiệm dẫn đến nguyên lý II nhiệt động lực học có liên quan đến động cơ nhiệt và máy làm lạnh. Có hai cách phát biểu:

5.3.2.1 Phát biểu của Tômxơn (Thomson)

“Không thể chế tạo được một máy nhiệt hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục nhiệt thành công mà môi trường không chịu một sự thay đổi đồng thời nào”.

5.3.2.2 Phát biểu của Claodiut (Clausius)

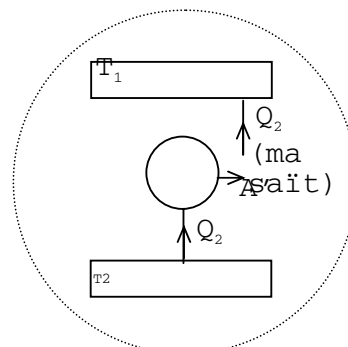
“Nhiệt không thể tự động truyền từ một vật lạnh hơn sang vật nóng hơn”.

Nhận xét:

- Cả hai phát biểu đều hàm ý nói đến vai trò tác động từ bên ngoài lên hệ để biến nhiệt thành công hoặc công thành nhiệt

- Hai phát biểu là tương đương; tức là nếu có một động cơ hoạt động vi phạm phát biểu (a) thì cũng vi phạm phát biểu (b) hoặc ngược lại. Thật vậy:

- Giả sử một động cơ nhiệt vi phạm phát biểu (a) tức là động cơ hoạt động tuần hoàn biến đổi nhiệt ra công bằng cách chỉ lấy nhiệt ở một nguồn nhiệt (T_2) một nhiệt lượng Q_2 và sinh công A . Bằng quá trình ma sát có thể biến đổi toàn bộ công A này thành nhiệt (100%) rồi cung cấp nhiệt này cho một vật khác có nhiệt độ T_1 (mà $T_1 > T_2$). Kết quả là đã truyền được nhiệt từ một vật lạnh (T_2) sang một vật nóng mà không có can thiệp từ bên ngoài, điều này vi phạm (b).



Hình

5, 6
- Phủ nhận tồn tại động cơ vĩnh cửu loại II: nguyên lý II phủ nhận sự tồn tại động cơ vĩnh cửu loại II là loại động cơ hoạt động vi phạm phát biểu (a) của Thomson, động cơ này chỉ tiếp xúc với một nguồn nhiệt.

“Không thể chế tạo được một động cơ vĩnh cửu loại II”.

5.4 CHU TRÌNH CÁC NÔ VÀ ĐỊNH LÝ CÁC NÔ

Trong các máy nhiệt, tác nhân đều biến đổi theo chu trình, chu trình có lợi nhất về công và nhiệt (hiệu suất cao nhất) là chu trình Cacnô thuận nghịch.

5.4.1 Chu trình Cacno thuận nghịch

Chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch. Có hai loại:

5.4.1.1 Chu trình Cacno thuận

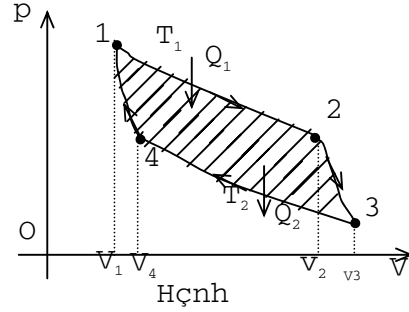
Tác nhân là m kg KLT biến đổi theo chiều thuận: cùng chiều kim đồng hồ. Trong chu trình tác nhân thực hiện 4 quá trình thuận nghịch như sau:

(1) → (2) : giãn đẳng nhiệt ở nhiệt độ T_1 , nhận của nguồn (T_1) một nhiệt lượng Q_1 và V tăng từ V_1 đến V_2 .

(2) → (3) : giãn đoạn nhiệt, nhiệt độ hạ từ $T_1 \rightarrow T_2$ và V tăng từ V_2 đến V_3

(3) → (4) : nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ T_2 , V_3 giảm đến V_4 tác nhân trả cho nguồn lạnh (T_2) một nhiệt lượng Q_2' .

(4) → (1) : nén đoạn nhiệt, V_4 giảm xuống V_1 nhiệt độ tăng từ $T_2 \rightarrow T_3$. A: công sản sinh trong chu trình bằng diện tích giới hạn bởi chu trình.



+ Hiệu suất của chu trình:

Theo (5.2) hiệu suất của động cơ nhiệt:

$$\eta_m = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \quad Q_1: \text{nhiệt nhận từ nguồn nóng.}$$

$$Q_2': \text{nhiệt tỏa cho nguồn lạnh } (Q_2' = -Q_2)$$

$$\text{Với quá trình đẳng nhiệt ở nhiệt độ } T_1: \quad Q_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\text{Với quá trình đẳng nhiệt ở nhiệt độ } T_2: \quad Q_2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$\Rightarrow \quad Q_2' = -Q_2 = -\frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$\Rightarrow \quad \eta_m = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{T_1 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_2 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

Với 2 quá trình đoạn nhiệt (2) → (3) và (3) → (4) ta có:

$$T_1 \cdot V_2^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_3^{\gamma-1} \quad \text{và} \quad T_2 \cdot V_4^{\gamma-1} = T_1 \cdot V_1^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow \quad \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$\text{Vậy:} \quad \eta_m = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (5.4)$$

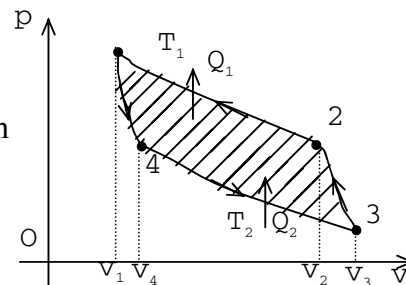
Hiệu suất η_m chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nguồn lạnh T_2 .

5.4.1.2 Chu trình Cacnô ngược

Chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch mà tác nhân biến đổi theo chiều ngược: ngược chiều kim đồng hồ.

Chu trình Cacnô ngược là chu trình của máy làm lạnh.

Trong chu trình tác nhân nhận của nguồn lạnh (T_2) một nhiệt lượng Q_2 đồng thời nhận công A' để chuyển Q_2 từ nguồn lạnh lên nguồn nóng (T_1) tại đó nó nhả cho nguồn nóng một nhiệt lượng Q_1' .



Hình 5.8

Theo (5.3) hệ số làm lạnh : $\varepsilon = \frac{Q_2}{A'}$

Theo nguyên lý I sau một chu trình : $\Delta U = 0 \Rightarrow A = Q =$ nhiệt mà tác nhân thực sự nhận. Nên:

Công nhận vào: $A' = -Q = -(Q_2 - Q_1') = Q_1' - Q_2$

Vậy : $\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1' - Q_2}$

Với quá trình (4) \rightarrow (3) : $Q_2 = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$

Với quá trình (2) \rightarrow (1) : $Q_1' = -Q_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$

Với các quá trình đoạn nhiệt (1) \rightarrow (4) và (3) \rightarrow (2) ta có:

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_4^{\gamma-1} \quad \text{và} \quad T_2 \cdot V_3^{\gamma-1} = T_1 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4}$$

$$\Rightarrow \text{Hệ số:} \quad \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \tag{5.5}$$

Vậy: hệ số làm lạnh của chu trình Cacnô ngược cũng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn lạnh T_2 và nguồn nóng T_1 nhưng có thể lớn hơn 1.

5.4.2 Định lý Cacnô

Từ nguyên lý II có thể chứng minh định lý Cacnô sau:

5.4.2.1 Phát biểu

- Hiệu suất của tất cả các động cơ chạy theo chu trình Cacnô với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy.

- Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

5.4.2.2 Chứng minh

Giả sử có hai động cơ thuận nghịch (I) và (II) chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng (T_1) và nguồn lạnh (T_2); và nhiệt chúng lấy từ nguồn nóng đều là Q_1

Gọi $^{(1)}Q_2'$, $^{(2)}Q_2'$: lần lượt là nhiệt mà động cơ (I) và động cơ (II) nhượng lại cho nguồn lạnh. Thì hiệu suất của chúng là :

$$\eta_1 = 1 - \frac{^{(1)}Q_2'}{Q_1} \quad \text{và} \quad \eta_2 = 1 - \frac{^{(2)}Q_2'}{Q_1}$$

+ Nếu $\eta_1 \neq \eta_2 \Rightarrow ^{(1)}Q_2' \neq ^{(2)}Q_2'$. Ta chứng minh không thể có điều này xảy ra.

Thật vậy:

Trường hợp: $^{(2)}Q_2' > ^{(1)}Q_2' \Rightarrow \eta_1 > \eta_2$ tức là trong một chu trình, động cơ (I) nhượng lại cho nguồn lạnh một nhiệt lượng bé hơn và sinh công nhiều hơn động cơ (II). Khi đó có thể thực hiện một động cơ ghép: gồm động cơ (I) chạy theo chiều thuận còn động cơ (II) là một máy làm lạnh chạy theo chu trình ngược. Động cơ (I) lấy ở nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 và sinh công $A_1 = Q_1 - ^{(1)}Q_2'$

Động cơ (II) nhận của nguồn lạnh nhiệt lượng $^{(2)}Q_2'$ và nhả cho nguồn nóng một nhiệt lượng Q_1' ($Q_1' = -Q_1$) mà:

$$A_2' = Q_1' - ^{(2)}Q_2 = -Q_1 - [-(^{(2)}Q_2')] = ^{(2)}Q_2' - Q_1$$

Công tổng cộng sinh bởi động cơ ghép là :

$$A = Q_1 - ^{(1)}Q_2' + ^{(2)}Q_2' - Q_1 = ^{(2)}Q_2' - ^{(1)}Q_2' > 0$$

Như vậy sau một chu trình, động cơ ghép chỉ trao đổi nhiệt với nguồn lạnh (T_2) và sinh công $A = ^{(2)}Q_2' - ^{(1)}Q_2' > 0$. Điều này trái với nguyên lý II nên không thể có trường hợp $\eta_1 > \eta_2$.

Trường hợp ngược lại: nếu $\eta_1 < \eta_2$ lập luận tương tự như trên. Động cơ I chạy ngược, động cơ II chạy thuận thì cũng dẫn đến vi phạm nguyên lý II.

Kết quả là $\eta_1 = \eta_2$

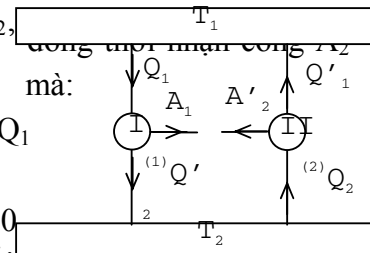
+ Chứng minh hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn động cơ thuận nghịch :

Theo (5.1) : $\eta = \frac{A}{Q_1}$. Giả sử: một động cơ thuận nghịch và một động cơ không

thuận nghịch cùng lấy của nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 . Trong chu trình của động cơ không thuận nghịch, ngoài việc nhả nhiệt cho nguồn lạnh Q_2' , tác nhân còn mất năng lượng do phải truyền nhiệt tự phát và ma sát. Nên công có ích A của động cơ không thuận nghịch sẽ bé hơn công có ích của động cơ thuận nghịch. Từ đó

$$\eta_{ktn} < \eta_m = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \text{hay:} \quad \eta_{ktn} < 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Hình 5.9



+ **Tổng quát:** Đối với một động cơ bất kỳ (có thể là không thuận nghịch hoặc thuận nghịch) khi chạy giữa hai nguồn nhiệt độ (T_1), (T_2) thì hiệu suất của nó là:

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (5.6)$$

. Dấu $<$ \Leftrightarrow động cơ không thuận nghịch.

. Dấu $=$ \Leftrightarrow động cơ thuận nghịch.

5.4.2.3 Các kết quả rút ra từ định lý Cacnô

- Nhiệt không thể hoàn toàn biến thành công, vì theo (5.6) động cơ có hiệu suất lớn nhất là động cơ Cacnô thuận nghịch thì hiệu suất của nó

$$\eta_m = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{A}{Q} < 1.$$

- Hiệu suất động cơ càng lớn khi nhiệt độ nguồn nóng T_1 càng cao, nhiệt độ nguồn lạnh T_2 càng thấp. Do đó nếu có 2 động cơ cùng nhiệt độ nguồn lạnh T_2 , động cơ nào có nhiệt độ nguồn nóng T_1 lớn sẽ có hiệu suất lớn.

- Để tăng hiệu suất động cơ thì cần phải chế tạo động cơ hoạt động giống động cơ thuận nghịch (loại trừ ma sát và mất nhiệt).

5.5 BẤT ĐẲNG THỨC CLAUSIUS

Giả sử: Một động cơ hoạt động giữa hai nguồn nhiệt độ T_1, T_2 ($T_1 > T_2$)

- Hiệu suất động cơ bất kỳ: $\eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}$

- Hiệu suất động cơ Cacnô thuận nghịch: $\eta_m = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Theo định lý Cacnô: $\eta \leq \eta_m$

$$\Rightarrow 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2'}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{Thay } Q_2' = -Q_2 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} + \frac{Q_2}{Q_1} \leq 0$$

$$\text{hay : } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0 \quad (5.7)$$

. dấu $=$ \Leftrightarrow động cơ thuận nghịch

. dấu $<$ \Leftrightarrow động cơ không thuận nghịch.

Hệ thức (5.7) là bất đẳng thức Clausius viết giữa hai nguồn nhiệt độ T_1 và T_2

+ Suy rộng: nếu tác nhân biến đổi gồm vô số quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt kế tiếp nhau. Các quá trình đẳng nhiệt lần lượt có nhiệt độ T_1, T_2, \dots

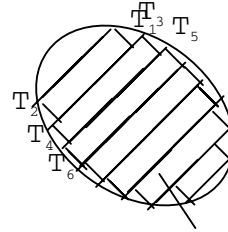
Khi tiếp xúc với các nguồn nhiệt này tác nhân trao đổi nhiệt lượng Q_1, Q_2, \dots thì có thể suy rộng biểu thức (5.7):

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \quad (5.8)$$

+ Suy rộng: nếu có vô cùng lớn các nguồn nhiệt, nhiệt độ rất gần nhau để có thể coi là T biến thiên liên tục, mỗi quá trình tác nhân tiếp xúc với nguồn nhiệt là một quá trình vô cùng bé. Khi đó tác nhân nhận của nguồn nhiệt, nhiệt lượng vô cùng bé δQ . thì biểu thức (5.8) trở thành:

$$\oint_{CT} \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

- . dấu = ứng với chu trình thuận nghịch.
- . dấu < ứng với chu trình không thuận nghịch.



Hình 5.10

Các hệ thức trên là bất đẳng thức Clausius hay còn gọi là biểu thức định lượng của nguyên lý II.

5.6 ENTROPI, NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPI

Từ bất đẳng thức Clausius dẫn đến một định nghĩa quan trọng sau:

5.6.1 Entropi

5.6.1.1 Định nghĩa

Từ (5.9) khi hệ biến đổi theo một chu trình thuận nghịch thì:

$$\oint_{caCT} \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{nên:}$$

Nếu hệ biến đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2) bằng hai quá trình thuận nghịch:

(1) \xrightarrow{a} (2) và (1) \xrightarrow{b} (2) khác nhau. Do (1b2) là một quá trình thuận nghịch nên có thể tiến hành quá trình nghịch (2b1) mà đường biểu đồ vẫn như cũ. Từ đó ta có chu trình : 1a2b1 là chu trình thuận nghịch.

$$\text{Theo trên:} \quad \oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{hay:} \quad \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = - \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}$$

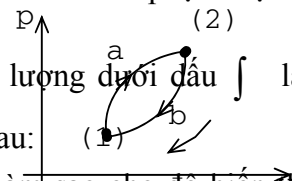
Hình

5.11

Kết quả cho thấy : Khi hệ biến đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2), bằng các quá trình thuận nghịch thì $\int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T}$ không phụ thuộc vào đường biến đổi mà chỉ phụ thuộc vào

trạng thái đầu và cuối của biến đổi, điều này cho thấy đại lượng dưới dấu \int là vi phân của một hàm trạng thái S của hệ được định nghĩa như sau:

+ **Định nghĩa:** Hàm trạng thái Entropi S của hệ là hàm sao cho độ biến thiên Entropi trong quá trình thuận nghịch đưa hệ từ (1) \rightarrow (2) thỏa:



$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \quad (5.10)$$

- Vi phân của hàm: $dS = \frac{\delta Q}{T}$ (5.11)

5.6.1.2 Tính chất của Entropi

- Entropi S là một hàm trạng thái của hệ, tức là ứng với mỗi trạng thái hệ có một giá trị xác định (đơn trị) duy nhất của S.

- Entropi S của hệ được xác định sai kém một hằng số tích phân S_0 . Biểu thức tổng quát: $S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_0$. S_0 phụ thuộc cách chọn gốc tính S

- Entropi S là đại lượng có tính cộng được tức là Entropi toàn phần của hệ cân bằng = tổng Entropi từng phần của hệ.

- Trong hệ SI: S có đơn vị $\left[\frac{J}{^{\circ}K} \right]$

5.6.2 Nguyên lý tăng Entropi đối với quá trình không thuận nghịch

5.6.2.1 Bất đẳng thức Clausius ở dạng hàm Entropi :

Giả sử hệ biến đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2) theo hai quá trình:

(1) (2) : quá trình không thuận nghịch.

(1) (2) : quá trình thuận nghịch.

Vì 1b2 là quá trình thuận nghịch nên có thể tiến hành quá trình ngược 2b1 mà đường biểu đồ không bị thay đổi, kết quả ta có chu trình 1a2b1 là một chu trình không thuận nghịch, theo bất đẳng thức Clausius:

$$\begin{aligned} \xrightarrow{a} \oint_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad \text{hay} \quad \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \\ \Rightarrow \xrightarrow{b} \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} - \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad \Rightarrow \quad \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} > \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} \end{aligned}$$

Theo (5.10) : $\int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} = \Delta S$.

Vậy: $\Delta S > \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T}$ 1a 2: quá trình không thuận nghịch.

Tổng quát: độ biến thiên Entropi ΔS khi hệ thay đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2)

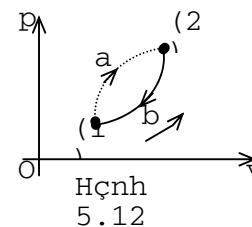
$$\Delta S \geq \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \quad (5.12)$$

. dấu = ứng với quá trình thuận nghịch

. dấu > ứng với quá trình không thuận nghịch.

- Dạng vi phân của biểu thức: $dS \geq \frac{\delta Q}{T}$ (5.13)

5.6.2.2 Nguyên lý tăng Entropi



ĩ: là một đại lượng đại số: $\Delta S > 0 \Leftrightarrow \delta Q > 0 \Rightarrow S$ tăng

$\Delta S < 0 \Leftrightarrow \delta Q < 0 \Rightarrow S$ giảm

+ Đối với một hệ cô lập :

Do hệ là cô lập: $\delta Q = 0 \Rightarrow \Delta S \geq 0$ (5.14)

. dấu = ứng với quá trình thuận nghịch.

. dấu < ứng với quá trình không thuận nghịch.

Trên thực tế các quá trình biến đổi diễn ra trong hệ cô lập đều là quá trình không thuận nghịch (ví dụ: hệ không cân bằng nhiệt dẫn đến cân bằng nhiệt). Khi đó: $\dot{G} > 0$, từ đó dẫn đến quy luật quan trọng sau:

- Nguyên lý tăng Entropi: **“với các quá trình nhiệt động thực tế diễn ra trong một hệ cô lập, Entropi của hệ luôn luôn tăng”.**

Đối với hệ cô lập không cân bằng nhiệt động thì quá trình để hệ tiến đến trạng thái cân bằng nhiệt động là một quá trình không thuận nghịch. Khi đó S của hệ luôn luôn tăng, đến khi hệ đạt cân bằng nhiệt động thì Entropi của hệ không tăng nữa và đạt giá trị cực đại. ($S = S_{\max} = \text{const}$). Vậy:

“Một hệ ở trạng thái cân bằng lúc Entropi của hệ cực đại”.

5.6.3 Entropi của khí lý tưởng

Hệ là m kg khí lý tưởng biến đổi trạng thái từ (1) \rightarrow (2)

$$\begin{array}{ccc} (1) & & (2) \\ p_1 \ V_1 \ T_1 & \longrightarrow & p_2 \ V_2 \ T_2 \end{array}$$

Quá trình biến đổi có thể là:

5.6.3.1 Quá trình đoạn nhiệt ($\delta Q = 0$)

$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow S = \text{const} \Leftrightarrow \text{quá trình đẳng Entropi} \quad (5.15)$$

5.6.3.2 Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int_{(1)}^{(2)} \delta Q = \frac{Q}{T} \quad (5.16)$$

5.6.3.3 Quá trình là bất kỳ

Nguyên lý I : $\delta Q = dU + \delta A = dU + pdV$

$$\Rightarrow \delta Q = \frac{m}{\mu} C_v dT + \frac{m}{\mu} RT \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow \Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (T, V) \quad (5.17)$$

$$\text{hoặc } \Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \cdot \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_p \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (p, V) \quad (5.18)$$

5.6.4 Ý nghĩa Entropi

+ Entropi theo quan điểm động học:

Từ biểu thức định nghĩa đối với biến đổi thuận nghịch :

$$dS = \frac{\delta Q}{dT} \Rightarrow \delta Q = TdS \quad \text{nên có thể biểu diễn nhiệt độ } \delta Q$$

bằng cách dùng giản đồ (T,S). Trong đó T,S là các tọa độ suy rộng. Ở đây S được coi như là một thông số trạng thái.

$$\delta Q > 0 \Rightarrow dS > 0 \Rightarrow S \text{ tăng} \Rightarrow \text{sự chuyển động}$$

hỗn loạn các phân tử trong hệ tăng, tức là hệ nhận nhiệt thì Entropi hệ tăng.

Do vậy: theo quan điểm động học, Entropi của một hệ là thước đo mức độ hỗn loạn của các phân tử trong hệ.

+ Ý nghĩa thống kê của Entropi:

Theo quan điểm của thuyết động học phân tử: một trạng thái vĩ mô của một hệ nhiệt động (gọi là vĩ thái) bao gồm rất nhiều vi thái của hệ. Số các vi thái này cho ta biết khả năng tồn tại của vĩ thái đó trong tổng số các vĩ thái khả dĩ của hệ đó (các trạng thái có thể của hệ).

Nếu gọi W: xác suất xuất hiện một vĩ thái của hệ, W được gọi là **xác suất nhiệt động lực học**. Bônzman đã xác lập được công thức nêu quan hệ giữa W và Entropi S của hệ như sau:

$$S = k \cdot \ln W \quad (5.19)$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \left[\frac{j}{^\circ K} \right] = \text{hằng số Bônzman}$$

Đối với một hệ cô lập ở không cân bằng nhiệt động thì sẽ xảy ra các quá trình tự phát để đưa hệ đến trạng thái cân bằng; bằng cách thay thế không ngừng các vi thái của hệ. Nghĩa là từ một trạng thái ít khả năng tồn tại (kém bền) đến một trạng thái nhiều khả năng tồn tại hơn (bền hơn), quá trình đó theo chiều tăng của xác suất nhiệt động W.

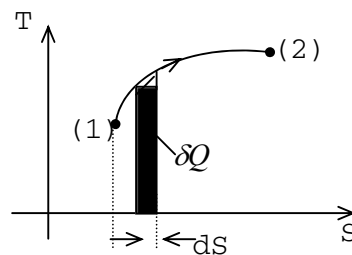
Trong quá trình, do W tăng làm S tăng $\rightarrow \Delta S > 0$.

Khi hệ đạt cân bằng rồi thì W không đổi và đạt cực đại $\Rightarrow S = \text{const} \Leftrightarrow$

$$\Delta S = 0.$$

Vậy; Trong quá trình để hệ cô lập đạt cân bằng nhiệt động: $\Delta S \geq 0$.

Ta tìm lại được nguyên lý tăng Entropi S của hệ cô lập hay cũng là nguyên lý II nhiệt động lực học. Từ đó có thể xem nguyên lý II NDLH như một quy luật thống kê, đây là cách nhìn mới về nguyên lý II trên quan điểm thống kê.



Hình

5.13

- Quan điểm trên chỉ đúng với hệ vĩ mô gồm một số lớn phân tử chuyển động nhiệt (để thỏa TB thống kê). Còn đối với một hệ vi mô ít phân tử thì chưa chắc đúng (do thăng giáng, xác suất W có thể tăng hoặc giảm) nên nguyên lý II nhiệt động học chỉ phù hợp với hệ vĩ mô. Ở đó gồm một số rất lớn các phân tử mà ảnh hưởng của thăng giáng có thể bỏ qua được.

5.7 NHIỆT GIAI NHIỆT ĐỘNG LỰC

Trong chương I chúng ta đã xét việc thành lập các thang nhiệt độ (nhiệt giai). Các nhiệt giai được xây dựng đều lệ thuộc vào bản chất của vật nhiệt kế. Vấn đề là làm sao để có thể thiết lập được một nhiệt giai mà không phụ thuộc vào bản chất của vật nhiệt kế.

Nguyên lý II nhiệt động học đã giải quyết vấn đề này: từ định lý Cacnô, hiệu suất chu trình Cacnô thuận nghịch không phụ thuộc vào tác nhân và cách chế tạo máy mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng (t_1) và nhiệt độ nguồn lạnh (t_2) mà t_1, t_2 được xác định theo một thang nhiệt độ nào đó. Thì hiệu suất của chu trình là:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = F(t_1, t_2)$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = f(t_1, t_2)$$

Xét 3 chu trình:

$$\text{Ta có: } \frac{Q_1}{Q_2} = f(t_1, t_2); \quad \frac{Q_2}{Q_3} = f(t_2, t_3); \quad \frac{Q_1}{Q_3} = f(t_1, t_3)$$

$$\text{Mà: } \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} \quad \square$$

$$\Rightarrow f(t_1, t_3) = f(t_1, t_2) \cdot f(t_2, t_3) \Rightarrow f(t_1, t_2) = \frac{f(t_1, t_3)}{f(t_2, t_3)}$$

Vế trái không liên quan gì đến t_3 vậy vế phải cũng không phụ thuộc vào t_3

$$\Rightarrow f(t_1, t_2) = \frac{\varphi(t_1)}{\varphi(t_2)}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\varphi(t_1)}{\varphi(t_2)}$$

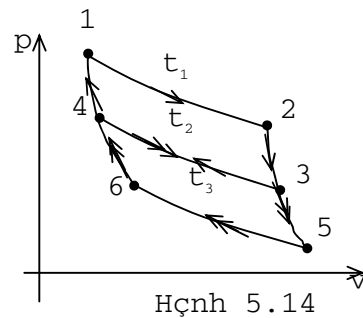
Hàm $\varphi(t)$ là căn bản của một nhiệt giai gọi là **nhiệt giai nhiệt động lực**.

Ví dụ: Giả sử hiệu suất của chu trình Cacnô thuận nghịch trên là :

$$\eta\% = 90\% \Rightarrow \text{nhiệt độ nhiệt động lực của nguồn lạnh bằng } \frac{1}{10} \text{ nhiệt độ nhiệt}$$

động lực của nguồn nóng.

Các đại lượng Q_1, Q_2 là các đại lượng đo được và phép đo nhiệt độ qui về phép đo nhiệt lượng. Tuy vậy chúng chỉ mới cho phép xác định tỉ số các nhiệt độ.



Hình 5.14

+ Để xác định được trị số của nhiệt độ nhiệt động lực cần một mốc nhiệt độ (điểm cố định).

1954: Tại đại hội cân đo quốc tế, người ta đã chọn điểm cố định là điểm ba của **nước** và gán cho nhiệt độ của điểm ba là $a = 273,16 \text{ }^0\text{K}$.

Như vậy nhiệt độ t của một nguồn nóng nào đó, và nhiệt độ của điểm ba (nguồn lạnh t_2) được xác lập bởi hệ thức:

$$\frac{Q}{Q_2} = \frac{\varphi(t)}{a}$$
$$\text{Đặt : } \varphi(t) = T \Rightarrow \frac{Q}{Q_2} = \frac{T}{a} \Rightarrow T = a \cdot \frac{Q}{Q_2} \quad (5.20)$$

T được gọi là nhiệt độ nhiệt động lực.

Theo thang nhiệt độ này; 00C tương ứng với $273,15 \text{ }0\text{K}$ và như vậy **nhiệt giai nhiệt động lực trùng với nhiệt giai tuyệt đối** của khí lý tưởng và ta không cần phân biệt 2 nhiệt giai này nữa.

Như vậy công thức hiệu suất động cơ nhiệt:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Cárnot, có công suất.

$P = 73600\text{W}$. Nhiệt độ của nguồn nóng là 100°C , nhiệt độ của nguồn lạnh là 00C . Tính :

- Hiệu suất của động cơ.
- Nhiệt lượng mà tác nhân nhận được của nguồn nóng trong 1 phút.
- Nhiệt lượng mà tác nhân nhả cho nguồn lạnh trong 1 phút.

Giải :

a. Hiệu suất của động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Cárnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{373 - 273}{373} = 27\%$$

b. Trong 1 giây động cơ sinh công $A = 73600\text{J}$ và nó nhận ở nguồn nóng một nhiệt lượng : $Q_1 = \frac{A}{\eta}$

Trong một phút động cơ nhận được nhiệt lượng:

$$Q_{1p} = 60Q_1 = 60 \cdot \frac{A}{\eta} = 60 \cdot \frac{73600}{0,27} \approx 16470\text{kJ}$$

c-Trong 1 giây tác nhân nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng:

$$Q_2' = Q_1 - A$$

Nếu thời gian là 1 phút thì :

$$Q_{2p} = 60(Q_1 - A) = Q_{1p} - 60A = 12054\text{kJ}$$

Thí dụ 2: Một máy lạnh lý tưởng làm việc theo chu trình Cárnot thuận nghịch. Truyền nhiệt lượng từ nguồn lạnh nhiệt độ 0°C đến nồi hơi có nước ở nhiệt độ 100°C . Cần phải làm đông lạnh một lượng nước đá là bao nhiêu để làm một kg nước ở nồi hơi đó biến thành hơi ở 100°C . Cho: nhiệt hóa hơi của nước $L_v = 539 \text{ cal/g}$, nhiệt nóng chảy của nước $L_f = 80 \text{ cal/g}$.

Giải :

Một kg nước ở 100°C biến thành hơi 100°C cần nhiệt lượng $Q_1 = 539\text{kcal}$ nghĩa là máy lạnh phải nhả vào nồi hơi một nhiệt lượng $Q_1 = 539 \text{ kcal}$ thì sẽ làm cho 1kg nước ở 100°C biến thành hơi ở 100°C . Máy lạnh chạy ở hai nguồn nhiệt đó sẽ có hệ số làm lạnh là:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{273}{373 - 273} = 2,73$$

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A'} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \rightarrow Q_2 = \varepsilon(Q_1 - Q_2) \Rightarrow Q_2 = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} Q_1$$

Vậy để nhả vào nồi hơi $Q_1 = 539\text{kcal}$ thì nó phải lấy ở nguồn lạnh

$$Q_2 = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} Q_1 = \frac{2,73}{3,73} 539 = 395\text{kcal}$$

Với máy lạnh như thế chỉ cần nhận từ nguồn lạnh nhiệt lượng 395kcal sẽ làm cho 1kg nước ở 100⁰C biến thành hơi ở 100⁰C (vì còn nhận thêm một công $A' = Q_1 - Q_2 = 144\text{kcal}$)

Vậy số lượng nước đá cần làm đông là: $m \cdot 80\text{kcal/kg} = 395\text{kcal} \Rightarrow m = 4,94\text{kg}$.

Thí dụ 3: Một cục nước đá có khối lượng 0,1kg ở nhiệt độ 240⁰K được biến thành hơi nước ở 373⁰K. Tính độ biến thiên entropi trong quá trình biến đổi trên nếu cho rằng nhiệt dung của nước đá và nước không phụ thuộc vào nhiệt độ. Áp suất trong quá trình biến đổi là áp suất khí quyển. Nhiệt dung riêng của nước đá là $c_n = 1,8 \cdot 10^3 \text{J/kg} \cdot \text{độ}$, của nước là $c_d = 4,8 \cdot 10^3 \text{J/kg} \cdot \text{độ}$, nhiệt nóng chảy riêng của nước đá là $L_f = 3,35 \cdot 10^5 \text{J/kg}$, nhiệt hóa hơi riêng của nước là $L_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{J/kg}$

Giải :

Biểu thức tổng quát của độ biến thiên entropi của 1 hệ: $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q}{T}$

Quá trình biến đổi của nước đá gồm 4 quá trình:

1. Nước đá ở $T_1 = 240^0\text{K} \rightarrow$ nước đá ở $T_0 = 273^0\text{K}$

2. Nước đá ở $T_0 = 273^0\text{K} \rightarrow$ nước ở $T_0 = 273^0\text{K}$

3. Nước ở $T_0 = 273^0\text{K} \rightarrow$ nước ở $T_2 = 373^0\text{K}$

4. Nước ở $T_2 = 373^0\text{K} \rightarrow$ hơi nước ở $T_2 = 373^0\text{K}$

Ta tính ΔS trong từng quá trình này:

$$\Delta S_1 = M \cdot C_a \cdot \int_{T_1}^{T_0} \frac{dT}{T} = M \cdot C_a (\ln T_0 - \ln T_1)$$

$$\Delta S_2 = \frac{M \cdot L_f}{T_0}$$

$$\Delta S_3 = M \cdot C_n \cdot \int_{T_0}^{T_2} \frac{dT}{T} = M \cdot C_n (\ln T_2 - \ln T_0)$$

$$\Delta S_4 = \frac{M L_v}{T_2}$$

Độ biến thiên entropi tổng cộng của quá trình biến đổi 0,1kg nước đá ở 240⁰K thành hơi nước ở 373⁰K là:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4$$

$$= M \cdot C_a (\ln T_0 - \ln T_1) + \frac{M L_f}{T_0} + M \cdot C_n (\ln T_2 - \ln T_0) + \frac{M L_v}{T_2} = 883 \text{J} / \text{độ}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG V : NGUYÊN LÝ II NĐLH

Bài 5.1: Một máy hơi nước có công suất 14,7kW, tiêu thụ 8,1kg than trong 1 giờ. Năng suất tỏa nhiệt của than là 7800 kcal/kg. Nhiệt độ của nguồn nóng là 200⁰C, nhiệt độ của nguồn lạnh là 58⁰C. Tìm hiệu suất thực tế của máy. So sánh hiệu suất đó với hiệu suất lý tưởng của máy nhiệt làm việc theo chu trình Cácno với những nguồn nhiệt trên.

$$\text{ĐS: } \eta = \frac{2}{3} \eta_m$$

Bài 5.2: Một động cơ nhiệt lý tưởng chạy theo chu trình Cácno, nhả cho nguồn lạnh 80% nhiệt lượng mà nó thu được từ nguồn nóng. Nhiệt lượng mà nó thu được trong một chu trình là 1,5kcal. Tìm:

- a. Hiệu suất của chu trình Cácno trên?
- b. Công sinh ra trong một chu trình.

$$\text{ĐS: } 20\% ; 1,254 \text{ kJ}$$

Bài 5.3: Một động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Cácno, sau mỗi chu trình sinh ra một công $A = 7,35.10^4 \text{J}$. Nhiệt độ của nguồn nóng là 100⁰C, nhiệt độ của nguồn lạnh là 0⁰C. Tìm:

- a. Hiệu suất của động cơ.
- b. Nhiệt lượng nhận được của nguồn nóng sau một chu trình.
- c. Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.

$$\text{ĐS: } 26,8\% ; 27,4.10^4 \text{J} ; 20.10^4 \text{J}$$

Bài 5.4: Một chu trình Cácno thực hiện giữa hai máy điều nhiệt có nhiệt độ $t_1 = 400^0\text{C}$, $t_2 = 20^0\text{C}$. Thời gian để thực hiện chu trình là $\tau = 1$ giây. Tìm công suất của động cơ làm việc theo chu trình ấy, biết rằng tác nhân là 2kg không khí, áp suất ở cuối quá trình giãn đẳng nhiệt bằng áp suất ở đầu quá trình nén đoạn nhiệt. Cho G của không khí 29kg/kmol.

$$\text{ĐS: } 620 \text{ kW}$$

Bài 5.5: Một máy làm lạnh làm việc theo chu trình Cácno nghịch, tiêu thụ công suất 36800W. Nhiệt độ của nguồn lạnh là -10⁰C, nhiệt độ của nguồn nóng là 17⁰C. Tìm: a- Hệ số làm lạnh của máy.

- a. Nhiệt lượng lấy được của nguồn lạnh trong một giây.
- b. Nhiệt lượng nhả cho nguồn nóng trong một giây.

$$\text{ĐS: } 9,74 ; 86000 \text{ cal} ; 94800 \text{ cal}$$

Bài 5.6: Một máy làm lạnh lý tưởng chạy theo chu trình Cácno ngược, lấy nhiệt từ nguồn lạnh ở nhiệt độ 0⁰C nhả cho bình nước sôi ở nhiệt độ 100⁰C. Tính lượng nước cần làm đông ở nguồn lạnh để có thể biến 1kg nước thành hơi ở bình sôi. Cho

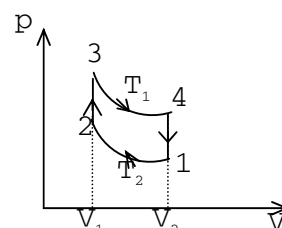
biết nhiệt nóng chảy riêng của nước đá là $L_f = 3,35 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ và nhiệt hóa hơi riêng của nước là $L_v = 2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.

ĐS : 4,93kg

Bài 5.7: Một kmol khí lý tưởng, thực hiện một chu trình gồm 2 quá trình đẳng tích và 2 quá trình đẳng áp mà thể tích của khí thay đổi từ $V_1 = 25 \text{ m}^3$ đến $V_2 = 50 \text{ m}^3$ và áp suất từ $p_1 = 1 \text{ at}$ đến $p_2 = 2 \text{ at}$. Hỏi công thực hiện bởi chu trình này nhỏ hơn bao nhiêu lần so với công thực hiện bởi chu trình Cacbô, có các đường đẳng nhiệt ứng với nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất của chu trình trên, nếu khi giãn đẳng nhiệt thể tích tăng lên 2 lần?

ĐS : 2,1 lần

Bài 5.8: Một máy hơi nước chạy theo chu trình Stilin gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đẳng tích như hình vẽ. Tìm hiệu suất của chu trình. So sánh với hiệu suất của chu trình. Các nó có cùng nguồn nóng và nguồn lạnh.



ĐS : $\eta_{stilin} < \eta_{cacno}$

Bài 5.9: 10g ôxy được hơ nóng từ $t_1 = 50^\circ\text{C}$ tới $t_2 = 150^\circ\text{C}$. Tính độ biến thiên entrôpi nếu quá trình hơ nóng là:

- Đẳng tích.
- Đẳng áp.

ĐS : 1,6J/độ ; 2,4J/độ

Bài 5.10: Tính độ biến thiên entrôpi khi giãn đẳng nhiệt 6g khí Hydrô từ áp suất 1at đến áp suất 0,5at.

ĐS : 17,3J/độ

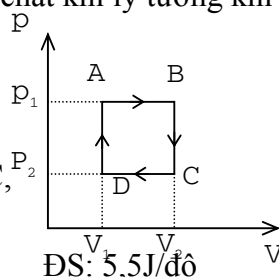
Bài 5.11: Bỏ 100g nước đá ở 0°C vào 400g nước ở 30°C trong một bình có vỏ cách nhiệt lý tưởng. Tính độ biến thiên entrôpi của hệ trong quá trình trao đổi nhiệt. Từ đó suy ra nhiệt chỉ truyền từ vật nóng sang vật lạnh. Cho biết nhiệt nóng chảy riêng của nước đá ở 0°C là \tilde{G} , nhiệt dung riêng của nước là 1kcal/kg.

ĐS : 3,35J/độ

Bài 5.12: Tính độ biến thiên entrôpi của một chất khí lý tưởng khi trạng thái của nó thay đổi từ A đến B theo:

- Đường ACB.
- Đường ADB.

Biết : $V_1 = 3 \text{ lít}$, $p_1 = 8,31 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $t_1 = 270^\circ\text{C}$,
 $V_2 = 4,5 \text{ lít}$, $p_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$



ĐS: 5,5J/độ

CHƯƠNG VI :

PHƯƠNG PHÁP HÀM NHIỆT ĐỘNG VÀ NGUYÊN LÝ III NĐLH

Phương pháp hàm nhiệt động còn gọi là phương pháp các hàm đặc trưng do Gibbs đề xuất. Là một phương pháp giải tích nhằm mở rộng khả năng nghiên cứu các đại lượng nhiệt động, ngoài phương pháp chu trình như đã trình bày ở các chương trước...

6.1 CÁC HỆ SỐ NHIỆT

Các thông số của một hệ nhiệt động đơn giản (áp suất p , thể tích V và nhiệt độ T) phụ thuộc lẫn nhau và có thể biểu diễn ở dạng phương trình trạng thái :

$$F(p,V,T) = 0$$

Khi hệ biến đổi trạng thái thì các thông số p , V , T đều có thể biến thiên nhưng chúng luôn thỏa phương trình trạng thái khi hệ ở cân bằng.

Từ phương trình trạng thái có thể rút ra biểu thức về sự phụ thuộc của 1 thông số vào hai thông số còn lại: $p(V,T)$; $V(p,T)$ hoặc $T(p,V)$.

Các biểu thức biểu thị sự phụ thuộc nói trên lại liên quan đến tính chất của hệ khi nhiệt độ hệ thay đổi. Để nghiên cứu định lượng các tính chất đó người ta định nghĩa các hệ số nhiệt:

6.1.1 Hệ số nở đẳng áp

Một hệ biến đổi trạng thái trong điều kiện áp suất được giữ không đổi; nhiệt độ hệ tăng từ T đến $T + dT$; thể tích tăng từ V đến $V + dV$.

Hệ số nở đẳng áp của hệ là tỉ số của độ tăng tỉ đối với độ tăng nhiệt độ dT .

$$\alpha = \frac{dV/V}{dT} = \frac{1}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p \quad (6.1)$$

Từ đó:
$$\alpha \cdot V = \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p \quad (6.2)$$

+ Đơn vị: Trong hệ SI α [K⁻¹]

+ Thí dụ: Hệ số nở đẳng áp của khí lý tưởng

$$\alpha = \frac{dV/V}{dT} = \frac{1}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p = \frac{1}{V} \cdot \frac{R}{p} = \frac{1}{T}$$

Hệ số α là 1 hàm của nhiệt độ và áp suất, nó có thể nhận các giá trị đại số: âm, dương hoặc bằng 0.

6.1.2 Hệ số nén đẳng nhiệt

Một hệ biến đổi trạng thái trong điều kiện nhiệt độ hệ được giữ không đổi; áp suất thay đổi từ p đến $p + dp$ và thể tích hệ giảm từ V đến $V + dV$ ($dV < 0$).

+ Hệ số nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ T được định nghĩa như sau:

$$\chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta P} \right)_T. \quad (6.3)$$

Từ đó :

$$\left(\frac{\delta V}{\delta p} \right)_T = -\chi_T \cdot V \quad (6.4)$$

Dấu (-) để đảm bảo $\chi_T > 0$.

+ Đơn vị : Trong hệ SI χ_T [Pa⁻¹] .

+ Thí dụ : Đối với khí lý tưởng $\chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{RT}{p^2} \right) = \frac{1}{p}$

6.1.3 Hệ số tăng áp đẳng tích

Tương tự, người ta định nghĩa hệ số tăng áp đẳng tích như sau:

$$\beta = \frac{1}{p} \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V \quad (6.5)$$

Từ đó :

$$\left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V = \beta \cdot p \quad (6.6)$$

+ Đơn vị: trong hệ SI : β [K⁻¹]

6.1.4 Quan hệ giữa các hệ số nhiệt

Từ phương trình trạng thái, có thể thấy áp suất p là hàm của nhiệt độ T và thể tích V . Vậy:

$$dp = \left(\frac{\delta p}{\delta V} \right)_T dV + \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V dT \text{ Cho: } dp \rightarrow 0 \text{ và có } \left(\frac{dV}{dT} \right)_p = \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p$$

thì :

$$\left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p = - \frac{\left(\frac{\delta p / \delta T} \right)_V}{\left(\frac{\delta p / \delta V} \right)_T} \quad (6.7)$$

Nên: $\alpha = p \cdot \beta \cdot \chi_T$ (6.8)

Từ các định nghĩa trên, có thể tính công trong quá trình biến đổi thuận nghịch :

$$\begin{aligned} \delta A &= p \cdot dV = p \left[\left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p dT + \left(\frac{\delta V}{\delta p} \right)_T dp \right] \\ &= p \cdot [\alpha \cdot V \cdot dT - \chi_T \cdot V \cdot dp] \\ \delta A &= p \cdot V [\alpha \cdot dT - \chi_T \cdot dp] \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\text{Đối với khí lý tưởng: } \alpha = \frac{1}{T} \quad ; \quad \chi_T = \frac{1}{p}$$

$$\Rightarrow \delta A = R.T.\frac{1}{T}dT - \frac{pV}{p}dp$$

$$\text{Nên: } \delta A = R.dT - V.dp \quad (6.10)$$

Một hệ thức có thể suy ra ngay từ phương trình trạng thái khí lý tưởng vì:

$$p.dV + V.dp = R.dT$$

6.2 SỰ PHỐI HỢP HAI NGUYÊN LÝ NHIỆT ĐỘNG LỰC

Dạng vi phân của nguyên lý I là:

$$\delta Q = dU + \delta A \Rightarrow dU = \delta Q - \delta A$$

Đối với một biến đổi thuận nghịch, nguyên lý II đã xác định:

$$\delta Q = T.dS$$

Phối hợp hai nguyên lý ta được phương trình cơ bản của NĐH:

$$dU = T.dS - p.dV \quad (6.11)$$

Từ phương trình này có thể dẫn xuất rất nhiều hệ thức nhiệt động tùy theo cách chọn các cặp biến số độc lập: T và V; T và p hay p và V; và biểu thị dS bằng những vi phân của các biến số đó và bằng những đạo hàm riêng phần của S.

Do nội năng U là hàm trạng thái của hệ được xác định bằng bất kỳ một cặp biến số nào; chẳng hạn: (S,V) hoặc (S,p). Do đó, đạo hàm riêng của một biến số nhiệt động lực theo một biến số khác đều mang một ý nghĩa vật lý và các đạo hàm riêng này đều có thể biểu thị theo \bar{G} , \bar{G} , \bar{G} và C_p ; cùng với ba biến số p, V và T. Từ đó: người ta tìm cách biểu thị một đạo hàm riêng bất kỳ theo những đại lượng đo được dễ dàng.

Giả sử: T và V là hai biến số độc lập. Ta có:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V .dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T .dV$$

Từ phương trình trên ta có:

$$dS = \frac{1}{T}(dU + p.dV)$$

Vậy:ê

Ngoài ra ta cũng có thể viết:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V .dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T .dV$$

Vì dT và dV độc lập nhau nên so sánh 2 hệ thức vừa xác lập. Ta có:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{1}{T}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \quad (6.12)$$

$$\text{và } \left(\frac{\delta S}{\delta V} \right)_T = \frac{1}{T} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right] \quad (6.13)$$

Do dS là vi phân toàn chỉnh nên:

$$\frac{\delta^2 S}{\delta V \cdot \delta T} = \frac{\delta^2 S}{\delta T \cdot \delta V}$$

Áp dụng tính chất này cho 2 phương trình trên:

$$\text{Ta có: } \frac{\delta^2 S}{\delta V \cdot \delta T} = \frac{\delta}{\delta V} \left(\frac{\delta S}{\delta T} \right)_V = \frac{\delta}{\delta V} \left[\frac{1}{T} \left(\frac{\delta U}{\delta T} \right)_V \right] = \frac{1}{T} \cdot \frac{\delta^2 U}{\delta V \cdot \delta T}$$

$$\begin{aligned} \text{Và: } \frac{\delta^2 S}{\delta T \cdot \delta V} &= \frac{\delta}{\delta T} \left(\frac{\delta S}{\delta V} \right) = \frac{\delta}{\delta T} \left[\frac{1}{T} \left(p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right) \right] \\ &= \frac{1}{T} \left[\left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V + \frac{\delta^2 U}{\delta T \cdot \delta V} \right] - \frac{1}{T^2} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right] \end{aligned}$$

$$\text{Từ đó: } \frac{1}{T} \left(\frac{\delta^2 U}{\delta V \cdot \delta T} \right) = \frac{1}{T} \left[\left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V + \frac{\delta^2 U}{\delta T \cdot \delta V} \right] - \frac{1}{T^2} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right]$$

$$\Rightarrow \frac{\delta^2 U}{\delta V \cdot \delta T} = \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V + \frac{\delta^2 U}{\delta T \cdot \delta V} - \frac{1}{T} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right]$$

dU cũng là vi phân toàn chỉnh. Vậy:

$$\frac{\delta^2 U}{\delta V \cdot \delta T} = \frac{\delta^2 U}{\delta T \cdot \delta V}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V = \frac{1}{T} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T \right]$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p = T \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V = T \cdot p \cdot \beta \quad (6.14)$$

Theo (6.7) ta có: $\alpha = \beta \cdot \chi_T \cdot p \Rightarrow p \cdot \beta = \frac{\alpha}{\chi_T}$

$$\Rightarrow \left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T = \frac{T \cdot \alpha}{\chi_T} - p \quad (6.15)$$

Theo (2.26) ta có:

$$C_p - C_v = \left[\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right] \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p$$

$$\text{Vậy: } C_p - C_v = T \cdot \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V \cdot \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p \quad (6.16)$$

$$\text{Vì: } \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V = \frac{\alpha}{\chi_T} \quad \text{và} \quad \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p = \alpha \cdot V$$

$$\text{Nên : } C_p - C_v = \frac{TV\alpha^2}{\chi_T} \quad (6.17)$$

Từ phương trình này nếu đo thực nghiệm α và χ_T của 1 chất bất kỳ thì có thể tính được hiệu $C_p - C_v$ của chất đó dù không biết phương trình trạng thái của chất đó.

Trở lại hệ thức (6.12):

$$\begin{aligned} \left(\frac{\delta S}{\delta T}\right)_V &= \frac{1}{T} \left(\frac{\delta U}{\delta T}\right)_V \\ \Rightarrow \left(\frac{\delta S}{\delta T}\right)_V &= \frac{C_v}{T} = \frac{C_p}{T} - \frac{V\alpha^2}{\chi_T} \end{aligned} \quad (6.18)$$

Và hệ thức (6.13):

$$\begin{aligned} \left(\frac{\delta S}{\delta V}\right)_T &= \frac{1}{T} \left[p + \left(\frac{\delta U}{\delta V}\right)_T \right] \\ \Rightarrow \left(\frac{\delta S}{\delta V}\right)_T &= \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_V = \frac{\alpha}{\chi_T} \end{aligned} \quad (6.19)$$

$$\text{Hay : } T.dS = C_v.dT + \frac{T.\alpha.dV}{\chi_T} \quad (6.20)$$

Nếu biết sự phụ thuộc C_v theo T và của α , χ_T theo V , ta có thể tính được độ biến thiên Entropi của hệ trong một quá trình biến đổi. Từ đó suy ra nhiệt lượng mà hệ nhận : \dot{Q} trong biến đổi thuận nghịch.

6.3 CÁC HÀM NHIỆT ĐỘNG

Các hàm nhiệt động (hàm đặc trưng) là các **hàm trạng thái** của hệ mà khi hệ thay đổi trạng thái thì vi phân của hàm là một vi phân toàn chỉnh.

Ở đây người ta coi Entropi S của hệ như là một thông số trạng thái hệ. Và trạng thái hệ được xác định bởi 4 thông số nhiệt động S , p , V , T . Trong 4 thông số này người ta chia thành hai cặp **thông số liên hợp** : $(S - T)$ và $(V - p)$. Từ đó người ta xây dựng 4 hàm đặc trưng như sau :

6.3.1 Hàm nội năng U

Theo (6.11) trong biến đổi thuận nghịch: \dot{Q}

Với: $S - V$: 2 thông số độc lập.

$T - p$: 2 thông số độc lập.

Vậy: U là hàm của hai biến (S, V) .

$$U = U(S, V)$$

Do U là hàm trạng thái của hệ, nên dU là một vi phân toàn chỉnh.

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V .dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S .dV$$

So sánh với biểu thức (6.11) ta được:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V \quad \text{và} \quad p = -\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S \quad (6.21)$$

Do đó, nếu một biến đổi mà thể tích và Entropi của hệ được giữ không đổi

$$V = \text{const}, S = \text{const} \text{ thì } dU = 0 \Rightarrow U = \text{const}.$$

Trong biến đổi **đẳng tích - đẳng Entropi** nội năng hệ được giữ không đổi.

Nếu lấy đạo hàm cấp hai của $U(S,V)$, ta có:

$$\left(\frac{\delta^2 U}{\delta S^2}\right)_V = \left(\frac{\delta T}{\delta S}\right)_V = T \left(\frac{\delta T}{T \delta S}\right)_V = T \left(\frac{\delta T}{\delta Q}\right)_V = \frac{T}{C_V} \quad \text{hay là :}$$

$$C_V = T / \left(\frac{\delta^2 U}{\delta S^2}\right)_V \quad (6.22)$$

$$\text{Và :} \quad \left(\frac{\delta^2 U}{\delta V^2}\right)_S = \frac{\delta}{\delta V} (-p)_S = -\left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_S = \frac{1}{V \chi_S} \quad (6.23)$$

$$\text{với } \chi_S = -\frac{1}{V} \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_S : \text{ hệ số nén đoạn nhiệt.}$$

Chú ý rằng dU cho bởi (6.11) là một vi phân toàn chỉnh nên:

$$\frac{\delta^2 U}{\delta S \delta V} = \frac{\delta^2 U}{\delta V \delta S}$$

Dựa vào (6.21) ta có thể viết lại hệ thức này ở dạng:

$$\left(\frac{\delta T}{\delta V}\right)_S = -\left(\frac{\delta p}{\delta S}\right)_V \quad (6.24)$$

Hệ thức nêu quan hệ giữa hai tính chất của hệ: biến đổi của nhiệt độ trong quá trình đoạn nhiệt và biến đổi của áp suất trong quá trình đẳng tích.

Hàm $U(S,V)$ là một hàm đặc trưng của hệ, đạo hàm của U theo các biến số nhiệt động biểu thị các tính chất NĐL của hệ: đạo hàm cấp một xác định các biến số T và p ; đạo hàm cấp hai xác định C_V và χ_S .

6.3.2 Hàm Entanpy $H(S, p)$

+ Để thay đổi một trong hai thông số độc lập ta chỉ cần cộng hoặc trừ vào hàm (cần biến đổi) tích của hai thông số liên hợp của thông số cần thay (quy tắc Legendre).

- Ví dụ: Để biến đổi $U(S, V) \rightarrow H(S, p)$ thì:

$$H(S, p) = U(S, V) + pV \quad (6.25)$$

$$\text{Khi đó:} \quad dH = dU + p dV + V dp = T dS - p dV + p dV + V dp$$

$$dH = T dS + V dp \quad (6.26)$$

Hàm $H(S, p)$ là hàm trạng thái của hệ được gọi là hàm Entanpi; Ta có :

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_p dS + \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_S dp$$

$$\text{Từ đó : } T = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_p ; \quad V = \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_p$$

(6.27)

Trong biến đổi đẳng áp $p = \text{const}$ $dp = 0$

$$\Rightarrow dH = T.dS = \delta Q \quad (6.28)$$

Vậy: Trong biến đổi đẳng áp, độ biến thiên Entanpi của hệ có giá trị bằng nhiệt mà hệ nhận. Và :

$$C_p = \left(\frac{\delta H}{\delta T} \right)_p \quad (6.29)$$

6.3.3 Hàm thế nhiệt động Gibbs $G(T, p)$

Để xây dựng hàm $G(T, p)$ (loại biến S trong hàm H) ta trừ vào hàm H tích hai thông số liên hợp của S : $S.T$

$$G(T, p) = H(S, p) - ST = U - TS + pV \quad (6.30)$$

$$\Rightarrow dG = dH - S.dT - T.dS = T.dS + V.dp - S.dT - T.dS$$

$$\text{Vậy : } dG = -S.dT + V.dp \quad (6.31)$$

Hàm $G(T, p)$ được gọi là hàm thế nhiệt động Gibbs

$$\text{Ta có : } dG = \left(\frac{\delta G}{\delta T} \right)_p dT + \left(\frac{\delta G}{\delta p} \right)_T dp$$

$$\text{Vậy : } S = - \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p \quad \text{và} \quad V = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T$$

(6.32)

Trong biến đổi đẳng nhiệt áp thuận nghịch ($T = \text{const}$, $p = \text{const}$) thì:

$$dT = 0 ; dp = 0 \Rightarrow dG = 0 \Rightarrow G = \text{const}$$

Vậy: Trong quá trình **đẳng nhiệt - áp** thuận nghịch thế nhiệt động G của hệ được giữ không đổi.

Đạo hàm cấp hai của $G(T, p)$ cho ta nhiệt dung:

$$C_p = -T \left(\frac{\delta^2 G}{\delta T^2} \right)_p \quad (6.33)$$

Và hệ số nén đẳng nhiệt:

$$\chi_T = - \frac{1}{V} \left(\frac{\delta^2 G}{\delta p^2} \right)_T \quad (6.34)$$

6.3.4 Hàm năng lượng tự do F(T, V)

Để xây dựng hàm F(T, V) ta loại biến p của hàm G bằng cách trừ vào hàm G tích hai thông số liên hợp của p là p.V

$$F = G - pV = U - TS + pV - pV = U - TS \quad (6.35)$$

$$\Rightarrow dF = dG - pdV - Vdp = -SdT + Vdp - pdV - vdp$$

$$dF = -SdT - pdV \quad (6.36)$$

Hàm F được gọi là hàm năng lượng tự do của hệ hay còn gọi là hàm Helmholtz.

Từ đó :

$$S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V; p = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T \quad (6.37)$$

Trong quá trình đẳng nhiệt tích thuận nghịch (T = const, V = const) thì dF = 0 nên F = const.

Vậy : Trong quá trình đẳng nhiệt tích thuận nghịch, năng lượng tự do của hệ được giữ không đổi.

Đạo hàm cấp hai của F(T, V) cho ta nhiệt dung CV:

$$C_V = -T \left(\frac{\partial^2 F}{\partial T^2} \right)_V \quad (6.38)$$

6.3.5 Các đặc điểm chung

- Các hàm nhiệt động ở trên đều là các hàm đơn trị và cộng tính.
- Các hàm có liên quan đến nhau, nếu biết một hàm thì có thể suy ra các hàm khác.
- Từ hàm nhiệt động có thể thu được đầy đủ thông tin về tính chất nhiệt của hệ, đồng thời có thể có thể dẫn xuất một số hệ thức nêu lên mối liên hệ giữa một số tính chất của hệ. Ví dụ:

$$H = G + TS = G - T \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p : \text{Phương trình Gibbs-Hemholtz đối với thể}$$

nhiệt động Gibbs.

- 4 phương trình định nghĩa hàm U, H, G, F được gọi là hệ phương trình Maxwell trong nhiệt động lực học:

$$\begin{aligned} U &= U(S, V) \\ H(S, p) &= U + pV \\ G(T, p) &= U + pV - TS \\ F(T, V) &= U - TS \end{aligned} \quad (6.39)$$

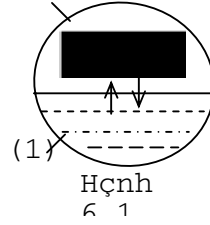
6.4 THỂ HÓA HỌC, ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG NHIỆT ĐỘNG

6.4.1 Thể hóa học

Các hệ thức định nghĩa hàm U, H, G, F chỉ áp dụng được cho một hệ thống đơn, **thuần nhất và kín**.

Trường hợp hệ hở, khi hệ biến đổi trạng thái số lượng phân tử của hệ có thể thay đổi; hệ như vậy được gọi là hệ có số **hạt thay đổi**.

Ví dụ: Hệ gồm một khối chất lỏng và hơi bão hòa của nó. Ở mỗi thời điểm sẽ có một số phân tử lỏng chuyển sang hơi bão hòa và ngược lại một số phân tử ở hơi bão hòa chuyển sang lỏng.



Sự thay đổi số hạt n của hệ dẫn đến hệ quả là các hàm nhiệt động biểu diễn trạng thái của hệ cũng biến đổi. Do đó, biểu thức vi phân dU của hàm nội năng trong trường hợp tổng quát được viết:

$$dU = T.dS - p.dV + \sum_i \mu_i dn_i \quad (6.40)$$

Phương trình này diễn tả hệ gồm nhiều loại hạt i (hoặc cấu tử), số lượng hạt mỗi loại ni có thể thay đổi.

μ_i : thế hóa học của loài hạt i = năng lượng trung bình mỗi hạt loài i

dn_i : số lượng hạt thay đổi, dn_i có thể > hoặc < hơn không.

$$\text{N như vậy : } \mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V} \quad (6.41)$$

Tương tự các hàm trạng thái khác của hệ cũng thay đổi phù hợp:

$$\begin{aligned} dH &= TdS + Vdp + \sum_i \mu_i dn_i \\ dG &= -SdT + Vdp + \sum_i \mu_i dn_i \\ dF &= -SdT - pdV + \sum_i \mu_i dn_i \end{aligned} \quad (6.42)$$

N như vậy thế hóa học μ_i :

$$\mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V} = \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S,p} = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,p} = \left(\frac{\partial F}{\partial n_i} \right)_{T,V} \quad (6.43)$$

6.4.2 Điều kiện cân bằng nhiệt động

- Để đơn giản ta giả sử hệ gồm: chất lỏng và hơi bão hòa của nó. Hệ như vậy gồm hai pha: pha lỏng và pha hơi (số cấu tử i = 2).

Gọi p, T, n, μ là áp suất, nhiệt độ, số hạt, và thế hóa học của mỗi pha.

- Điều kiện để hai pha ở cân bằng nhiệt động trước tiên là:

$$p_1 = p_2 ; T_1 = T_2$$

Trong quá trình chuyển pha này áp suất, nhiệt độ giữ không đổi nên $dG = 0$

Hay: $\mu_1 \cdot dn_1 + \mu_2 \cdot dn_2 = 0$

Khi hệ ở cân bằng số hạt chuyển từ pha này sang pha kia bằng nhau:

$$dn_1 = -dn_2$$

Từ đó : $(\mu_1 - \mu_2)dn_1 = 0 \Rightarrow \mu_1 = \mu_2$

Tóm lại: Điều kiện để hệ hai pha lỏng và hơi bão hòa của nó ở cân bằng nhiệt động là: $p_1 = p_2$; $T_1 = T_2$; $dn_1 = -dn_2$; $\mu_1 = \mu_2$

- Điều kiện $p_1 = p_2$ đảm bảo sự cân bằng về mặt cơ học, các điều kiện còn lại thể hiện sự trao đổi năng lượng giữa hai pha phải bằng nhau; để thỏa mãn không những số hạt chuyển vào và thoát ra khỏi một pha phải bằng nhau mà cả năng lượng trung bình của các hạt cũng phải bằng nhau

6.5 NGUYÊN LÝ III NHIỆT ĐỘNG LỰC

6.5.1 Nguyên lý III nhiệt động lực

Từ biểu thức định nghĩa Entropi $S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_0$, hằng số S_0 phụ thuộc vào gốc tính Entropi.

Nernst đã đề xuất định lý quan trọng nhằm xác định hằng số S_0 , từ đó có thể xác định được Entropi S ở bất kỳ trạng thái nào của hệ.

Định lý Nernst còn được gọi là nguyên lý thứ III nhiệt động lực học.

- Phát biểu: “ Khi nhiệt độ tuyệt đối tiến đến không, Entropi của bất kỳ vật nào cũng tiến đến không”.

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0 \quad (6.44)$$

Như vậy, gốc tính Entropi $S_0 = 0$ ở không độ tuyệt đối ($T = 00K$)

Từ đó, Entropi của hệ ở nhiệt độ T bất kỳ:

$$S = \int_0^T \frac{\delta Q}{T} \quad (6.45)$$

Ở nhiệt độ thấp nhiệt dung phân tử đẳng áp C_p hoặc nhiệt dung đẳng tích C_V đều thay đổi theo nhiệt độ T . Nên Entropi:

$$S(T, p) = \int_0^T \frac{C_p(T)}{T} \cdot dT \quad (6.46)$$

Hoặc : $S(T, V) = \tilde{G} \quad (6.47)$

Bài toán tính Entropi ở nhiệt độ thấp dẫn đến sự cần thiết xác định phụ thuộc của nhiệt dung C theo nhiệt độ T ở nhiệt độ thấp.

6.5.2 Không thể đạt được không độ tuyệt đối

Theo định lý Nernst: $\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$ đối với mọi biến đổi của hệ. Điều đó có nghĩa là đường đẳng nhiệt ở 0^0K cũng là đường đẳng Entropi. Nói cách khác: quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt trùng nhau khi nhiệt độ hệ tiến gần 0^0K .

Để hạ nhiệt độ một hệ, người ta cho hệ giãn đoạn nhiệt sau đó nén đẳng nhiệt để thể tích hệ trở lại như cũ. Trong quá trình nén đẳng nhiệt, hệ tỏa nhiệt, khi hệ trở về thể tích cũ nhiệt độ hệ thấp hơn nhiệt độ ban đầu; cứ lặp lại quá trình trên nhiều lần nhiệt độ hệ dần dần sẽ giảm xuống. Tuy vậy khi gần đến 0^0K thì quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt trùng nhau dẫn đến hệ quả là khi giãn đoạn nhiệt nhiệt độ hệ không giảm, còn khi nén đẳng nhiệt hệ không tỏa nhiệt. Từ đó **“Chỉ có thể tiến đến gần 00K, nhưng không thể đạt được nhiệt độ 0^0K ”**. Kết luận này bao hàm nội dung tương đương với nguyên lý III nhiệt động lực học.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1: Dựa vào phương trình (6.24) tính biến thiên nhiệt độ theo thể tích trong quá trình đoạn nhiệt của 1 hệ (đối với trường hợp chung và với khí lý tưởng).

Giải :

Hệ thức (6.24) :

$$\left(\frac{\delta T}{\delta V}\right)_S = -\left(\frac{\delta p}{\delta S}\right)_V ; \quad \text{Biết rằng:} \quad dS = \frac{\delta Q}{T}$$

Trong quá trình đẳng tích $\delta Q = C_V dT$. Vì vậy ta có thể biến đổi vế phải của

$$(6.24) \text{ và có : } \left(\frac{\delta T}{\delta V}\right)_S = -\frac{T}{C_V} \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_V$$

mà theo (6.7), (6.3) và (6.1) thì:

$$-\left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_V = \left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_T \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_p$$

$$\text{hay: } \left(\frac{\delta T}{\delta V}\right)_S = \frac{T}{C_V} \left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_T \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_p = -\frac{T}{C_V} \cdot \frac{\alpha}{\chi_T}$$

Đây là công thức phải tìm đối với trường hợp chung.

Đối với 1 mol khí lý tưởng $pV = RT$ thì phương trình phải tìm là:

$$\left(\frac{\delta T}{\delta V}\right)_S = -\frac{p}{C_V}$$

Thí dụ 2 : Nước ở nhiệt độ từ 0°C đến 4°C có hệ số nở đẳng áp α âm. Chứng minh rằng trong khoảng nhiệt độ ấy nếu nén đoạn nhiệt thì nước bị lạnh đi chứ không nóng lên như các chất lỏng khác.

Giải :

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } \delta Q = dU + \delta A &= dU + p dV = \left(\frac{\delta U}{\delta T} \right)_V dT + \left(\left(\frac{\delta U}{\delta V} \right)_T + p \right) dV \\ &= C_V dT + T \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V dV \end{aligned}$$

$$\text{Mà: } \left(\frac{\delta p}{\delta T} \right)_V = - \left(\frac{\delta p}{\delta V} \right)_T \left(\frac{\delta V}{\delta T} \right)_p = \frac{\alpha}{\chi_T}$$

$$\text{Nên: } \delta Q = C_V dT + T \cdot \frac{\alpha}{\chi_T} \cdot dV$$

Trong quá trình đoạn nhiệt $\delta Q = 0$ nên:

$$dT = - T \frac{\alpha}{C_V \chi_T} \cdot dV$$

Đối với các chất lỏng thông thường thì $\alpha > 0$ nên khi bị nén $dV < 0$ (thể tích giảm) sẽ nóng lên ($dT > 0$). Đối với nước, do $\alpha < 0$ nên khi bị nén sẽ lạnh đi.

Thí dụ 3: Xác định các thế nhiệt động $F(T,V)$, $G(T,p)$, và $H(S,p)$ của 1 kmol khí lý tưởng.

Giải :

$$\begin{aligned} F(T,V) = U - TS &= C_V T + U_0 - T(C_V \ln T + R \ln V + S_0) \\ &= U_0 - TS_0 + C_V T(1 - \ln T) - RT \ln V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G(T,p) = U - TS + pV &= C_V T + U_0 - T(C_V \ln T + R \ln p + S_0) + RT \\ &= U_0 - TS_0 + C_V T(1 - \ln T) + RT \ln p \end{aligned}$$

$$H(S,p) = U + pV = C_V T + U_0 + RT = C_p T + U_0$$

$$\text{Mà : } S = C_p \ln T - R \ln p + S_0$$

$$\text{nên: } T = p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \exp \frac{S - S_0}{C_p}$$

Cuối cùng theo các biến số S, p ta sẽ có:

$$H(S,p) = C_p p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \exp \frac{S - S_0}{C_p} + U_0$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG VI: PHƯƠNG PHÁP HÀM NHIỆT ĐỘNG

Bài 6.1: Chứng minh rằng hệ số nở đẳng áp α và hệ số nén đẳng nhiệt χ_T của khí lý tưởng có giá trị như sau: $\alpha = \frac{1}{T}$, $\chi_T = \frac{1}{p}$

Tính các giá trị của các hệ số ấy trong điều kiện chuẩn : $T = 273^0\text{K}$, $p = 760\text{mmHg}$.

$$\text{ĐS: } \alpha = 0,00368 \text{ K}^{-1}, \chi_T = 0,987 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}$$

Bài 6.2: Ở nhiệt độ $t = 20^0\text{C}$ và áp suất $p = 0,133 \text{ atm}$ khí Nitơ có $\alpha = 0,00368 \text{ K}^{-1}$, và $\beta = 0,00368 \text{ K}^{-1}$. Tính hệ số nén đẳng nhiệt χ_T của khí.

$$\text{ĐS: } \chi_T = 7,63 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}$$

Bài 6.3: Tìm phương trình trạng thái của 1 chất lưu có hệ số $\alpha = \frac{1}{T}$, $\beta = \frac{1}{T}$.

$$\text{ĐS: } pV = KT$$

Bài 6.4: Tìm Entropi S của 1 kmol khí lý tưởng.

$$\text{ĐS: } S = C_v \ln T + R \ln V + S_0 \text{ hoặc:}$$

$$S = C_p \ln T - R \ln p + S_0$$

Bài 6.5: Chứng minh năng lượng tự do của một khí lý tưởng có $C_v = a - bT$ là:

$$F = U_0 - TS_0 - aT \ln T + \frac{b}{2} T^2 + RT \ln V + aT$$

Bài 6.6: Tính độ biến thiên năng lượng tự do F và thế nhiệt động Gibbs G của 1 mol khí lý tưởng lưỡng nguyên tử khi nóng lên từ 0^0C đến 100^0C :

a. Ở thể tích không đổi 1 lít.

a. Ở áp suất không đổi 1 atm.

$$\text{ĐS: a) } \Delta F = -12 - 100S_0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = -11,16 - 100S_0 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{b) } \Delta F = -16,62 - 100S_0 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = -15,79 - 100S_0 \text{ kJ/mol}$$

CHƯƠNG VII : KHÍ THỰC

Ở các chương trước ta đã khảo sát các quá trình biến đổi của khí lý tưởng là loại khí mà các phân tử của nó được coi là :

- Không có kích thước.
- Không tương tác nhau trừ khi va chạm nhau.
- Loại khí này tuân theo hoàn toàn chính xác hai định luật thực nghiệm Bôilơ - Mariôt và Gay - Lussac.

Đối với các khí thực như khí: H₂ ; O₂ ; CO₂...không hoàn toàn diễn ra như vậy. Ở điều kiện thường chúng nghiệm đúng hai định luật thực nghiệm, nhưng ở áp suất cao hoặc ở nhiệt độ thấp thì không nghiệm đúng, để lí giải ta xét:

7.1 TƯƠNG TÁC PHÂN TỬ

7.1.1 Lực tương tác phân tử

Mỗi phân tử là hai hệ điện tích.

- Hệ điện tích dương (+) của các hạt nhân.
- Hệ điện tích âm (-) của các electron.

Khi hai phân tử gần nhau, do tương tác giữa các điện tích mà đồng thời xuất hiện những lực hút và lực đẩy. Gọi:

- Lực hút gây bởi các điện tích khác dấu: f_1
- Lực đẩy gây bởi các điện tích cùng dấu: f_2

Những lực này phụ thuộc vào khoảng cách r giữa hai phân tử, từ đó lực tương tác tổng hợp giữa chúng $\vec{f} = \vec{f}_1 + \vec{f}_2$ có thể là hút hoặc đẩy phụ thuộc vào khoảng cách r giữa hai phân tử.

Qui ước: $f > 0 \Leftrightarrow$ lực tương tác là lực đẩy.

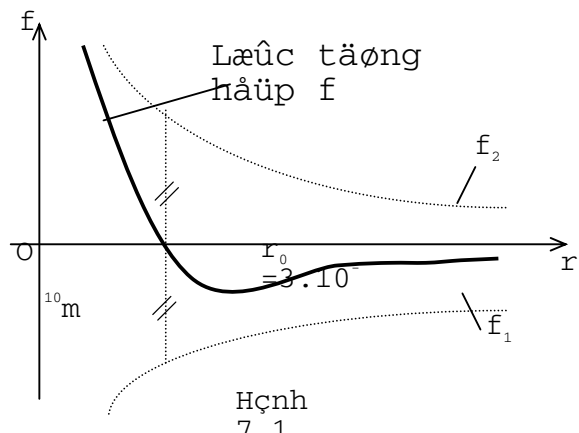
$f < 0 \Leftrightarrow$ lực tương tác là lực hút.

Biểu đồ biểu diễn sự phụ thuộc

của lực tương tác tổng hợp f theo khoảng cách r giữa hai phân tử như sau:

. Ở khoảng cách: $r = r_0 \approx 3 \cdot 10^{-10}$ m lực hút f_1 bằng lực đẩy $f_2 \Rightarrow$ lực tổng hợp $f = 0$.

. Khi $r < r_0$ thì $f_1 < f_2$; lực tổng hợp là lực đẩy $f > 0$; hai phân tử càng gần nhau thì lực đẩy tăng nhanh.



. Khi $r > r_0$ thì $f_1 > f_2$; lực tổng hợp là lực hút $f < 0$, lực này giảm nhanh về 0 ở khoảng cách $r \approx 10r_0$.

7.1.2 Thế năng tương tác phân tử

Từ biểu đồ lực tương tác phân tử, ta có thế năng tương tác phân tử như sau:

- Ở khoảng cách $r = r_0 = 3.10^{-10}m$ lực tương tác tổng hợp $f = 0$, hai phân tử ở cân bằng, ở đó thế năng tương tác phân tử là bé nhất $W_t = W_t(\min)$

Chọn thế năng ở ∞ : $W_t(\infty) = 0$. Ta theo dõi sự dịch lại gần nhau của hai phân tử dưới tác dụng của lực tương tác phân tử ($r: \infty \rightarrow 0$): Khi khoảng cách giữa hai phân tử thay đổi một lượng Δr thì công của lực tương tác là :

$$\Delta A = f \cdot \Delta r$$

ΔA đúng bằng độ giảm thế năng trong dịch

chuyên: $-\Delta W_t \Rightarrow \Delta W_t = -f \cdot \Delta r$

- Khi $r > r_0 \Rightarrow f < 0, \Delta r < 0$ (do r giảm) $\Rightarrow \Delta W_t < 0 \Rightarrow W_{t_2} < W_{t_1} \Rightarrow$ thế năng W_t giảm.

- Tại $r = r_0 \Rightarrow f = 0$; thế năng đạt cực tiểu $W_t(\min)$

- Khi $r < r_0 \Rightarrow f > 0$; $\Rightarrow \Delta W_t > 0 \Rightarrow W_{t_2} > W_{t_1} \Rightarrow$ thế năng W_t tăng nhanh, đồ thị có dạng hố sâu gọi là hố thế năng.

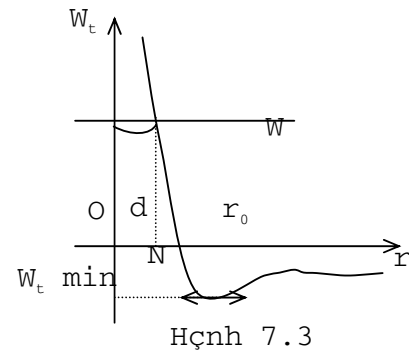
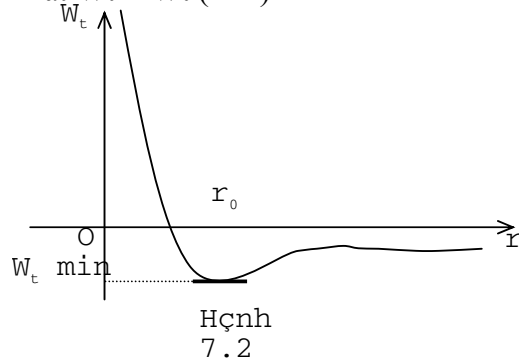
Từ đồ thị thấy rằng: ở khoảng cách $r \gg r_0$ thế năng tương tác rất bé ($r \approx 10r_0$) còn khi $r < r_0$ thế năng tương tác W_t rất lớn, nên chỉ có thể coi hai phân tử khi thực là không tương tác với nhau khi chúng cách xa nhau (thể tích khối khí lớn, mật độ phân tử bé), còn khi chúng gần nhau thì thế năng tương tác rất đáng kể không thể bỏ qua. Trong điều kiện này khí thực khác khí lý tưởng.

7.1.3 Quá trình va chạm giữa hai phân tử khí

Có thể mô tả quá trình tương tác giữa hai phân tử khí: A, B như sau :

- Giả thiết: phân tử A đứng yên tại gốc tọa trục O còn phân tử B chuyển động về phía A.

- Ở khoảng cách xa ($r \gg r_0$) thì $W_t \approx 0$ phân tử B chuyển động tự do, năng lượng toàn phần W bằng động năng chuyển động nhiệt ($\frac{i}{2}KT$).



- Khi B lại gần A; r giảm $\Rightarrow W_t$ giảm; W_d tăng.

- Ở khoảng cách $r = r_0$; W_t đạt cực tiểu, động năng W^d đạt cực đại; do quán tính phân tử B tiếp tục dịch lại gần A, đến khi $r < r_0$ lực tương tác là lực đẩy làm cản trở chuyển động của B, vận tốc của B giảm dần làm W_d giảm; W_t tăng dần khi khoảng cách hai phân tử $r = d$ phân tử B dừng lại, và đổi chiều chuyển động ra xa A.

- Ở khoảng cách $r = d$ hai phân tử không thể gần nhau hơn. Sự va chạm giữa hai phân tử xảy ra ($d = ON$), d được gọi là **đường kính hiệu dụng** của phân tử.

Giá trị của d có thể thay đổi do phụ thuộc vào động năng chuyển động nhiệt ban đầu của phân tử (hay năng lượng toàn phần của B). Nhưng do đường cong thế năng rất dốc mà d không khác nhau nhiều khi W_t thay đổi.

7.2 KHÍ THỰC, PHƯƠNG TRÌNH VANDECVAN (Vanderwaals)

7.2.1 Khí thực

- Ở điều kiện thường: ($p = 1\text{atm}$; $t = 0^\circ\text{C}$) 1k.mol khí thực có thể tích khá lớn

$V = 22,4\text{m}^3$; khi đó khoảng cách giữa các phân tử cỡ $3 \cdot 10^{-9} \text{ m} \approx 10r_0$. Ở khoảng cách này lực tương tác phân tử f hầu như bằng không và tổng thể tích của các phân tử (cỡ $\frac{1}{1000}$ thể tích khối khí), nên có thể bỏ qua:

- Thế năng tương tác phân tử.

- Thể tích phân tử.

Từ đó: ở điều kiện thường có thể coi mọi khí thực như là khí lý tưởng và có thể áp dụng được phương trình Clapeyron của khí lý tưởng cho khí thực.

- Ở áp suất lớn, hoặc nhiệt độ thấp: là khí nén khí hoặc hạ nhiệt. Thể tích khối khí giảm. Lúc đó các phân tử khí lại gần nhau (r bé) làm thế tương tác và thể tích riêng của phân tử trở nên đáng kể **không thể bỏ qua**. Phương trình Clapeyron của khí lý tưởng không thể áp dụng được nữa.

Như vậy; phương trình trạng thái của khí lý tưởng không thể áp dụng đúng cho mọi giới hạn của nhiệt độ và áp suất của khí thực.

7.2.2 Phương trình Vandecvan

Như đã phân tích, nguyên nhân để khí thực không thỏa mãn phương trình trạng thái khí lý tưởng có liên quan đến tương tác phân tử và thể tích phân tử. Từ đó để tìm phương trình trạng thái khí thực, người ta hiệu chỉnh (về mặt lý thuyết) hai đại lượng áp suất và thể tích khối khí.

7.2.2.1 Hiệu chỉnh về thể tích (cộng tích)

Phân tử khí lý tưởng được coi là một chất điểm không kích thước, nên thể tích mà phân tử chuyển động tự do $V \equiv V_t$

Phân tử khí thực có thể tích đáng kể ($\frac{1}{6}\pi d^3$) nên thể tích dành cho chuyển động

tự do của phân tử khí thực: $V = Vt - b$ (7.1)

b : Số hiệu chỉnh về thể tích được gọi là **cộng tích**.

Để tính b ; ta xét sự va chạm giữa hai phân tử: hai phân tử được coi là va chạm nhau khi khoảng cách hai tâm: $r = d =$ đường kính hiệu dụng phân tử. Từ đó vùng không gian của chuyển động tự do bị hạn chế do va chạm của hai phân tử:

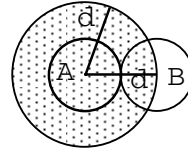
$$\frac{4}{3}\pi.d^3 = 8.\left(\frac{1}{6}\pi.d^3\right)$$

tức là bằng 8 lần thể tích của một phân tử.

Vì va chạm gây bởi hai phân tử, nên nếu tính trung bình cho một phân tử thì vùng không gian này là $4.\left(\frac{1}{6}\pi.d^3\right)$ tức là gấp 4 lần thể tích của một phân tử.

Đối với 1 k.mol khí thực có N_A phân tử ta được:

$$b = 4.\left(\frac{1}{6}\pi.d^3\right).N_A \quad (7.2)$$



Hçnh 7.4

b : Phụ thuộc vào đường kính hiệu dụng phân tử d , tức là phụ thuộc vào bản chất khí.

7.2.2.2 Hiệu chỉnh về áp suất (nội áp)

Có thể xem khí trong bình gồm nhiều lớp khí. Do các phân tử khí thực tương tác với nhau. Nên trước khi phân tử khí thực va chạm vào thành bình, chúng bị các phân tử lớp bên trong kéo lại (hút).

Từ đó lực tác dụng của các phân tử khí thực lên thành bình bé hơn so với trường hợp bỏ qua tương tác phân tử (của khí lý tưởng).

Gọi p_t : áp suất khí thực.

p : áp suất khí lý tưởng. Thì :

$$p = p_t + p_i$$

(7.3)

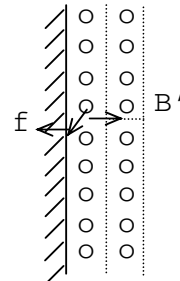
p_i : số hiệu chỉnh về áp suất, được gọi là **nội áp**.

Thấy rằng: p_i tỉ lệ với số phân tử va chạm vào thành bình (phụ thuộc vào mật độ khí $n_0 = \frac{N_A}{V_t}$) và tỉ lệ với số phân tử ở lớp bên

trong làm nhiệm vụ kéo về (phụ thuộc n_0). Như vậy :

$$p_i = c.n_0^2 \quad c : \text{hằng số tỉ lệ}$$

$$\Rightarrow p_i = c.\frac{N_A^2}{V_t^2} = \frac{a}{V_t^2}$$



Hçnh 7.5

Vậy :
$$p^i = \frac{a}{V_t^2} \quad (7.4)$$

Với a: hệ số, phụ thuộc vào bản chất từng loại khí.

Ví dụ: - với khí He :
$$a = 3,44.103 \frac{N.m^4}{(kmol)^2}$$

- với khí H₂ :
$$a = 0,248.103 \frac{N.m^4}{(kmol)^2}$$

7.2.2.3 Phương trình Vandecvan

+ Đối với 1 kmol khí thực:

Thay 2 biểu thức của cộng tích và nội áp vào phương trình trạng thái khí lý tưởng ta được phương trình trạng thái của 1 kmol khí thực.

$$(p_t + p_i) (V_t - b) = R.T$$

hay
$$\left(p_t + \frac{a}{V_t^2}\right) (V_t - b) = R.T$$

Có thể bỏ chỉ số t nhưng hiểu là phương trình được viết cho khí thực

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) (V - b) = R.T \quad (7.5)$$

+ Đối với m kg khí thực thể tích v:

Ta có :
$$v = \frac{m}{\mu} V \Rightarrow V = \frac{\mu}{m} v .$$
 Thay vào phương trình trên ta

được phương trình trạng thái của m kg khí thực như sau:

$$\left(p + \frac{m^2}{\mu^2} \cdot \frac{a}{v^2}\right) \left(v - \frac{m}{\mu} b\right) = \frac{m}{\mu} R.T$$

hay :
$$\hat{c} \text{ với } n \text{ L: số kmol} \quad (7.6)$$

Các phương trình (7.5) và (7.6) gọi là phương trình Vandecvan viết cho khí thực. Phương trình là kết quả của hiệu chỉnh về mặt lý thuyết từ phương trình Clapeyron của khí lý tưởng.

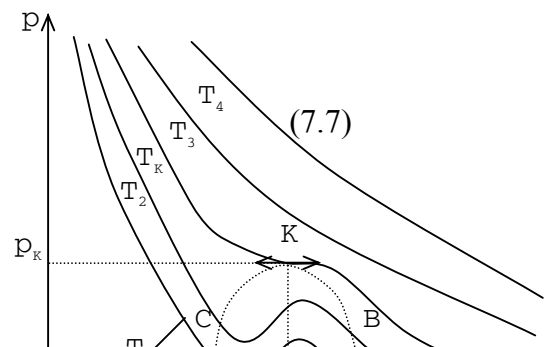
7.3 ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT VANDECVAN VÀ ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT THỰC NGHIỆM ẮNGDRIU

7.3.1 Họ đường đẳng nhiệt Vandecvan

Đối với 1 kmol khí thực:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = R.T$$

$$\Rightarrow p = \frac{R.T}{V - b} - \frac{a}{V^2} \quad (7.7)$$



Trong hệ tọa độ (p, V) . Với 1 giá trị nhiệt độ T (const) ta vẽ được 1 đường biểu diễn $p(V)$ gọi là đường đẳng nhiệt Vandecvan ở nhiệt độ T . Với các nhiệt độ $T_1, T_2, T_3 \dots$ khác nhau ta có một họ đường đẳng nhiệt Vandecvan như sau:

Trên đồ thị ta thấy có 1 nhiệt độ T_k mà khi :

. $T = T_k$: đường đẳng nhiệt có điểm uốn K , tại đó tiếp tuyến song song với trục hoành.

. $T > T_k$: đường đẳng nhiệt có dạng Hyperbol giống như đường đẳng nhiệt của khí lý tưởng.

. $T < T_k$: đường đẳng nhiệt của khí thực rất khác đường đẳng nhiệt của khí lý tưởng, nó có một đoạn lồi và một đoạn lõm; trong khoảng này một giá trị của p có 3 giá trị của V

7.3.2 Họ đường đẳng nhiệt thực nghiệm Angdriu (Andrews)

1866. Angdriu lấy 1 mol khí CO_2 rồi nén đẳng nhiệt ở các nhiệt độ T khác nhau. Từ đó thu được một họ đường đẳng nhiệt gọi là họ đường đẳng nhiệt thực nghiệm Angdriu như sau:

+ Đối với CO_2 cũng có một nhiệt độ $T = T^k = 304^0K$, đường đẳng nhiệt có điểm uốn K , mà tiếp tuyến tại K song song với trục hoành.

+ Khi $T < T_k$ đường đẳng nhiệt có đoạn ngang BC:

. Đầu tiên: khi nén khí thì V giảm, p tăng (đoạn AB), nếu tiếp tục nén thì V tiếp tục giảm nhưng áp suất p không tăng nữa khi đó CO_2 bắt đầu hóa lỏng; đến C ($V = V_C$) thì CO_2 hóa lỏng hoàn toàn.

. Đoạn BC, CO_2 ở trạng thái hỗn hợp: vừa thể khí vừa thể hơi nên được gọi là hơi bão hòa. Áp suất p_B : gọi là **áp suất hơi bão hòa**.

. Khi CO_2 đã hoàn toàn hóa lỏng nếu tiếp tục nén thì thể tích V giảm rất ít, nhưng áp suất p tăng nhanh; đường biểu diễn dạng dốc đứng (ứng với đoạn CD). Từ D nếu tiếp tục nén thì các tinh thể CO_2 bắt đầu xuất hiện. (Ta không xét quá trình này).

. Khi nhiệt độ T của CO_2 càng gần nhiệt độ T_k ($T < T_k$) thì đoạn nằm ngang BC càng ngắn; khi $T = T_k$ đoạn nằm ngang thu về điểm uốn K . Điểm K được gọi là điểm

tới hạn; trạng thái ứng với K gọi là trạng thái tới hạn (p_K :áp suất tới hạn; V_K : thể tích tới hạn; T_K : nhiệt độ tới hạn).

+ Khi $T > T_K$ CO_2 không bị hóa lỏng khi nén đẳng nhiệt, đường biểu diễn có dạng hình Hyperbol giống như đường đẳng nhiệt của khí lý tưởng.

Nối các điểm đầu của đoạn nằm ngang BC ta được 1 đường cong hình chuông. Đường này và đường đẳng nhiệt tới hạn T_K chia mặt (opv) thành 4 miền.

- Miền I và miền II: CO_2 ở thể khí, được gọi là miền khí.
- Miền III : CO_2 ở thể lỏng và hơi bão hòa, được gọi là miền hỗn hợp.
- Miền IV : CO_2 ở thể lỏng, được gọi là miền lỏng.

Lưu ý :

- Nén đẳng nhiệt các chất khí khác, họ đường Angdriu có cùng dạng nhưng có nhiệt độ tới hạn T_K khác nhau.

- Nếu biến đổi ngược lại tức là giãn đẳng nhiệt, thì các biến đổi trên sẽ được thực hiện theo chiều ngược lại tức là từ lỏng sang khí.

7.3.3 Nhận xét

So sánh kết quả thu được từ hai họ đường đẳng nhiệt Vandecvan và Angdriu ta rút ra một số nhận xét sau:

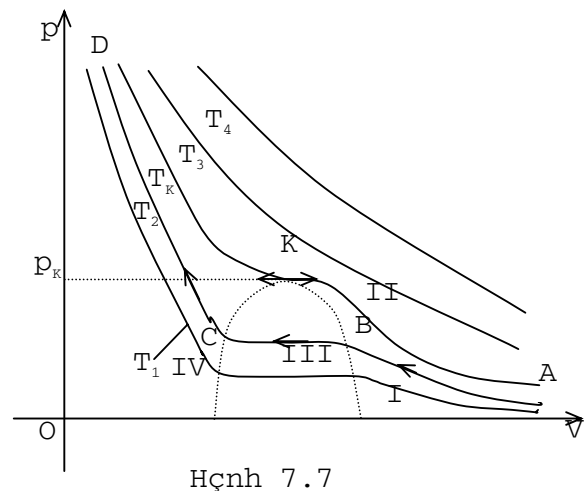
- Cả hai họ đường đẳng nhiệt đều qua điểm uốn K tại nhiệt độ T_K .

- Ở nhiệt độ $T > T_K$ đường đẳng nhiệt lý thuyết Vandecvan phù hợp với đường thực nghiệm Angdriu

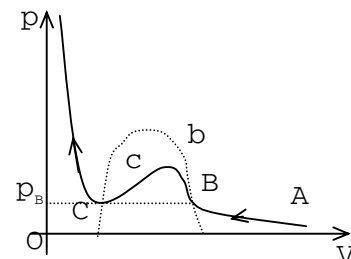
- Ở nhiệt độ $T < T_K$ đường lý thuyết có đoạn lồi và đoạn lõm, còn đường thực nghiệm có đoạn nằm ngang. Như vậy phương trình Vandecvan chưa mô tả được các trạng thái mà thực nghiệm phát hiện.

Tuy vậy nhiều trạng thái ứng với một số điểm nằm trên đoạn lồi lõm của đường lý thuyết có thể quan sát được bằng thực nghiệm, như khi nén đẳng nhiệt CO_2 thật tinh khiết, ta gặp hiện tượng sau :

- Nén khí tới khi $p > p_B$ rồi mà CO_2 vẫn chưa hóa lỏng, hiện tượng đó gọi là hiện tượng **chậm hóa lỏng**. CO_2



Hình 7.7



Hình 7.8

lúc này vẫn còn ở thể hơi nên được gọi là hơi **quá bão hòa**.

Để làm mất hiện tượng này thì chỉ cần cho vào CO₂ một ít hạt bụi hoặc điện tử tự do là hơi quá bão hòa bắt đầu hóa lỏng. Trên đồ thị, hơi quá bão hòa ứng với đoạn Bb.

- Cho giãn khí đẳng nhiệt (trong quá trình ngược), khi $p < p_C$ mà CO₂ vẫn chưa bay hơi, biểu đồ ứng với đoạn Cc; hiện tượng chậm bay hơi. Vậy: chỉ còn có đoạn cb trên biểu đồ là chưa quan sát được bằng thực nghiệm.

- Tóm lại: Hai họ đường đẳng nhiệt lý thuyết và thực nghiệm khá phù hợp nhau, điều này chứng tỏ phương trình Vandecvan có thể áp dụng được cho một giới hạn rộng của nhiệt độ và áp suất khí thực.

7.3.4 Trạng thái tới hạn

+ Trạng thái tới hạn: trên biểu đồ, trạng thái tới hạn K là giao điểm chung của 3 miền: hơi, khí và lỏng. Từ đó ở trạng thái đặc biệt này CO₂ có thể coi là lỏng, vừa là hơi hoặc là khí; nghĩa là trạng thái mà mọi sự khác biệt giữa chất lỏng, hơi và khí không còn nữa (nhiệt hóa hơi bằng 0; suất căng mặt ngoài bằng 0..).

+ Thông số tới hạn:

Các thông số trạng thái ứng với điểm K được gọi là thông số tới hạn: p_K, V_K, T_K .

Để tìm các thông số tới hạn, từ (7.7) :

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

Lấy đạo hàm bậc (1), rồi bậc (2) của p theo V rồi cho G; ta xác định được tọa độ của điểm uốn K:

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dV} &= -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3} \\ \Rightarrow \frac{d^2p}{dV^2} &= \frac{2RT}{(V-b)^2} - \frac{6a}{V^4} = 0 \end{aligned}$$

Từ đó, tọa độ của K (p_K, V_K, T_K) như sau :

$$K \begin{cases} p_K = \frac{a}{27b^2} \\ V_K = 3b \\ T_K = \frac{8a}{27b.R} \end{cases} \quad (7.8)$$

. a, b phụ thuộc vào từng loại khí nên ứng với mỗi loại khí có một điểm K khác nhau, tương ứng với một nhiệt độ T_K khác nhau.

Tại trạng thái tới hạn, ta có: $p_k V_k = \frac{3}{8} RT_k$: phương trình này rất khác với phương trình trạng thái KLT.

7.4 NỘI NĂNG KHÍ THỰC, HIỆU ỨNG JUN - TÔMXƠN

7.4.1 Nội năng của khí thực

- Đối với khí lý tưởng : Các phân tử khí lý tưởng không tương tác nhau nên nội năng U của 1 k.mol khí là tổng động năng chuyển động nhiệt phân tử:

$$U = \sum_{N_A} W_d = \frac{iR}{2} \cdot T = C_V T$$

- Đối với khí thực: ngoài chuyển động nhiệt phân tử khí còn tương tác nhau. Từ đó nội năng khí thực bằng tổng động năng chuyển động nhiệt và thế năng tương tác phân tử, với 1 kmol khí thực:

$$U = C_V \cdot T + W_t \quad (7.9)$$

Thế năng tương tác W_t phụ thuộc vào khoảng cách r giữa các phân tử, tức phụ thuộc vào thể tích V của khối khí.

Vậy : Nội năng khí thực phụ thuộc vào **hiệu ứng Jun - Tômxơn** và thể tích khối khí. Từ trên:

$$\Rightarrow dU = C_V dT + dW_t$$

Nếu khối khí thực thực hiện 1 biến đổi mà không trao đổi năng lượng với bên ngoài thì nội năng khối khí $U = \text{const} \Rightarrow dU = 0$

$$\Rightarrow C_V dT + dW_t = 0$$

$$\Rightarrow dW_t = - C_V dT$$

Từ đó: mặc dầu hệ không trao đổi năng lượng với bên ngoài, nhiệt độ hệ vẫn có thể thay đổi khi thể tích khối khí thay đổi (W_t thay đổi), điều này hoàn toàn khác với khí lý tưởng.

7.4.2 Hiệu ứng Jun - Tômxơn (Joule - Thomson)

+ Thí nghiệm:

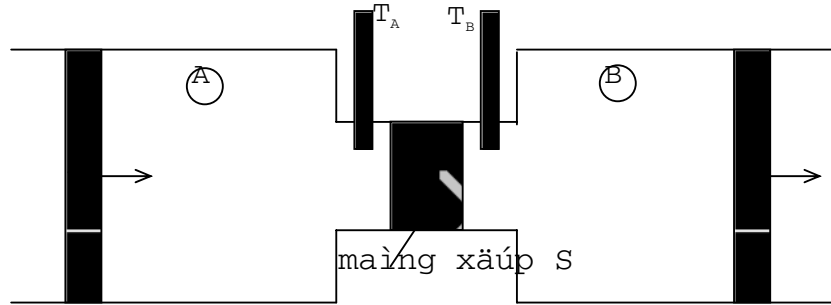
Hai xi lanh A; B thông nhau bởi màng xốp S được đặt cách nhiệt tốt với bên ngoài. Hai pittông A', B' có thể dịch chuyển dễ dàng không ma sát, bên trong xi lanh A chứa khí áp suất p_1 ; còn B chứa khí áp suất p_2 mà $p_2 < p_1$.

Cho các pittông A', B' dịch chuyển vô cùng chậm để thực hiện một biến đổi đoạn nhiệt mà luôn giữ $p_2 < p_1$, khi đó khí trong ngăn A thẩm qua màng xốp khuyết tán sang B. Thí nghiệm cho thấy khí khuyết tán từ A sang B:

- Đa số khí đều lạnh đi, ứng với biến thiên nhiệt độ $dT < 0$ gọi là hiệu ứng Jun - Tômxơn dương.

- Một số trường hợp khí nóng lên, biến thiên nhiệt độ $dT > 0$ gọi là hiệu ứng Jun - Tômxơn âm.

Vậy : Hiệu ứng Jun - Tômxon là hiện tượng giãn khí đoạn nhiệt, nhiệt độ khí bị thay đổi.



Hình 7.6

+ Giải thích :

Gọi U_1, U_2, V_1, V_2 lần lượt là nội năng và thể tích của khối khí trước và sau biến đổi.

Đối với quá trình đoạn nhiệt $\Delta U = A'$

Mà : $A' = p_1 V_1 - p_2 V_2$

$\Rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 = p_1 V_1 - p_2 V_2$ từ đó:

. **Nếu vai trò của b lớn còn của a bé:** tức thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện mà ta chỉ cần để ý đến kích thước phân tử, còn có thể bỏ qua tương tác phân tử. Khi đó phương trình trạng thái khí thực:

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) (V - b) = RT \Rightarrow p(V - b) = RT$$

hay : $pV = RT + b.p \Rightarrow p_1 V_1 = RT_1 + b p_1$ và $p_2 V_2 = RT_2 + b p_2$

$\Rightarrow p_1 V_1 - p_2 V_2 = R(T_1 - T_2) + b(p_1 - p_2)$

Theo trên :

$$(p_1 V_1 - p_2 V_2) = \Delta U = C_V \Delta T \quad (\text{đã bỏ qua tương tác phân tử})$$

$\Rightarrow C_V \Delta T = -R \Delta T + b(p_1 - p_2)$

$\Rightarrow (C_V + R) \Delta T = b(p_1 - p_2)$

Do $p_1 > p_2 \Rightarrow \Delta T > 0 \Rightarrow T_2 > T_1$

Vậy: khí nóng lên khi giãn đoạn nhiệt, ta có hiệu ứng Jun-Tômxon âm.

. **Trường hợp ngược lại:** khi mà ta chỉ cần để ý đến tương tác phân tử, còn bỏ qua kích thước phân tử (vai trò của a lớn, còn b bé), khi đó:

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) V = RT \quad \text{và} \quad U = C_V T + W_t$$

Lập luận tương tự ta đi đến kết quả:

$$(C_V + R) \Delta T = W_{t_1} - W_{t_2} - a \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$$

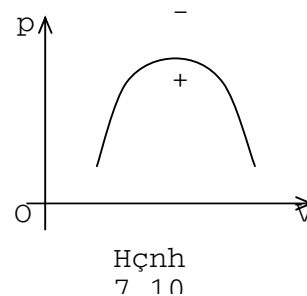
Do giãn khí nên $V_1 < V_2$ và $W_1 - W_2 < 0 \Rightarrow \Delta T < 0 \Rightarrow T_2 < T_1$ tức là nhiệt độ khí giảm khi giãn đoạn nhiệt.

Vậy : Trường hợp này có hiệu ứng Jun -Tôm-xon dương.

Tóm lại: tùy thuộc vào điều kiện thí nghiệm, khi vai trò của cộng tích b hoặc nội áp a có thể bỏ qua mà hiệu ứng là dương hoặc âm. Nếu thí nghiệm được tiến hành ở áp suất cao, lúc đó kích thước phân tử trở nên quan trọng (thể tích khí bé) thì sẽ gặp hiệu ứng âm. Còn thí nghiệm ở áp suất thấp thì tương tác phân tử trở nên quan trọng, ta gặp hiệu ứng dương.

Từ đó: ở một nhiệt độ nhất định, có một giá trị áp suất mà tại đó khi giãn đoạn nhiệt, nhiệt độ khí không bị thay đổi, điểm đó được gọi là **điểm đảo**.

Tập hợp các điểm đảo ứng với các giá trị nhiệt độ khác nhau gọi là **đường cong đảo**. Đường cong đảo chia mặt (p,V) thành hai miền, miền trên ứng với hiệu ứng âm, miền dưới ứng với hiệu ứng dương.



Hiệu ứng Jun Tôm-xon là một bằng chứng thực nghiệm cho thấy rằng nội năng khí thực phụ thuộc vào nhiệt độ và thể tích khối khí.

7.4.3 Sự hóa lỏng khí

Để hóa lỏng khí cần thiết phải hạ nhiệt độ khí xuống thấp hơn nhiệt độ tới hạn TK của khí đó. Chẳng hạn:

Cl_2	\leftrightarrow	$T_K = 144^\circ\text{C}$
NH_3	\leftrightarrow	$T_K = 132^\circ\text{C}$
O_2	\leftrightarrow	$T_K = -118,8^\circ\text{C}$
He	\leftrightarrow	$T_K = -267,9^\circ\text{C}$

Khi nhiệt độ khí đã được làm thấp hơn nhiệt độ T_K người ta nén đẳng nhiệt khối khí thì sẽ xuất hiện quá trình khí bị hóa lỏng. Các phương pháp hạ nhiệt độ khí có thể như sau:

7.4.3.1 Giảm nhiệt độ do tiếp xúc với hệ có nhiệt độ thấp hơn

Để làm lạnh khối khí người ta cho nó tiếp xúc với một chất lỏng nào đó đang được bay hơi nhanh có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ khối khí.

Ví dụ: để hạ nhiệt độ không khí, người ta cho Oxi lỏng bay hơi trong không khí, khi bay hơi nhiệt độ của hơi Oxi rất thấp, làm nhiệt độ của không khí tiếp xúc với nó hạ xuống. Khi nhiệt độ hạ dưới TK người ta nén khí sẽ thu được không khí lỏng.

7.4.3.2 Giảm nhiệt độ do giãn khí đoạn nhiệt và sinh công

Theo nguyên lý I: $\delta Q = dU + \delta A$

Nên trong biến đổi đoạn nhiệt ($\delta Q = 0$) mà hệ sinh công ($\delta A > 0$) thì nội năng hệ giảm ($dU < 0$), từ đó nhiệt độ khí giảm.

Trong kỹ thuật người ta chế tạo “Tua - bin giãn khí”: khí bị nén đưa vào Tuabin làm quay Tuabin và giảm nhiệt độ. Sau đó được đưa về máy nén ...cứ tiếp tục ...nhiệt độ khí bị giảm xuống.

7.4.3.3 Giảm nhiệt độ bằng hiệu ứng Joule - Thomson dương

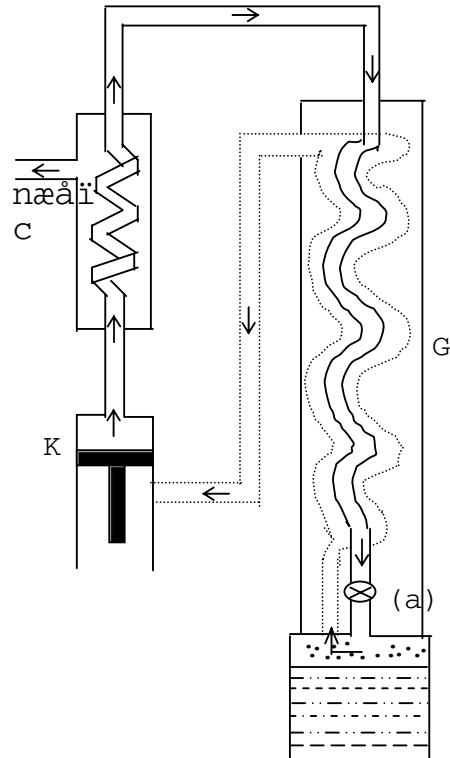
Máy Linde : gồm hai bộ phận

- Bộ phận nén: một máy nén khí K; khí được nén đến áp suất cỡ 100at.

- Bộ phận giãn khí: gồm 1 số ống xoắn (ruột gà) G được lồng vào nhau; khí nén từ K được cho qua ống xoắn G, đến xú - páp (a) thì giãn đột ngột làm nhiệt độ khí hạ xuống, rồi lại được đưa về máy nén K... cứ tiếp tục, nhiệt độ khí giảm xuống dưới nhiệt độ T_K .

Việc thực hiện nhiệt độ thấp cũng như hóa lỏng khí có tầm quan trọng đặc biệt trong đời sống và NCKH. Oxy lỏng, Hydro lỏng được dùng trong cắt kim loại, Nitơ lỏng được dùng trong kỹ thuật tạo chân không ...

Khí hóa lỏng có thể tích rất bé rất thuận tiện trong việc chuyên chở, sử dụng ...



Khê sau khí hâu
nhiãút âæâüc âæa
vãö theo âæâång
----- âãún
mãiy neĩn K
Hçnh

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1: Một bình kín có thể tích $V = 0,5\text{m}^3$ chứa $0,6\text{kmol}$ khí CO_2 ở áp suất 3.10^6N/m^2 . Hỏi khi áp suất của khối khí tăng lên gấp 2 lần thì nhiệt độ khối khí tăng lên bao nhiêu lần nếu:

- Xem CO_2 là khí thực. Cho: $a = 3,64.10^5 \text{ J.m}^3/\text{kmol}^2$.
- Xem CO_2 là khí lý tưởng.

Giải :

a. Khi xem CO₂ là khí thực ta áp dụng phương trình Vanđecvan đối với trạng thái 1:

$$\left(p_1 + n^2 \cdot \frac{a}{V_1^2}\right)(V_1 - nb) = n.RT_1 \quad (1)$$

và đối với trạng thái 2:

$$\left(p_2 + n^2 \cdot \frac{a}{V_2^2}\right)(V_2 - nb) = n.RT_2 \quad (2)$$

Vì là quá trình đẳng tích nên $V_1 = V_2 = V$. Chia (2) cho (1) ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 + n^2 \cdot \frac{a}{V^2}}{p_1 + n^2 \cdot \frac{a}{V^2}} = \frac{2p_1 + n^2 \cdot \frac{a}{V^2}}{p_1 + n^2 \cdot \frac{a}{V^2}}$$

Đối với khí CO₂: $a = 3,64.10^5 \text{ Jm}^3 / \text{kmol}^2$. Thay số vào ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2.3.10^6 + (0,6)^2 \cdot \frac{3,64.10^5}{(0,5)^2}}{3.10^6 + (0,6)^2 \cdot \frac{3,64.10^5}{(0,5)^2}} = 1,85$$

b- Khi xem CO₂ là khí lý tưởng, ta áp dụng phương trình trạng thái của khí lý tưởng đối với trạng thái (1):

$$p_1 V_1 = nRT_1 \quad (3)$$

và đối với trạng thái (2):

$$p_2 V_2 = nRT_2 \quad (4)$$

Vì quá trình đẳng tích nên $V_1 = V_2 = V$

Chia (4) cho (3) ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{2p_1}{p_1} = 2$$

Thí dụ 2 : Tính hệ số khuếch tán D của khí Hydrô ở nhiệt độ 27⁰C và áp suất 2.10⁵N/m². Cho biết nhiệt độ tới hạn và áp suất tới hạn của khí Hydrô là T_k = 33⁰K và p_k = 1,3.10⁶N/m².

Giải :

Hệ số khuếch tán được xác định bởi biểu thức: $D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$

Trong đó : $\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi \cdot p d^2}$ và $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot \mu}}$

Để tìm $\bar{\lambda}$ phải tìm đường kính hiệu dụng d của phân tử Hydrô. Ta biết cộng tích b được xác định bởi công thức:

$$b = 4.N_A \left(\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot d^3 \right) = \frac{RT_K}{8 \cdot p_K}$$

Do đó: $d = \left(\frac{3RT_K}{16\pi \cdot N_A \cdot p_K} \right)^{\frac{1}{3}}$ Thay d vào $\bar{\lambda}$

ta có: $\bar{\lambda} = \frac{T}{p} \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot k \cdot \left(\frac{8 \cdot p_K}{3T_K} \right)^2}$ Thay \bar{v} , $\bar{\lambda}$ vào D

ta có: $D = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot \mu}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot k \cdot \left(\frac{8 \cdot p_K}{3T_K} \right)^2} \cdot \frac{T}{p}$

Thay số vào ta được: $D = 3,63 \cdot 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$.

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG VII: KHÍ THỰC VÀ HƠI

Bài 7.1: Có 10g khí Hêli chiếm thể tích 100cm^3 ở áp suất 10^8N/m^2 . Tìm nhiệt độ của khí trong hai trường hợp:

- Coi Hêli là khí lý tưởng.
- Coi Hêli là khí thực.

ĐS: 482K ; 204K

Bài 7.2: Tìm áp suất của khí cacbôníc ở nhiệt độ 3^0C nếu biết khối lượng riêng của nó ở nhiệt độ ấy là 550kg/m^3 .

ĐS: $5,2 \cdot 10^{-6}\text{N/m}^2$

Bài 7.3: Tìm đường kính hiệu dụng của phân tử khí Nitơ bằng hai phương pháp:

a. Theo quãng đường tự do trung bình $\bar{\lambda}$, biết rằng ở điều kiện bình thường khí Nitơ có $\bar{\lambda} = 9,5 \cdot 10^{-6}\text{cm}$.

b. Theo phương trình Vandecvan, biết rằng khí Nitơ có cộng tích $b = 3,85 \cdot 10^2 \text{m}^3/\text{kmol}$

ĐS: $2,97 \cdot 10^{-10}\text{m}$; $3,13 \cdot 10^{-10}\text{m}$

Bài 7.4: Tính nội áp của khí Cacbôníc lúc khối lượng riêng của khí đó là 550kg/m^3 . Cho biết đối với khí cacbôníc có: $T_k = 304^0\text{K}$ và $p_k = 7,4 \cdot 10^6\text{N/m}^2$.

ĐS: $5,68 \cdot 10^7\text{N/m}^2$

Bài 7.5 : Xác định quãng đường tự do trung bình của phân tử khí argon ở điều kiện bình thường, biết nhiệt độ tới hạn T_k và áp suất tới hạn p_k của nó là:

$$T_k = 151^0\text{K} \text{ và } p_k = 4,78.10^6\text{N/m}^2.$$

$$\text{ĐS: } 9,74.10^{-8}\text{m}$$

Bài 7.6: Khí cacbôníc có : $a = 3,64.10^5 \text{Jm}^3 / \text{kmol}^2$, $b = 0,043\text{m}^3/\text{kmol}$. Hỏi:

- 01g cacbôníc lỏng có thể tích lớn nhất là bao nhiêu?.
- Áp suất hơi bão hòa lớn nhất là bao nhiêu?.
- CO_2 lỏng có thể có nhiệt độ cao nhất là bao nhiêu?.
- Cần phải nén khí CO_2 với áp suất bằng bao nhiêu để thành CO_2 lỏng ở nhiệt độ 31^0C và 50^0C .

$$\text{ĐS : } 2,93.10^{-3}\text{m}^3/\text{kg}; 7,4.10^6\text{N/m}^2; \\ 31^0\text{C}; 7,4.10^6\text{N/m}^2$$

Bài 7.7 : Xét một chất khí tuân theo phương trình Vandecvan. Tìm:

- Entropi của 1 kmol khí.
- Phương trình biến đổi đoạn nhiệt của khí.

$$\text{ĐS: a) } S = C_v \ln T + R \ln(V - b) + S_0$$

$$\text{b) } T^{C_v} (V - b)^R = \text{Const}$$

Bài 7.8 : Tìm hiệu $C_p - C_v$ đối với khí tuân theo phương trình Vandecvan.

$$\text{ĐS: } C_p - C_v \approx R \left(1 + \frac{2a}{RTV} \right)$$

CHƯƠNG VIII : CHẤT LỎNG

8.1 TÍNH CHẤT CHUNG VÀ CẤU TRÚC CHẤT LỎNG

8.1.1 Tính chất chung

Trong phần khí thực, ta thấy khi nén đẳng nhiệt khối khí ở nhiệt độ $T < T_K$ thì khí thực chuyển từ thể khí sang thể lỏng, rồi thể rắn. Từ đó:

Trạng thái lỏng là trạng thái trung gian giữa trạng thái khí và trạng thái rắn.

Thực nghiệm cho thấy: tùy theo nhiệt độ (T) của khối chất mà chất lỏng có tính chất gần chất khí hoặc gần chất rắn.

Ta biết rằng thế năng tương tác phân tử W_t phụ thuộc vào khoảng cách r giữa hai phân tử. Ở khoảng cách $r = r_0 = 3.10^{-10}m$ thế năng W_t đạt cực tiểu và hai phân tử ở cân bằng bền. Còn ở $r \gg r_0$ thì thế năng tương tác W_t rất bé.

Từ đó hình thành một số đặc điểm riêng của chất rắn, lỏng, khí ở nhiệt độ bình thường T như sau:

+ Đối với chất rắn

Ở nhiệt độ thường, phân tử rắn có động năng chuyển động nhiệt $W_d \ll W_t(\min)$, phân tử rắn chỉ dao động nhiệt quanh VTCB, khoảng cách giữa chúng gần như không đổi $r \approx r_0$; Từ đó chúng sắp xếp một cách tuần hoàn trong không gian tạo nên mạng tinh thể có cấu hình ổn định. Nên chất rắn có:

- Thể tích nhất định.
- Hình dạng nhất định.

+ Đối với chất khí

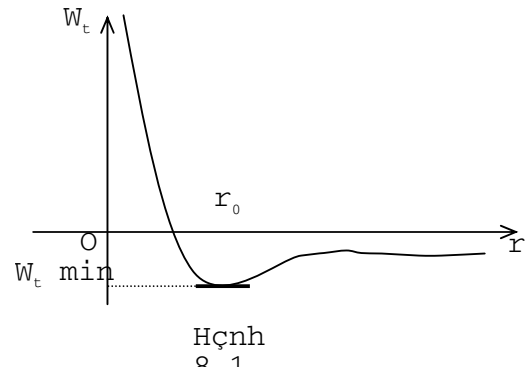
Ở nhiệt độ thường, khoảng cách 2 phân tử $r \gg r_0$, ở khoảng cách này thế năng tương tác phân tử W_t rất bé (≈ 0). Động năng chuyển động nhiệt ứng với một bậc tự do $\frac{1}{2}kT \gg W_t(\min)$, nên phân tử khí hầu như chuyển động tự do trong khối chất khí.

Nên chất khí có :

- Thể tích không nhất định và phụ thuộc vào bình chứa.
- Hình dạng cũng không nhất định và phụ thuộc vào bình chứa

+ Đối với chất lỏng

Động năng chuyển động nhiệt ứng với một bậc tự do của một phân tử chất lỏng $\frac{1}{2}kT \approx W_t(\min)$. Do thăng giáng nên có lúc động năng này lớn hơn $W_t(\min)$, còn bình



thường thì $\frac{1}{2}kT < W_t(\text{min})$, nên các phân tử chất lỏng không thể chuyển động tự do trong khối chất mà dao động quanh vị trí cân bằng; đồng thời do thăng giáng khi $\frac{1}{2}kT > W_t(\text{min})$ thì phân tử lỏng dịch sang vị trí cân bằng mới. Nên chất lỏng có:

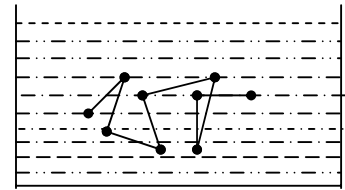
- Thể tích nhất định (giống chất rắn).
- Hình dạng không nhất định (giống chất khí).

Tính chất hai mặt trên của chất lỏng có liên quan đến cấu tạo và chuyển động phân tử của nó.

8.1.2 Chuyển động phân tử của chất lỏng

Theo trên ta thấy các phân tử chất lỏng, dao động quanh VTCB đồng thời có thể dịch chuyển trong cả khối chất lỏng.

Phân tử chất lỏng thực hiện một cuộc sống “du mục”. Sau 1 thời gian định cư ở 1 VTCB nó lại chuyển đi nơi khác.



Hình 8.2

Thời gian dao động quanh 1 VTCB của phân tử chất lỏng phụ thuộc nhiệt độ T của khối chất. Khi nhiệt độ tăng thời gian đó giảm, còn khi hạ nhiệt gần nhiệt độ đông đặc thời gian đó rất lớn.

Frenken đã xác định được thời gian trung bình để 1 phân tử lỏng dao động quanh 1 VTCB như sau:

$$\bar{\tau} = \tau_0 e^{\frac{W}{kT}} \quad \tau_0 : \text{Chu kỳ dao động } T_b \text{ của phân tử} \quad (8.1)$$

W: Năng lượng hoạt động của phân tử

k: Hằng số Bônzman, T: nhiệt độ khối chất

Ví dụ : Nước ở nhiệt độ thường, $\tau_0 \approx 10^{-13} \text{ s}$ và $\bar{\tau} \approx 10^{-11} \text{ s}$ như vậy một phân tử nước dao động cỡ 100 lần quanh một VTCB rồi dịch đi nơi khác.

Chất lỏng có độ nhớt càng cao thì $\bar{\tau}$ càng lớn, có thể đến vài ngày, từ đó chất lỏng có thể chảy từ nơi này qua nơi khác, mỗi chất có độ linh động khác nhau

Chất lỏng có cấu trúc trật tự trong một phạm vi hẹp kích thước bé cỡ vài lần lớn hơn kích thước phân tử, cấu trúc đó gọi là cấu trúc trật tự gần, trong phạm vi này cấu trúc chất lỏng giống như cấu trúc chất rắn. Ở phạm vi lớn, chất lỏng lại có cấu trúc lộn xộn không trật tự giống như chất khí.

8.2 CÁC HIỆN TƯỢNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

Chất khí luôn chiếm toàn bộ thể tích bình chứa nên không có mặt thoáng, còn chất lỏng có thể tích xác định nên có mặt thoáng, là mặt phân cách giữa thể tích khối

chất và phần còn lại. Các phân tử nằm ở mặt thoáng (mặt ngoài) có những đặc điểm rất riêng khác với các phân tử nằm trong lòng khối chất. Từ đó chúng gây nên các hiện tượng mặt ngoài của chất lỏng.

8.2.1 Áp suất phân tử

8.2.1.1 Hình cầu tác dụng

Các phân tử chất lỏng ở khá gần nhau, lực tương tác phân tử là lực hút; lực này giảm nhanh khi khoảng cách r tăng. Do vậy khi xét lực hút gây bởi các phân tử lỏng lên một phân tử M thì ta chỉ chú ý đến các phân tử nằm cách M một khoảng không quá xa.

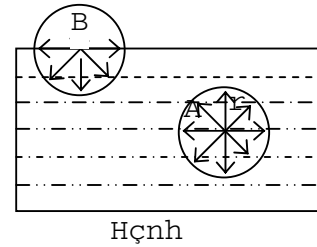
Gọi r là khoảng cách lớn nhất mà các phân tử khác còn ảnh hưởng đáng kể đến M . Từ M vẽ một mặt cầu tâm M bán kính r được gọi là mặt cầu tác dụng phân tử; r là bán kính tác dụng phân tử (cỡ 10-9m); chỉ có những phân tử nào có tâm nằm trong mặt cầu này thì mới tương tác với phân tử M .



8.2.1.2 Áp suất phân tử

Xét hai phân tử A và B mà A nằm hoàn toàn trong khối chất lỏng; còn B nằm gần mặt thoáng.

Do A nằm cách xa mặt thoáng nên mặt cầu tác dụng của A nằm hoàn toàn trong lòng khối chất, từ đó phân tử A bị hút đều về mọi hướng, lực hút tổng hợp tác dụng lên A là $f = 0$; A ở cân bằng.



Đối với phân tử B nằm gần mặt thoáng, khoảng cách từ B đến mặt thoáng là d ($d < r$). Thì mặt cầu tác dụng của B không nằm hoàn toàn trong khối chất. Lực hút do các phân tử quanh B tác dụng lên B không cân bằng, từ đó lực tổng hợp tác dụng lên B là lực \vec{f} hướng vào trong lòng khối chất lỏng; các phân tử nằm ở lớp mặt ngoài cũng chịu một lực \vec{f} như thế. Lớp phân tử này ép lên phân tử chất lỏng bên trong và gây ra một áp suất gọi là **áp suất phân tử**.

8.2.1.3 Đặc điểm

Áp suất phân tử không tác dụng lên vật đặt trong chất lỏng, vì rằng lớp chất lỏng bao quanh vật cũng chính là lớp mặt ngoài, ở đó lực hướng vào trong khối chất lỏng chứ không hướng vào vật; nên không thể đo được áp suất phân tử bằng dụng cụ thí nghiệm.

Áp suất phân tử có giá trị rất lớn; một cách gần đúng ta có thể tính được áp suất phân tử bằng lý thuyết theo công thức (7.4) $p_i = \frac{a}{V^2}$. Kết quả:

- Đối với nước: $p_i \approx 11.000\text{atm}$

- Đối với rượu etylic: $p_i \approx 2400\text{atm}$

Dù áp suất phân tử rất lớn nhưng nó không thể nén các phân tử lỏng sát lại được vì khi khoảng cách 2 phân tử nhỏ hơn r_0 thì lại xuất hiện lực tương tác đẩy cũng rất lớn. Điều này cũng giải thích tại sao chất lỏng rất khó nén, để nén được chất lỏng thì áp suất ngoài đặt lên nó phải tương đương với áp suất phân tử.

Các phân tử lỏng ở lớp mặt ngoài chịu tác dụng của áp suất phân tử hướng vào trong nên nó có khuynh hướng di chuyển vào trong lòng khối chất lỏng; trạng thái của các phân tử ở lớp mặt ngoài rất riêng như có: năng lượng mặt ngoài, lực căng mặt ngoài...

8.2.2 Năng lượng mặt ngoài

Xét lại trường hợp của 2 phân tử A, B; về mặt năng lượng.

- Đối với phân tử B ở lớp mặt ngoài:

$$W(B) = Wđ(B) + Wt(B) \\ = \text{tổng động năng chuyển động nhiệt} + \text{thế năng tương tác}$$

- Đối với phân tử A nằm trong lòng khối chất:

$$W(A) = Wđ(A) + Wt(A)$$

Nếu nhiệt độ của cả khối $T = \text{const}$ thì:

$$Wđ(A) = Wđ(B) = \dot{G} \text{ còn:}$$

$Wt(A) < Wt(B)$ vì thế năng tương tác $Wt(A)$ ứng với lực hút phân tử tổng hợp $f = 0$; còn $Wt(B)$ ứng với lực hút phân tử $f \neq 0$.

Từ đó năng lượng $W(B) > W(A)$ tức là phân tử chất lỏng ở lớp mặt ngoài có năng lượng lớn hơn phân tử ở bên trong lòng khối chất lỏng; chính sự chênh lệch năng lượng này hình thành năng lượng mặt ngoài của khối chất lỏng.

Số phân tử lớp mặt ngoài càng nhiều thì năng lượng mặt ngoài càng lớn, vì vậy năng lượng mặt ngoài tỷ lệ với diện tích mặt ngoài.

Gọi ΔE , ΔS : là năng lượng và diện tích mặt ngoài. Ta có:

$$\Delta E = \alpha \Delta S \quad (8.2)$$

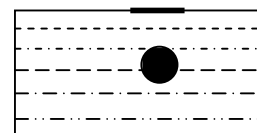
α : hệ số tỉ lệ được gọi là hệ số suất căng mặt ngoài

Trong hệ SI: $\alpha[\text{j/m}^2]$

+ Hình dạng mặt ngoài:

Ta biết rằng một hệ luôn có khuynh hướng thu về vị trí cân bằng; ở đó thế năng đạt cực tiểu; chất lỏng cũng vậy: nó luôn có khuynh hướng tiến về vị trí cân bằng bên; ở đó diện tích mặt ngoài bé nhất, ứng với năng lượng mặt ngoài bé nhất.

Ví dụ : nhỏ một giọt dầu vào nước, giọt dầu nổi trên mặt nước, do tác dụng của trọng lực giọt dầu bị dẹt lại. Pha thêm vào nước một ít cồn, tỉ trọng của dung dịch còn giảm



Hình
2.5

dần, giọt dầu chìm dần đến khi tỉ trọng của dung dịch bằng tỉ trọng của dầu, trọng lượng của giọt dầu cân bằng với lực đẩy Archimede, giọt dầu lơ lửng trong dung dịch, khi đó nó có dạng hình cầu (cấu hình mà diện tích mặt ngoài GS bé nhất ứng với năng lượng mặt ngoài bé nhất).

Từ đó :Nếu không chịu tác dụng của trường lực ngoài, thì một khối chất lỏng tự do sẽ thu về dạng hình cầu. Mặt ngoài của khối chất sẽ có dạng một màng căng.

8.2.3 Lực căng mặt ngoài

8.2.3.1 Lực căng mặt ngoài

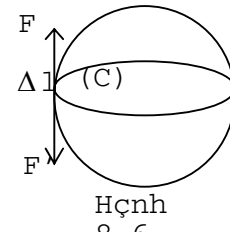
Giả sử một màng cao su được căng ra dưới tác dụng của ngoại lực. Khi đó ngoại lực phải có phương tiếp tuyến với màng; có chiều: ngược chiều với chiều co lại của màng.

Tương tự, khi mặt ngoài của chất lỏng có dạng một mặt căng thì trên mặt ngoài của chất lỏng có lực căng; lực căng mặt ngoài có tác dụng làm diện tích mặt ngoài bị co lại sao cho nó có giá trị bé nhất. Từ đó đặc điểm của lực căng mặt ngoài như sau:

- Tiếp tuyến với mặt ngoài.
- Vuông góc với đường cong Γ vạch trên mặt ngoài.
- Độ lớn tỉ lệ với Γ

$$\Delta F = \alpha \Delta l \quad (8.3)$$

α : Hệ số căng mặt ngoài (hay suất căng mặt ngoài).



8.2.3.2 Thí nghiệm xác định lực căng mặt ngoài

Một khung dây thép có cạnh $MN = l$ có thể dịch chuyển được. Nhúng khung dây vào nước xà phòng rồi lấy ra ta được 1 màng xà phòng (có 2 lớp) hình chữ nhật.

Nếu để tự nhiên thì màng xà phòng sẽ co lại; để giữ cho màng xà phòng khỏi co lại ta cần tác dụng lên MN 1 lực \vec{F} có độ lớn bằng lực căng mặt ngoài

Tương tự dưới tác dụng của lực \vec{G} làm cạnh MN dịch một đoạn Δx bé. Khi đó diện tích mặt ngoài tăng lên $\Delta S = 2l \cdot \Delta x$

Công của dịch chuyển : $\Delta A = F \cdot \Delta x$

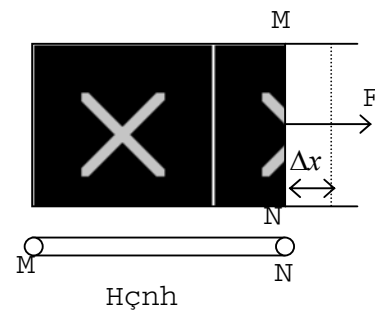
Do mặt ngoài tăng, nên năng lượng mặt ngoài tăng

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S = 2\alpha l \cdot \Delta x$$

Theo BTĐNL công dịch chuyển bằng độ tăng năng lượng mặt ngoài:

$$\Rightarrow \Delta A = \Delta E \Rightarrow F \cdot \Delta x = 2\alpha l \Delta x$$

$$\Rightarrow F = 2 \cdot \alpha \cdot l$$



Tổng quát: lực căng mặt ngoài tác dụng lên một đoạn chu vi Δl của mặt ngoài là : $\Delta F = \alpha \Delta l$ (8.4)

Từ đó: $\alpha = \frac{\Delta F}{\Delta l} \left(\frac{N}{m} \right)$ (8.5)

- Hệ số suất căng mặt ngoài có độ lớn bằng lực căng tác dụng lên một đơn vị đường chu vi của mặt ngoài.

Hệ số α của một chất lỏng cho trước phụ thuộc vào nhiệt độ, khi nhiệt độ tăng α giảm.

8.2.4 Một số hiện tượng gây bởi lực căng mặt ngoài

8.2.4.1 Sự nhỏ giọt

Đổ chất lỏng qua ống khá nhỏ, chất lỏng không chảy thành dòng mà thành từng giọt.

- Giải thích:

Khi khối lỏng bắt đầu chảy ra khỏi miệng ống, giọt nước có trọng lượng bé nên bị màng mặt ngoài giữ lại, tạo thành một giọt phồng to dần và bị thắt lại ở miệng ống. Khi trọng lượng giọt đủ lớn thắng được lực căng mặt ngoài tác dụng lên đường kính chu vi vòng thắt ở miệng ống thì chỗ thắt bị đứt, giọt chất lỏng rơi xuống và giọt khác được hình thành; trọng lượng các giọt đều bằng nhau.



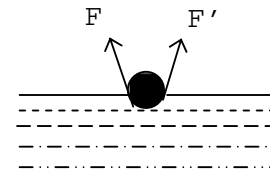
Hình 8.8

8.2.4.2 Kim nổi trên mặt nước

Một kim khâu bôi dầu được đặt nhẹ nhàng trên mặt nước, khi đó kim nổi trên mặt nước dù rằng khối lượng riêng của kim lớn hơn khối lượng riêng của nước rất nhiều.

- Giải thích:

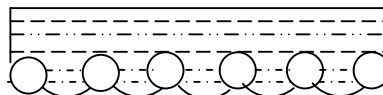
Do kim khâu dính dầu nên không bị làm ướt, mặt nước chỗ đặt kim bị lõm xuống, làm xuất hiện lực căng mặt ngoài tại mép ngoài chỗ tiếp giáp giữa kim và nước, lực này có tác dụng kéo kim khâu lên phía trên, làm kim có khả năng nổi trên mặt nước.



Hình 8.9

8.2.4.3 Đổ nước trên tấm lưới

Có thể đổ nước chảy trên một tấm lưới có lỗ nhỏ mà nước không bị rỉ qua các lỗ nhỏ của lưới. Điều này do lực căng mặt ngoài của màng nước bám dưới lưới gây nên (tương tự như hiện tượng nước chảy thành giọt).



Hình

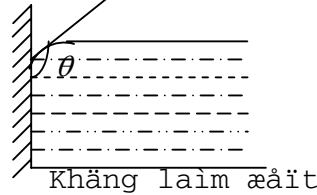
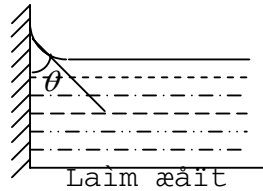
8.3 HIỆN TƯỢNG DÍNH ƯỚT VÀ KHÔNG DÍNH ƯỚT

8.3.1 Hiện tượng

Đựng chất lỏng trong một bình rắn, chỗ tiếp giáp giữa chất lỏng và thành bình bị cong lên hoặc cong xuống có dạng khum mà không thẳng góc với thành bình.

-Nếu chất lỏng làm ướt bình ta có mặt khum lõm.

-Nếu chất lỏng không làm ướt bình ta có mặt khum lồi



Hình
0 11

+ **Góc bờ** : Góc hợp bởi thành bình và tiếp tuyến với mặt thoáng chất lỏng ở chỗ tiếp giáp được gọi là góc bờ θ .

nếu: $\theta < \frac{\pi}{2}$: Chất lỏng làm ướt thành bình

$\theta > \frac{\pi}{2}$: Chất lỏng không làm ướt thành bình

$\theta = 0$: Chất lỏng làm ướt hoàn toàn thành bình

$\theta = \pi$: Chất lỏng không làm ướt hoàn toàn thành bình

Ví dụ: Thủy tinh bị nước làm ướt nhưng không bị thủy ngân làm ướt.

8.3.2 Giải thích

Một phân tử chất lỏng ở chỗ tiếp giáp với thành bình chịu tác dụng của lực hút phân tử \vec{F}_1 của phân tử lỏng lên nó, đồng thời nó cũng chịu tác dụng lực hút phân tử \vec{F}_2 của phân tử thành bình. mà:

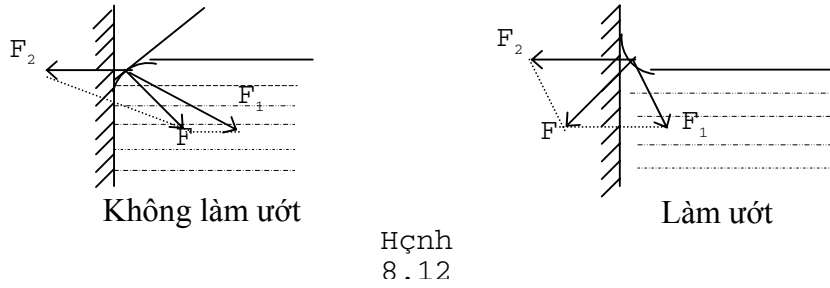
\vec{F}_1 : Có phương theo đường phân giác của góc bờ θ .

\vec{F}_2 : Có phương vuông góc với thành bình.

Lực tổng hợp tác dụng lên phân tử : $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ (Ở đây ta đã bỏ qua lực hút của các phân tử khí ở phía trên mặt thoáng, vì lực này bé so với hai lực F_1, F_2)

Nếu $F_1 > F_2$: lực tổng hợp \vec{F} hướng về khối chất lỏng làm phân tử tại chỗ tiếp giáp dịch theo thành bình xuống phía dưới, tạo nên mặt khum có dạng lõm, ta có hiện tượng không làm ướt. Ngược lại:

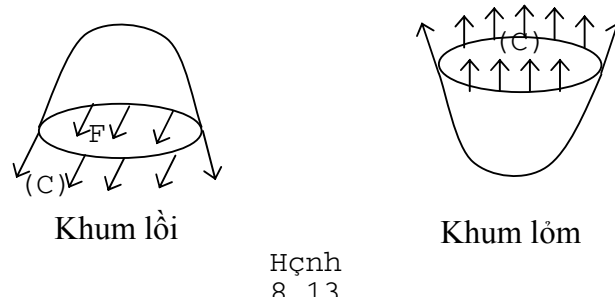
Nếu $F_1 < F_2$: lực tổng hợp \vec{F} hướng về phía thành bình làm phân tử lỏng ở đó dịch lên phía trên cho đến khi F vuông góc mặt thoáng ta có hiện tượng làm ướt.



8.4 HIỆN TƯỢNG MAO DẪN

8.4.1 Áp suất phụ

Do hiện tượng làm ướt hoặc không làm ướt nên mặt ngoài của chất lỏng đứng trong ống có kích thước bé có dạng mặt khum lồi hoặc khum lõm.



+ **Áp suất phụ:** lớp mặt ngoài chất lỏng giống như một màng căng, nó luôn có khuynh hướng trở về dạng phẳng. Từ đó phần chất lỏng ở dưới mặt khum chịu tác dụng 1 áp suất phụ Δp . Ta tính áp suất Δp :

- Xét trường hợp mặt khum là một mặt cầu lồi (chòm cầu) bán kính R , bán kính đáy r (khẩu kính); chu vi đáy $(C) = 2\pi r$

Để tính Δp , ta chia (C) thành nhiều phần tử nhỏ Δl mỗi phần tử chịu tác dụng một lực căng ΔF vuông góc với Δl , tiếp xúc với mặt cong và có độ lớn:

$$\Delta F = \alpha \Delta l$$

Phân tích ΔF thành hai thành phần:

ΔF_1 thẳng đứng, ΔF_2 nằm ngang

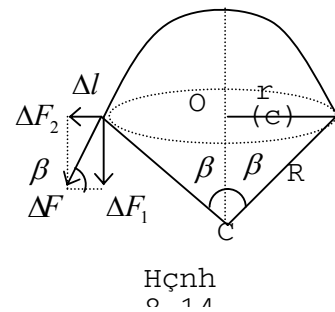
$$\vec{\Delta F} = \Delta \vec{F}_1 + \Delta \vec{F}_2$$

Do tính đối xứng của (C) qua O . Mỗi phần tử Δl có phần tử đối xứng $\Delta l'$, phần tử này cũng chịu 1

lực căng $\vec{\Delta F}' = \Delta \vec{F}'_1 + \Delta \vec{F}'_2$

Để thấy rằng: $\Delta \vec{F}'_1 = \Delta \vec{F}'_2$. Do vậy lực căng tổng hợp theo phương ngang luôn bằng 0. Từ đó lực căng mặt ngoài tác dụng lên (C) là

$$F = \sum \Delta F_1 = \sum \Delta F \sin \beta = \sum \alpha \Delta l \sin \beta = \sum \alpha \Delta l \frac{r}{R}$$



$$= \frac{\alpha.r}{R} \sum \Delta l = \frac{\alpha.r}{R} . 2\pi.r = \frac{2\pi.\alpha.r^2}{R}$$

Lực căng này tác dụng lên diện tích đáy $S = \pi.r^2$ của khum lồi. Vậy áp suất phụ gây bởi lực căng mặt ngoài là :

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{2\alpha}{R} \quad (8.6)$$

Trường hợp này tâm C của mặt cầu nằm trong khối chất lỏng, áp suất phụ nén lên khối chất lỏng được gọi là áp suất phụ dương.

Nếu mặt khum là mặt lõm, tâm C nằm ngoài khối chất lỏng, áp suất phụ hướng ra ngoài khối lỏng làm giảm áp suất ngoài lên khối lỏng nên được gọi là áp suất phụ âm.

$$\Delta p = -\frac{2\alpha}{R} \quad (8.7)$$

Nếu qui ước: bán kính mặt cầu lồi : $R > 0$

bán kính mặt cầu lõm: $R < 0$

Thì công thức tính áp suất phụ :

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R} \quad (8.8)$$

- Trường hợp mặt khum có dạng bất kỳ:

Laplace (Laplaxơ) đã chứng minh công thức sau:

$$\Delta p = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (8.9)$$

Trong đó Δp : áp suất phụ tại M

R_1, R_2 là bán kính cong của hai giao tuyến cong có được, khi mặt khum bị cắt bởi hai mặt phẳng vuông góc nhau, và chứa pháp tuyến với mặt khum tại M.

Qui ước về dấu của Δp ; R_1, R_2 vẫn như ở trên.

8.4.2 Hiện tượng mao dẫn

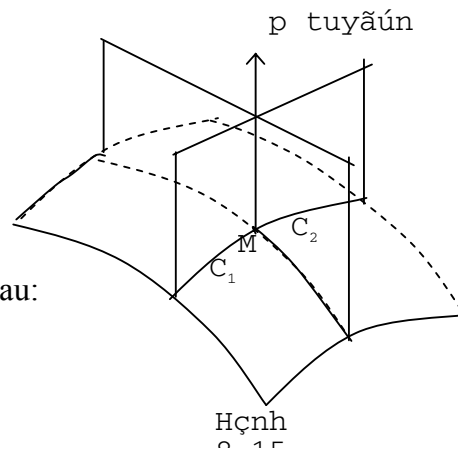
8.4.2.1 Hiện tượng

Lấy một ống thủy tinh có bán kính r bé nhúng vào trong chất lỏng, thực nghiệm cho thấy mực chất lỏng trong ống chênh lệch với mực chất lỏng ở bên ngoài.

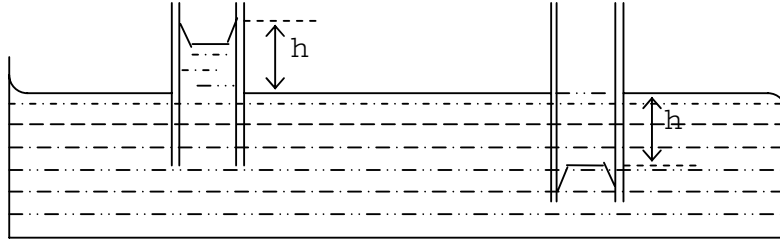
Nếu :

- Chất lỏng làm ướt thủy tinh thì mực chất lỏng trong ống dâng cao hơn bên ngoài.

- Chất lỏng không làm ướt thủy tinh thì mực chất lỏng trong ống hạ thấp hơn bên ngoài.



Vậy : Hiện tượng chất lỏng trong ống mao quản dâng lên hay hạ xuống gọi là hiện tượng mao dẫn.



Hình
8.16

8.4.2.2 Giải thích

Nguyên nhân gây hiện tượng mao dẫn là do tác dụng của áp suất phụ dưới mặt khum trong ống mao quản, theo (8.8) : $\Delta p = \frac{2\alpha}{R}$

- Nếu mặt khum lõm: $R < 0 \Rightarrow \Delta p < 0$ áp suất phụ hướng lên trên làm chất lỏng trong ống bị đẩy lên trên.

- Nếu mặt khum lồi $R > 0 \Rightarrow \Delta p > 0$ áp suất phụ hướng xuống dưới, nó nén cột chất lỏng trong ống thấp xuống.

8.4.2.3 Công thức tính độ chênh lệch giữa hai mực chất lỏng

Giả sử do mao dẫn làm mực chất lỏng dâng lên trong ống. Xét hai điểm M, N trên cùng một mặt ngang như hình vẽ. N nằm ở mặt thoáng bên ngoài ống nên không chịu áp suất phụ, nó chỉ chịu áp suất khí quyển $p_N = H$.

M nằm trong ống nên vừa chịu áp suất khí quyển vừa chịu áp suất phụ Δp và cả áp suất thủy tĩnh gây bởi cột chất lỏng chiều cao h.

$$p_M = H + \rho h \cdot g + \Delta p$$

Do M, N cùng nằm trên mặt ngang nên :

$$p_M = p_N \text{ nên } H + \rho h \cdot g + \Delta p = H$$

$$\Rightarrow h = -\frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{2\alpha}{\rho \cdot g \cdot R} \quad \text{do: } R = \frac{r}{\cos \theta}$$

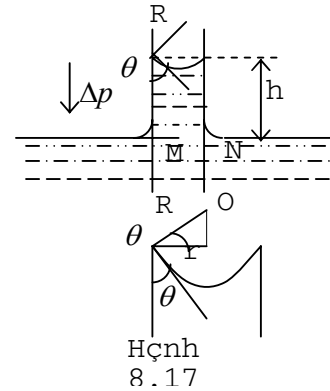
$$\text{Nên : } h = \frac{2\alpha \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g} \quad (8.10)$$

với θ : góc bờ.

ρ : Khối lượng riêng chất lỏng

g : Gia tốc trọng trường.

Công thức gọi là công thức Juyranh. Ta thấy h càng lớn nếu r càng bé tức tiết diện ống mao quản càng bé.



Hình
8.17

Trường hợp không làm ướt thành bình: mặt khum trong ống là mặt lồi; góc mép $\theta > \frac{\pi}{2}$ nên $h < 0$ chất lỏng trong ống hạ thấp xuống hẳn mặt thoáng bên ngoài.

Hiện tượng mao dẫn thường gặp trong đời sống như dầu hỏa thấm thấu vào bát đèn duy trì ngọn lửa của đèn; giấy thấm hút mực; nhựa nguyên được đẩy lên cao trong thân cây do nhựa nguyên làm ướt mao quản.

8.5 ÁP SUẤT THẨM THẤU

8.5.1 Dung dịch loãng

- Dung dịch: khi chất rắn hòa tan trong chất lỏng thành một môi trường đồng nhất được gọi là dung dịch.

Ví dụ: Đường + nước \rightarrow dung dịch đường.

Chất lỏng được gọi là dung môi, chất rắn được gọi là chất hòa tan.

Thông thường dung dịch không là một hỗn hợp vì trong quá trình hòa tan thì dung môi và chất hòa tan tương tác nhau. Tuy vậy trường hợp lượng chất hòa tan là ít thì có thể bỏ qua tương tác giữa dung môi và chất hòa tan, ta có dung dịch loãng là hỗn hợp đồng nhất.

Người ta cho rằng đối với dung dịch loãng, có thể coi tập hợp các phân tử chất hòa tan trong dung dịch như là “khí”, nó cũng tác dụng lên thành bình 1 áp suất như áp suất riêng phần của mỗi khí trong hỗn hợp.

8.5.2 Áp suất thẩm thấu

Tương tự động năng tịnh tiến TB của phân tử khí, động năng tịnh tiến TB của 1 phân tử chất hòa tan:

$$\overline{W_a} = \frac{3}{2}kT$$

Áp suất do các phân tử này gây nên trên thành bình cũng được tính theo công thức :

$$p = \frac{2}{3}n_0\overline{W_a} \quad n_0 : \text{mật độ phân tử chất hòa tan}$$

Vậy:

$$p = \frac{2}{3}n_0 \times \frac{3}{2}kT = n_0kT \quad (8.11)$$

P : Gọi là áp suất thẩm thấu.

+ **Thực nghiệm:** Một bình chữ U ở giữa có vách ngăn bán thấm K, vách bán thấm chỉ cho nước đi qua mà không cho phân tử chất hòa tan đi qua.

Đổ nước vào bình chữ U, mực nước hai ống của chữ U bằng nhau. Cho chất hòa tan vào A (đường chẳng hạn), thực nghiệm cho thấy rằng khi đó mực chất lỏng trong hai ống chênh nhau, chất lỏng trong A cao hơn trong B.

Vậy: Hiện tượng chênh lệch mặt thoáng dung dịch so với mặt thoáng của dung môi trong một bình thông nhau ngăn cách bởi một vách bán thấm được gọi là hiện tượng thẩm thấu.

+ **Giải thích:** Chất lỏng được coi như là một chất khí rất đặc mà:

- . Dung môi : chất khí A có mật độ phân tử n_{0A}
- . Chất hòa tan: chất khí B có mật độ phân tử n_{0B}
- . Dung dịch: là một hỗn hợp của khí A và khí B.

Áp suất do dung dịch tác dụng lên vách bán thấm:

$$p_1 = (n_{0A} + n_{0B}) \cdot \frac{2}{3} \overline{W_a}$$

Áp suất do dung môi (nước) tác dụng lên K ở ngăn B:

$$p_2 = n_{0A} \cdot \frac{2}{3} \overline{W_a}$$

Chênh lệch áp suất ở hai mặt vách bán thấm là:

$$p_1 - p_2 = n_{0B} \cdot \frac{2}{3} \overline{W_a} = \text{áp suất thẩm thấu } p_{th}$$

Chênh lệch áp suất này gây nên sự chênh lệch của mặt thoáng trong hai ống. Từ đó độ chênh áp suất thủy tĩnh (đ) chính là áp suất thẩm thấu

8.5.3 Công thức Van- tơ- hốp (Van't Hoff)

Dựa vào sự giống nhau giữa dung dịch loãng và khí lý tưởng. Vantohốp đã tính áp suất thẩm thấu theo phương trình Clapeyron của khí lý tưởng:

$$p_{th} \cdot V = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p_{th} = \frac{\frac{m}{\mu} RT}{V} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{m}{V} \cdot RT$$

Vậy: C (8.12)

Với : $C = \frac{m}{V}$: nồng độ dung dịch.

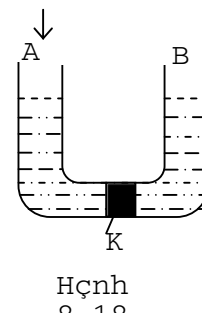
μ : khối lượng 1k.mol chất hòa tan.

V : thể tích dung dịch.

Công thức được gọi là công thức Vantohốp; chỉ áp dụng được cho dung dịch loãng và chất hòa tan không bị phân ly trong dung dịch.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ1: Khi các giọt nước có đường kính $d_1 = 2 \cdot 10^{-3}$ mm tụ lại thành giọt nước lớn có đường kính $d_2 = 2$ mm thì:



a. Năng lượng tỏa ra bao nhiêu?

b. Nước nóng lên mấy độ?

Cho biết hệ số sức căng mặt ngoài của nước là $\alpha = 0,073 \text{ N/m}$.

Giải :

a. Gọi n là số giọt nước tụ lại để thành 1 giọt nước lớn;

n giọt nước nhỏ có diện tích mặt ngoài là: $S_1 = n.4\pi.r_1^2$

và có năng lượng mặt ngoài là : $E_1 = \alpha.S_1 = \alpha.n.4.\pi.r_1^2$

- Giọt nước lớn có diện tích mặt ngoài là: $S_2 = 4.\pi.r_2^2$

và có năng lượng mặt ngoài là : $E_2 = \alpha.S_2 = \alpha.4.\pi.r_2^2$

Khi n giọt nước nhỏ tụ thành một giọt nước lớn thì năng lượng mặt ngoài đã thay đổi một lượng là:

$$\Delta E = E_1 - E_2 = \alpha.(S_1 - S_2) = 4\pi\alpha(n.r_1^2 - r_2^2) \quad (1)$$

Vì tổng thể tích của n giọt nước nhỏ bằng thể tích của giọt nước lớn nên:

$$n.\frac{4}{3}\pi.r_1^3 = \frac{4}{3}\pi.r_2^3 \text{ do đó } n = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3$$

Thay n vào (1) ta có :

$$\Delta E = 4\pi.\alpha.r_2^2\left(\frac{r_2}{r_1} - 1\right) = \pi.\alpha.d_2^2\left(\frac{d_2}{d_1} - 1\right)$$

Vì $\frac{d_2}{d_1} > 1$ nên $\Delta E > 0$ điều đó chứng tỏ quá trình trên giải phóng năng lượng.

Năng lượng giải phóng:

$$\Delta E = 3,14.0,073(2.10^{-3})^2\left(\frac{2.10^{-3}}{2.10^{-6}} - 1\right) = 9.10^{-4} \text{ J}$$

b- Phần năng lượng được giải phóng do sự giảm diện tích mặt ngoài sẽ làm nóng giọt nước lên ΔT độ mà:

$$\Delta E = Q = m.c.\Delta T$$

Trong đó m là khối lượng giọt nước lớn, c là nhiệt dung riêng của nước:

$$m = \frac{4}{3}\pi.r_2^3.\rho \quad (\rho \text{ là khối lượng riêng của nước})$$

$$\text{Vậy : } \Delta T = \frac{3\Delta E}{3\pi.r_2^3.\rho.c} \quad c = 1 \text{ kcal/kg độ} = 4,18.10^3 \text{ J/kg độ}$$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{3.9.10^{-4}}{4,314(10^{-3})^3.10^{-3}.4,18.10^3} = 0,05^\circ$$

Thí dụ 2 : Hiệu mức nước trong 2 nhánh của ống mao dẫn hình chữ U có đường kính trong lần lượt là $d_1 = 1\text{mm}$ và $d_2 = 2\text{mm}$ bằng $\Delta h = 1,4\text{cm}$ (hình vẽ). Xác định hệ số sức căng mặt ngoài của nước. Xem nước làm ướt hoàn toàn thành ống.

Giải :

Vì nước làm ướt thành ống nên mức nước trong thành nhỏ của ống mao dẫn hình chữ U cao hơn mức nước trong nhánh lớn là Δh , các mặt khum của nước ở các nhánh này là mặt lõm.

Lấy điểm B sát dưới mặt khum của nhánh lớn và điểm A ở nhánh nhỏ của ống mao dẫn sao cho A và B cùng nằm trong một mặt phẳng nằm ngang.

Khi cột nước trong ống đã thẳng bằng thì: $p_A = p_B$

$p_A =$ áp suất khí quyển + áp suất phụ gây bởi mặt khum + áp suất gây bởi cột nước Δh .

$p_A = p_0 - \Delta p_1 + \rho \cdot g \Delta h$ (vì mặt khum lõm nên áp suất phụ gây bởi mặt khum mang dấu âm).

$p_B =$ áp suất khí quyển + áp suất phụ gây bởi mặt khum. $= p_0 - \Delta p_2$

Do: $p_B = p_A$ nên: $p_0 - \Delta p_2 = p_0 - \Delta p_1 + \rho \cdot g \Delta h$

$$\text{Hay: } \rho \cdot g \Delta h = \Delta p_1 - \Delta p_2 = \frac{2\alpha}{r_1} - \frac{2\alpha}{r_2} = 2\alpha \left(\frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2} \right)$$

$$\text{Từ đó: } \alpha = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_1 \cdot d_2}{4(d_2 - d_1)} = \frac{10^3 \cdot 9,81 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot (2 \cdot 10^{-3} - 10^{-3})} \approx 0,073 \text{N/m}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

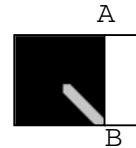
CHƯƠNG VIII : CHẤT LỎNG

Bài 8.1: Tính công cần thiết để thổi một bong bóng xà phòng đạt đến bán kính $r = 7\text{cm}$. Biết hệ số căng mặt ngoài của nước xà phòng là $\alpha = 4 \cdot 10^{-2} \text{N/m}$. Áp suất khí quyển $p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$.

$$\text{ĐS: } 8,2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Bài 8.2: Một cái khung làm bằng những đoạn dây kim loại cứng. Đoạn dây AB linh động, dài $l = 15\text{cm}$. Khung được phủ một màng xà phòng có hệ số sức căng mặt ngoài $\alpha = 0,045 \text{N/m}$ (hình).

Tính công cần thực hiện để kéo AB ra một đoạn $\Delta x = 4\text{cm}$



$$\text{ĐS: } 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Bài 8.3: Để xác định sức căng mặt ngoài của rượu, người ta làm như sau: cho rượu trong một cái bình chảy nhỏ giọt ra ngoài theo một ống nhỏ thẳng đứng có đường

kính 2mm. Thời gian giọt này rơi sau giọt kia là 2s. Người ta thấy rằng sau thời gian 780s thì có 10g rượu được chảy ra. Tính hệ số sức căng mặt ngoài của rượu; coi chỗ thắt của giọt rượu khi nó bắt đầu rơi có đường kính bằng đường kính ống nhỏ giọt.

$$\text{ĐS: } 4 \cdot 10^{-4} \text{ N/m}$$

Bài 8.4: Hai ống mao dẫn lần lượt có đường kính bần 0,5mm và 1mm nhúng vào 1 bình đựng chất lỏng. Tính hiệu các mực chất lỏng trong hai ống mao dẫn nếu:

a. Chất lỏng là nước.

b. Chất lỏng là thủy ngân.

Hệ số căng mặt ngoài của nước và thủy ngân lần lượt là $\alpha_1 = 0,073\text{N/m}$, $\alpha_2 = 0,5\text{N/m}$, khối lượng riêng của nước và thủy ngân là 1000kg/m^3 và 13600kg/m^3

$$\text{ĐS: } 3\text{cm}, 1,5\text{cm}$$

Bài 8.5: Có hai tấm thủy tinh phẳng đặt song song cách nhau một khoảng $d = 0,2\text{mm}$ nhúng thẳng đứng vào một chất lỏng. Xác định khối lượng riêng của chất lỏng nếu biết chiều cao khối chất lỏng giữa hai tấm thủy tinh dâng lên một đoạn $h = 3,24\text{cm}$, hệ số sức căng mặt ngoài của chất lỏng là $\alpha = 0,027\text{N/m}$. Xem chất lỏng làm ướt hoàn toàn thủy tinh.

$$\text{ĐS: } 849\text{kg/m}^3$$

Bài 8.6: Cần phải dùng một lực bằng bao nhiêu để nâng một vòng nhôm đặt nằm ngang trong nước có đường kính trong $d_1 = 50\text{mm}$, đường kính ngoài $d_2 = 52\text{mm}$, chiều cao $h = 100\text{mm}$ ra khỏi mặt nước ?. Biết khối lượng riêng của nhôm là $D = 2,8\text{g/cm}^3$, hệ số sức căng mặt ngoài của nước $\alpha = 0,073\text{N/m}$. Có bao nhiêu phần trăm lực cần tìm ở trên đã dùng để thắng sức căng mặt ngoài của nước?.

$$\text{ĐS: } 6,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}; 18\%$$

Bài 8.7: Hiệu mực nước trong hai nhánh của ống mao dẫn hình chữ U có đường kính trong lần lượt là $d_1 = 1\text{mm}$ và $d_2 = 2\text{mm}$ bằng $\Delta h = 1,4\text{cm}$. Xác định hệ số sức căng mặt ngoài của nước làm dính ướt hào toàn thành ống.

$$\text{ĐS: } 0,073\text{N/m}$$

Bài 8.8: Hai giọt thủy ngân có bán kính mỗi giọt 1mm nhập lại thành một giọt lớn. Hỏi nhiệt độ của thủy ngân tăng lên bao nhiêu ?. Cho biết thủy ngân có hệ số sức căng mặt ngoài $\alpha = 0,5\text{N/m}$, khối lượng riêng $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, nhiệt dung riêng $c = 0,138\text{J/kg} \cdot \text{Độ}$.

$$\text{ĐS: } 1,64 \cdot 10^{-4} \text{ độ}$$

CHƯƠNG IX :

CHẤT RẮN KẾT TINH

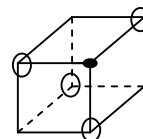
9.1 ĐẠI CƯƠNG VỀ CHẤT RẮN

9.1.1 Chất rắn kết tinh

9.1.1.1 Tinh thể

Đa phần chất rắn kết tinh có cấu tạo tinh thể, các hạt cấu thành luôn có khuynh hướng chiếm vị trí bền vững (khoảng cách 2 phân tử $r \approx r_0$) từ đó các hạt được sắp xếp trong không gian theo 1 cấu trúc hình học nhất định bền vững, hình thành nên tinh thể

Ví dụ: Tinh thể muối: dạng lập phương, ion Na^+ và Cl^- liên kết chặt chẽ nhau.



Hình
9.1

9.1.1.2 Tính dị hướng của tinh thể

Trong tinh thể tính chất vật lý theo những phương khác nhau là khác nhau, người ta gọi đó là tính dị hướng.

Ví dụ : Tinh thể than chì (Graphit) có cấu tạo theo lớp, nếu tách than chì theo lớp thì rất dễ nhưng tách theo mặt vuông góc với lớp thì rất khó.

Tính dẫn điện, dẫn nhiệt, khúc xạ ánh sáng...theo các hướng khác nhau cũng khác nhau; tất cả các tinh thể là dị hướng.

9.1.1.3 Phân loại

- Chất rắn đơn tinh thể là loại chất rắn cấu thành bởi 1 loại tinh thể.

Ví dụ: - Muối ăn: cục muối được tạo thành bởi tinh thể muối nhỏ có dạng lập phương.

- Chất rắn đa tinh thể là loại chất rắn được cấu thành bởi nhiều loại tinh thể khác nhau liên kết hỗn hợp lại mà thành. Do tính liên kết hỗn độn mà chất rắn đa tinh thể không có tính dị hướng, tính dị hướng của các tinh thể con bù trừ lẫn nhau làm vật rắn đa tinh thể có tính đẳng hướng; do đó nó có nhiệt độ nóng chảy nhất định, tính dẫn nhiệt, dẫn điện, giãn nở... giống nhau theo mọi phương.

9.1.2 Chất rắn vô định hình

Chất rắn vô định hình không có cấu trúc tinh thể; các hạt tạo thành phân bố hỗn độn bên trong khối chất.

Thực tế, ở trật tự gần (trong một phạm vi nhỏ) các hạt cũng được phân bố theo một trật tự nào đó, nhưng trật tự này không lan rộng khi xét trong phạm vi lớn, toàn bộ khối chất.

Ví dụ: Thủy tinh, nhựa thông...là loại chất rắn vô định hình.

+ Đặc điểm :

- Các tính chất vật lý của chất rắn vô định hình như tính dẫn điện, dẫn nhiệt, độ bền... là giống nhau theo mọi phương, từ đó vật rắn vô định hình có **tính đẳng hướng**.

- Vật rắn vô định hình không có nhiệt độ nóng chảy xác định, trong quá trình nóng chảy nhiệt độ biến đổi liên tục.

- Khi bẻ gãy 1 vật rắn vô định hình thì vết gãy trơn, rìa sắc cạnh, điều này hoàn toàn khác với vật rắn kết tinh.

- Dạng vô định hình của chất rắn kém bền vì thế năng tương tác phân tử lớn hơn thế năng tương tác ở dạng tinh thể nên nếu để lâu thì chất vô định hình có thể chuyển sang dạng tinh thể.

9.1.3 Tinh thể lỏng

Một số chất lỏng (hữu cơ) có tính chảy của chất lỏng, nhưng lại có tính lưỡng chiết của tinh thể, nên được gọi là tinh thể lỏng.

+ Đặc điểm:

- Về mặt cấu trúc: tinh thể lỏng vừa giống chất rắn ở trật tự gần, vừa giống chất lỏng ở trật tự xa.

- Tinh thể lỏng chỉ tồn tại ở một nhiệt độ nhất định. Khi nung nóng nó chảy thành chất lỏng; khi làm lạnh thì nó trở lại dạng tinh thể. Ví dụ: các mô sòng, xà phòng tan trong nước: là những tinh thể lỏng.

- Ở nhiệt độ, áp suất khác nhau; tinh thể lỏng có tính chất vật lý khác nhau

- Tùy theo cấu trúc tinh thể (dạng sợi, dạng lớp, dạng xoắn ốc) người ta phân tinh thể lỏng thành những loại khác nhau: Nematic, Smectic hoặc Cholextêric...

9.2 CẤU TRÚC TINH THỂ

9.2.1 Những loại mạng tinh thể

9.2.1.1 Các đặc trưng chung của mạng tinh thể

Về mặt hình học có thể coi tinh thể là một đa diện: một hình khối giới hạn bởi các mặt bờ.

+ Mạng tinh thể: Do liên kết phân tử giữa các hạt bên trong tinh thể được phân bố theo một trật tự nhất định, tuần hoàn theo cả 3 chiều trong không gian tạo thành mạng tinh thể chất rắn.

+ Các định nghĩa khác:

- Nút mạng: các hạt hình thành tinh thể nằm ở nút mạng

- Hàng mạng: nút mạng nằm trên một đường thẳng gọi là hàng mạng

- Mặt mạng: các nút mạng nằm trên một mặt phẳng gọi là mặt mạng

- Ô mạng: các mặt mạng chia cắt không gian thành những khối nhỏ giống hệt được gọi là ô mạng

- Ô mạng cơ sở: ô mạng nhỏ nhất phản ánh được cấu trúc toàn bộ mạng được gọi là ô mạng cơ sở.

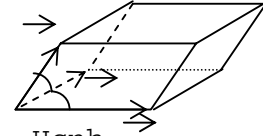
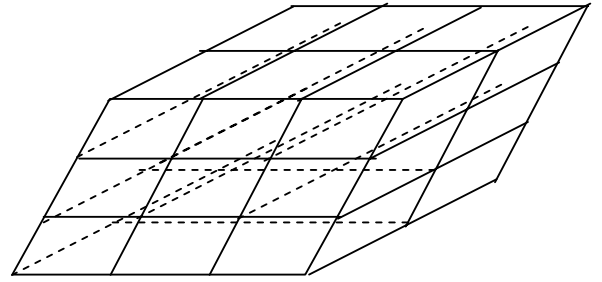
. \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} : ba vectơ cơ sở.

. Độ dài a, b, c : các chu kỳ mạng

. Các góc α, β, γ giữa các cặp vectơ

cơ sở : hằng số mạng.

Có thể tạo nên mạng tinh thể bằng cách dịch chuyển ô mạng cơ sở dọc theo 3 phương với khoảng dịch chuyển bằng các vectơ \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} .

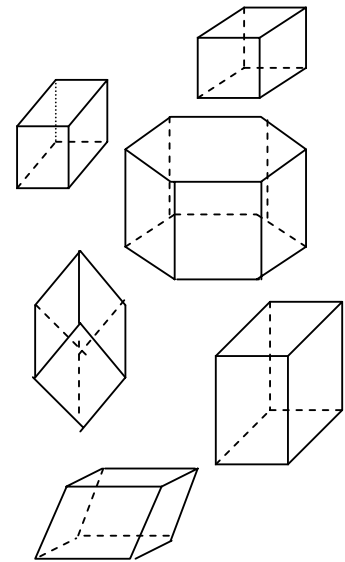


Hình 9.2

9.2.1.2 Phân loại mạng tinh thể

Nhà tinh thể học người Pháp Bravais cho rằng về cơ bản chỉ có 14 loại mạng tinh thể được đặc trưng bởi 14 ô mạng cơ sở khác nhau; 14 ô mạng này được xếp thành 7 hệ như sau :

TT	HỆ	GÓC	TRỤC
1	Lập phương	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$
2	Bốn phương	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$
3	Sáu phương	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\alpha = 120^\circ$	$a = b \neq c$
4	Mặt thoi	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b = c$
5	Trực thoi	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
6	Một nghiêng	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
7	Ba nghiêng	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$



Hình 9.3

Đa phần tinh thể của các nguyên tố hóa học thuộc hệ lập phương (35 nguyên tố), một số khác thuộc loại mạng sáu phương, trong đó có cacbon graphite (than chì).

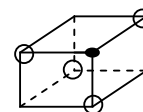
9.2.2 Những mạng vật lý

Ngoài sự khác biệt có tính hình học của mạng tinh thể, khi chú ý đến khía cạnh vật lý: bản chất các hạt tạo thành mạng, các lực tác dụng giữa chúng... người ta có thể chia tinh thể thành 4 loại :

9.2.2.1 Tinh thể ion

Các hạt ở nút mạng là các Ion dương hoặc âm, liên kết giữa chúng là liên kết Ion, gây bởi lực hút Culông. Từ đó các ion (+) và ion (-) được sắp xếp xen kẽ bó chặt nhau.

Ví dụ : Tinh thể NaCl (muối ăn). Các nút mạng được chiếm bởi Ion Na^+ hoặc Cl^- , tinh thể có dạng lập phương.



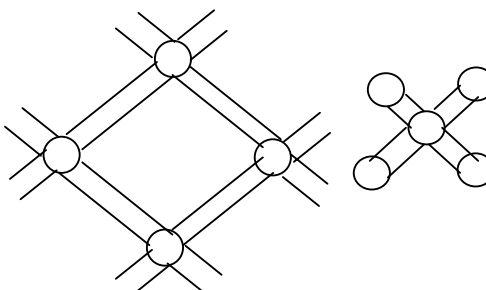
Hình
9.4

Nhiệt độ nóng chảy của tinh thể loại này thường cao; NaCl nóng chảy ở 800°C , KCl nóng chảy ở nhiệt độ 790°C .

9.2.2.2 Tinh thể nguyên tử

Các hạt ở nút mạng là các nguyên tử trung hòa, liên kết giữa chúng là liên kết cộng hóa trị, do sự góp chung các điện tử hóa trị mà nên.

Ví dụ: Germani, Silic, kim cương...:
có 4 e^- hóa trị cùng tham gia liên kết cộng hóa trị.



Hình
9.5

9.2.2.3 Tinh thể kim loại

Các nút mạng bị chiếm bởi các ion (+) còn khoảng không gian giữa chúng có các điện tử tự do. Liên kết trong tinh thể loại này được thực hiện bởi các electron tự do có vai trò xúc tác và chúng có thể di chuyển trong toàn tinh thể làm tinh thể dẫn điện tốt.

9.2.2.4 Tinh thể phân tử

Các nút mạng được chiếm bởi các phân tử trung hòa như: H_2 ; O_2 ; N_2 ; Cl_2 ... do phân bố điện tích trong phân tử có tính bất đối xứng làm phân tử bị phân cực, mỗi phân tử loại này giống một lưỡng cực điện. Khi hai phân tử gần nhau xuất hiện tương tác phân tử, tương tác này yếu hơn nhiều so với các loại tương tác khác nên chất rắn dạng tinh thể phân tử thường kém bền và có nhiệt độ nóng chảy thấp.

Ví dụ: tinh thể CO_2 là loại tinh thể phân tử.

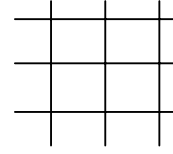
9.2.3 Các khuyết tật ở mạng tinh thể

+ Mạng tinh thể lý tưởng: mạng này có cấu trúc hoàn chỉnh đúng như mô tả hình học của chúng.

Thực tế mạng tinh thể thực có nhiều sai hỏng (khuyết tật), từ đó tính tuần hoàn lý tưởng của mạng bị vi phạm. Các sai hỏng có thể ở từng điểm trên một đường mạng, cũng có thể trên toàn đường mạng hoặc mặt mạng. Các sai hỏng thường gặp ở mạng tinh thể thực là:

9.2.3.1 Sai hỏng điểm

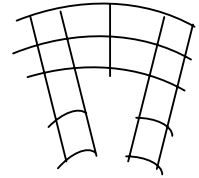
- Ở nút mạng không có hạt; từ đó có “nút trống”
- Nút mạng bị chiếm bởi một nguyên tử hoặc một loại hạt khác. (tạp chất)
- Có thừa nguyên tử ở giữa hai nút mạng.



Hình

9.2.3.2 Lệch mạng : Được chia làm hai loại

- Lệch mạng bờ: có thừa một nửa mặt mạng (AA')
- Lệch mạng xoắn: do sự dịch một mặt phẳng nguyên tử sang bên cạnh, làm mặt mạng bị nghiêng (xoắn).



Hình 9.7

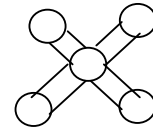
Hình 9.8

9.2.3.3 Sai hỏng mặt

- Ở mặt tiếp giáp giữa các tinh thể con trong vật rắn đa tinh thể tạo thành những miền có bề dày cỡ vài lần kích thước phân tử. Khi nhiệt độ tăng, độ linh động của các hạt tăng lên, miền này lớn dần làm lệch mạng.

Các sai hỏng trong mạng tinh thể làm thay đổi tính chất vĩ mô của vật rắn. Chẳng hạn: lệch mạng bờ làm vật rắn kém bền, chỉ cần một lực nhỏ cũng có thể làm đứt các liên kết trên một đường mạng. Tuy vậy một số trường hợp các sai hỏng trong mạng lại có ích, chẳng hạn trong lĩnh vực bán dẫn, người ta đưa vào mạng tinh khiết một số nguyên tử lạ (tạp chất) điều này làm thay đổi cấu trúc năng lượng của bán dẫn tinh khiết; khiến nó có thể dẫn điện tốt hơn.

Ví dụ: Asen (hóa trị 5) được đưa vào mạng Ge (hóa trị 4) tinh khiết; khi đó 1 nguyên tử As sẽ liên kết với 4 nguyên tử Ge lân cận còn thừa 1e⁻; As dễ dàng phóng thích e⁻ này để trở thành Ion +, hình thành bán dẫn tạp chất Ge - As có thêm nhiều electron dẫn nên dẫn điện tốt hơn.



Hình 9.9

9.3 CHUYỂN ĐỘNG NHIỆT TRONG TINH THỂ, NHIỆT DUNG

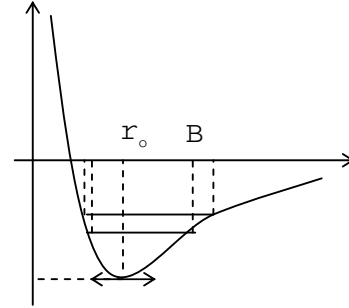
9.3.1 Chuyển động nhiệt của phân tử chất rắn

9.3.1.1 Chuyển động nhiệt

Ở nhiệt độ thường, các phân tử chất rắn có động năng chuyển động nhiệt (ứng với một bậc tự do) rất bé: $\frac{1}{2}kT \ll W_i(\text{min})$. Năng lượng toàn phần của phân tử chất rắn chủ yếu là thế năng tương tác phân tử, năng lượng này chủ yếu nằm trong phạm vi của hồ thế năng của biểu đồ tương tác phân tử. Từ đó phân tử chất rắn chỉ dao động quanh VTCB r_0 , khoảng cách r giữa hai phân tử rắn thay đổi rất ít chỉ trong đoạn IK.

Do các phân tử rắn liên kết chặt chẽ với nhau nên sự dao động của mỗi phân tử có ảnh hưởng lên toàn bộ làm các phân tử lân cận cũng dao động; dao động nhiệt là một dao động tập thể. Từ đó:

Sự dao động liên kết với nhau giữa các phân tử rắn được gọi là chuyển động nhiệt của chất rắn.



Hình 9.10

9.3.1.2 Các đặc trưng của chuyển động nhiệt

- **Biên độ** : Biên độ dao động nhiệt Δr rất bé, có giá trị cỡ $\frac{1}{10}A^0$. Với biên độ bé cỡ đó có thể coi dao động của phân tử rắn là 1 dao động điều hòa.

- **Tần số** : Dao động trong chất rắn là dao động của một tập thể phân tử. Từ đó dao động của một phân tử rắn có thể phân tích thành 3 dao động điều hòa theo 3 phương (x, y, z). Nếu tinh thể có N phân tử thì tương ứng có 3N dao động điều hòa tần số ν . Các dao động phân tử lan truyền trong tinh thể như những sóng gọi là sóng nhiệt đàn hồi, dải tần của sóng nhiệt đàn hồi rất rộng: $10^2 \rightarrow 10^{13}\text{Hz}$ nhưng theo Đơbai nó luôn bị chặn ở ν_D .

- Năng lượng:

Theo cổ điển, năng lượng dao động tương ứng với một bậc tự do là: $h\nu = \hbar\omega$. Tuy vậy, thống kê lượng tử đã chứng minh được năng lượng trung bình của một bậc tự do dao động là :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\hbar\omega}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} \quad (9.1)$$

9.3.2 Nhiệt dung riêng của chất rắn

Ta biết rằng: $\delta Q = m.c.dT$ nếu $m = 1\text{kg}$ thì nhiệt dung riêng: $c = \frac{\delta Q}{dT}$

Đối với chất rắn, hệ số giãn nở nhiệt rất bé nên có thể coi như hệ nhận nhiệt mà không sinh công, lượng nhiệt này chỉ để tăng nội năng ($\delta Q = dU$). Từ đó :

$$\text{Nhiệt dung riêng : } c = \frac{dU}{dT}$$

$$\text{Có thể coi: } c = c_v = c_p = \frac{dU}{dT}$$

Nếu hệ có N phân tử (hoặc nguyên tử) thì năng lượng dao động nhiệt trung bình của hệ tương ứng với 3N dao động điều hòa:

$$\Rightarrow U = 3N \cdot \frac{\frac{\hbar\omega}{e^{kT}}}{e^{kT} - 1} \quad \omega = 2\pi\nu \quad (9.2)$$

9.3.2.1 Ở nhiệt độ T cao : Do nhiệt độ cao nên $\frac{\hbar\omega}{kT} \ll 1$

$$\Rightarrow e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} \approx 1 + \frac{\hbar\omega}{kT}$$

$$\Rightarrow U = 3N \cdot \frac{\hbar\omega}{1 + \frac{\hbar\omega}{kT} - 1} = 3N \cdot kT \quad (9.3)$$

$$\Rightarrow c = c_p = c_v = \frac{dU}{dT} = 3N \cdot k = \text{Const} \quad (9.4)$$

Vậy: Ở nhiệt độ cao, nhiệt dung riêng của chất rắn không phụ thuộc vào nhiệt độ, nó là 1 hằng số.

9.3.2.2 Ở nhiệt độ T thấp: $T \rightarrow 0^0\text{K}$

Theo Đơbai, tần số dao động nhiệt của phân tử chất rắn luôn bị chặn trên $\omega < \omega_D$. Các kết quả tính toán thống kê cho thấy nội năng hệ:

$$U = \frac{3\pi^4}{5} \cdot N \cdot K \cdot T_D \left(\frac{T}{T_D} \right)^4 \quad \text{với } T_D = \frac{\hbar\omega_D}{k} : \text{ nhiệt độ Đơbai của chất rắn.}$$

$$\text{Hay : } U = a \cdot T^4 \quad (9.6)$$

$$\text{Từ đó; nhiệt dung riêng: } c = \frac{dU}{dT} = 4a \cdot T^3 \quad (9.7)$$

Vậy: Ở nhiệt độ thấp nhiệt dung chất rắn tỷ lệ với lũy thừa bậc ba của nhiệt độ tuyệt đối của khối chất rắn. Đây là nội dung định luật Đơbai.

Kết quả này hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.

9.3.3 Sự giãn nở vì nhiệt của chất rắn

Khi nhiệt độ tăng, nói chung thể tích vật rắn tăng nhẹ, nguyên nhân là do khoảng cách r giữa các hạt trong mạng tinh thể tăng khi nhiệt độ tăng.

Để làm rõ ta xét lại đường cong thế năng tương tác phân tử.

Giả sử: ở nhiệt độ T_1 , phân tử rắn có năng lượng toàn phần W ứng với đoạn ngang IK. Khoảng cách trung bình giữa hai phân tử ở nhiệt độ này là :

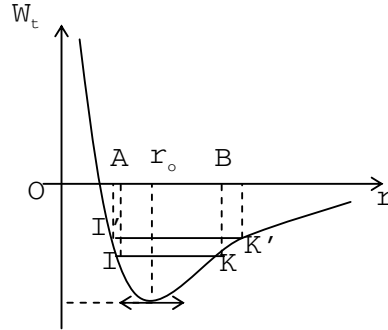
$$r_1 = OM = \frac{OA + OB}{2} \quad M : \text{Trung điểm của } AB$$

Khi nhiệt độ tăng đến T_2 ($T_2 > T_1$), động năng chuyển động nhiệt tăng làm năng lượng toàn phần của phân tử $W' > W$; ứng với đoạn $M'N'$ nằm cao hơn MN .

Do đường cong hồ thế năng không đối xứng, phần bên phải choãi xa hơn phần bên trái nên khoảng cách trung bình giữa hai hạt tăng lên

$$r_2 = ON = \frac{OA' + OB'}{2} > r_1 = \frac{OA + OB}{2}$$

từ đó kích thước vật rắn tăng khi nhiệt độ tăng
Sự giãn nở của vật rắn được phân thành 3 loại:



Hình 9.11

9.3.3.1 Giãn nở dài

Giả sử: một vật rắn có kích thước dài l_0 vượt trội rất nhiều so với kích thước ngang ở nhiệt độ t_0 ($t_0 = 0^\circ\text{C}$). Khi vật nhận nhiệt sự giãn kích thước chủ yếu theo chiều dài của vật, ta có sự nở dài.

Thực nghiệm cho thấy rằng: ở nhiệt độ t ($\Delta t = t - t_0 = t$) chiều dài vật tăng tỉ lệ bậc nhất theo nhiệt độ:

$$\Delta l = a \cdot l_0 \cdot t \quad \cdot \quad \Delta l = l - l_0 \quad \cdot a: \text{ hệ số nở dài } [\text{độ}^{-1}] \quad (9.8)$$

Chiều dài vật ở nhiệt độ t :

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + a \cdot l_0 t$$

$$l = l_0(1 + a \cdot t) \quad (\text{m}) \quad (9.9)$$

Hệ số nở dài a phụ thuộc vào bản chất và nhiệt độ vật và có giá trị rất bé, khoảng thay đổi của a : $10^{-5} \text{độ}^{-1} \rightarrow 10^{-6} \text{độ}^{-1}$

9.3.3.2 Giãn nở khối

Là sự giãn nở thể tích của vật rắn (theo 3 phương) dưới tác dụng nhiệt.

Giả sử: Một vật rắn đẳng hướng hình khối lập phương có cạnh l_0 ở nhiệt độ $t_0 = 0^\circ\text{C}$; Ở nhiệt độ t thể tích của vật:

$$V = l^3 = l_0^3(1 + at)^3 \quad \text{vì } a \cdot t \text{ rất bé nên}$$

$$(1 + at)^3 = 1 + 3at + 3a^2t^2 + a^3t^3 \approx 1 + 3at$$

$$\Rightarrow V = l_0^3(1 + 3at) = V_0(1 + bt)$$

$$\text{Vậy: } V = V_0(1 + bt) \quad \text{với } b = 3a : \text{ hệ số nở khối} \quad (9.10)$$

Đối với vật rắn có tính dị hướng, hệ số nở theo các phương là khác nhau: $a_1 \neq a_2 \neq a_3$. Khi đó hệ số nở khối:

$$b = a_1 + a_2 + a_3$$

Vật dị hướng khi giãn nở khối, hình dạng vật sẽ khác với ban đầu vì sự nở theo các phương là không đồng đều.

9.3.3.3 Lực nở và lực co khi vật rắn chịu tác động nhiệt

Khi 1 vật rắn nhận nhiệt, nhưng không được giãn nở thì bên trong vật sẽ xuất hiện những lực rất lớn.

Độ giãn dài của thanh ứng với nhiệt độ tăng Δt : $\Delta l = a.l.\Delta t$

Để giữ thanh không giãn dài thì phải tác dụng vào thanh một ứng lực p_n mà:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{p_n}{E} \Rightarrow \Delta l = \frac{1}{E}.l.p_n \quad E: \text{suất lãn}$$

hay:
$$\frac{1}{E}.l.p_n = a.l.\Delta t \Rightarrow p_n = a.E.\Delta t \quad (9.12)$$

Ví dụ : Sắt (Fe) có $\alpha \approx 10^{-5} \text{độ}^{-1}$; $E = 22.10^{10} \text{N/m}$; Nếu $\Delta t = 18^\circ\text{C} \Rightarrow$

$$p_n = 10^{-5}.22.10^{10}.18 = 220 \text{ atm}$$

Trong xây dựng cần chú ý đến các ứng lực, để tránh đổ vỡ công trình người ta thiết kế các đoạn hồ để 2 đầu chỗ ráp nối không tiếp xúc với nhau.

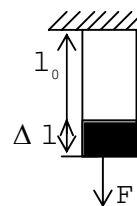
9.3.4 Sự biến dạng của vật rắn tinh thể

Dưới tác dụng của ngoại lực làm vật rắn bị biến dạng. Có thể chia thành 2 loại biến dạng :

9.3.4.1 Biến dạng kéo

Giả sử 1 thanh đồng chất, được giữ chặt một đầu; đầu còn lại được kéo bởi lực \vec{F} song song với chiều dài thanh.

Nếu F lớn, thắng được lực liên kết phân tử thì thanh dài ra đồng thời bề ngang bé lại. Biến dạng đó được gọi là biến dạng kéo. Đặc trưng của biến dạng kéo là



- Ứng suất:
$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (9.13) \quad \text{Hơn}$$

S : tiết diện thanh, $\sigma > 0$ hoặc < 0

- Độ biến dạng tương đối:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (9.14)$$

$\Delta l = l - l_0$ l_0 : chiều dài ban đầu

l : chiều dài khi đã bị biến dạng

Thực nghiệm chứng tỏ: $\varepsilon = \alpha.\sigma$ α : hệ số phụ thuộc vào bản chất vật

Vậy :
$$\sigma = \frac{1}{\alpha}\varepsilon = E.\varepsilon \quad (9.15)$$

$$E = \frac{1}{\alpha} : \text{suất lãnng hay còn gọi là môđun đàn hồi}$$

Khi vật chịu biến dạng kéo thì bề ngang d của vật bé lại, nó cũng chịu biến dạng.

$$\text{Gọi } \varepsilon_n = \frac{\Delta d}{d} : \text{độ biến dạng tương đối ngang;}$$

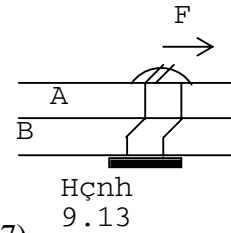
Ta có hệ thức sau:

$$\varepsilon_n = \mu \cdot \varepsilon \quad (9.16)$$

μ : hệ số tỉ lệ gọi là hệ số Póatxông, μ từ $0,25 \rightarrow 0,5$

9.3.4.2 Biến dạng cắt

Giả sử: Một chiếc bulông nối 2 thanh A và B của đường tàu. Khi thanh A chịu tác dụng một lực \vec{F} hướng ngang, thanh A bị dịch chuyển theo phương của lực đồng thời làm cho bulông ghép nối hai thanh A, B cũng bị biến dạng; biến dạng đó được gọi là biến dạng cắt hoặc biến dạng lệch (đeo), nếu F quá lớn bulông sẽ bị đứt.



+ Đặc trưng của biến dạng cắt:

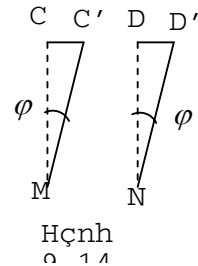
- Ứng suất tiếp tuyến: $\tau = \frac{F_t}{S}$ (9.17)

F_t : lực tác dụng song song lên mặt cắt

S : tiết diện chịu tác dụng lực

- Độ biến dạng tương đối φ :

$$\text{tg } \varphi = \frac{DD'}{ND}$$



Đối với biến dạng nhỏ $\text{tg } \varphi = \varphi$ thực nghiệm cho thấy:

$$\tau = G \cdot \varphi \quad G: \text{suất cắt} \quad (9.18)$$

Theo lý thuyết đàn hồi, giữa các vật biến dạng có mối liên hệ:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (9.19)$$

9.3.4.3 Giải thích sự biến dạng theo cấu trúc mạng

Do tác dụng của ngoại lực \vec{F} làm cho vật bị biến dạng kéo; khi đó khoảng cách giữa hai hạt trong chất rắn bị lệch khỏi vị trí cân bằng 1 đoạn x : $r = r_0 + x$. Nếu x bé thì $r > r_0$ (không lớn lắm).

Ở khoảng cách r , ngoại lực \vec{F} và lực hút phân tử \vec{f} cân bằng nhau. Khi đó nếu thôi không tác dụng ngoại lực thì lực hút phân tử kéo hạt về vị trí cũ (ứng với khoảng cách r_0) vật trở lại hình dáng cũ: ta có **biến dạng đàn hồi**.

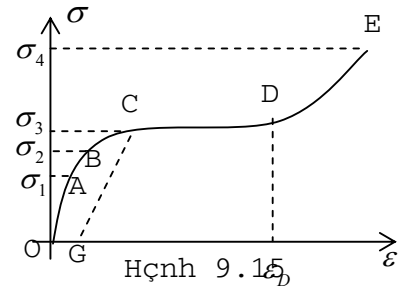
Biểu đồ $\sigma(\varepsilon)$ ứng với đoạn AB, σ_2 : giới hạn đàn hồi, độ

biến dạng tương đối $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ trong khoảng bé ($\varepsilon: 1 \rightarrow 2\%$)

Biến dạng này tuân theo định luật Húc.

Nếu ngoại lực F lớn thì vật bị biến dạng nhiều,

độ biến dạng tương đối ε lớn. Khi ngừng tác dụng lực thì vật không trở lại hình dáng ban đầu mà vẫn giữ 1 sự biến dạng nào đó ứng với $\varepsilon_0 \neq 0$. Biến dạng đó được gọi là **biến dạng dẻo**. Biểu đồ $\sigma(\varepsilon)$ ứng với đoạn BC. σ_3 : giới hạn dẻo. Biến dạng loại này không tuân theo định luật Húc.



- Đoạn CD: ứng với ứng suất $\sigma = \frac{F}{S}$ không tăng mà vật vẫn tiếp tục bị biến

dạng: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ tăng. Biến dạng này gọi là **biến dạng chảy**. Vật như bị “chảy”

- Đoạn DE: Nếu tăng lực F để tăng ứng suất σ vật tiếp tục bị biến dạng ε tăng cho đến E vật bị đứt. σ_4 được gọi là giới hạn bền.

Theo lý thuyết về cấu trúc mạng: ở giai đoạn đầu của biến dạng dẻo (BC), ngoại lực F kéo các “mặt nguyên tử có lệch mạng” trượt lên nhau, những lệch mạng tuyến (khuyết tật) có liên kết yếu bị kéo ra khỏi tinh thể. Khi ứng suất $\sigma = \sigma_3$ thì các lệch mạng đều bị tác dụng, khi đó diễn ra biến dạng chảy. Sau giai đoạn chảy thì vật biến dạng trở nên “cứng” lại và khi ứng suất $\sigma = \sigma_4$ thì vật bị đứt vì đã ngoài giới hạn bền.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1: Một dây dẫn bằng thép có đường kính 1mm ở nhiệt độ $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Một đầu dây được giữ chặt, rồi kéo căng dây với một lực $F_1 = 98\text{N}$. Dây được làm nguội đến nhiệt độ $t_2 = -20^\circ\text{C}$. Hỏi phải giữ dây một lực bằng bao nhiêu để chiều dài của dây không đổi? Cho biết hệ số dẫn nở dài của thép là $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ độ}^{-1}$, môđun đàn hồi của thép là $E = 2,2 \cdot 10^{11} \text{N/m}^2$

Giải:

Chiều dài của dây ở nhiệt độ t_1 : $l_1 = l_0(1 + \alpha t_1)$

Chiều dài của dây ở nhiệt độ t_2 : $l_2 = l_0(1 + \alpha t_2)$

Khi hạ nhiệt độ từ t_1 xuống t_2 , độ biến dạng của dây là:

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \alpha l_0(t_1 - t_2)$$

Và độ biến dạng tỷ đối :

$$\frac{\Delta l}{l_1} \approx \frac{\Delta l}{l_0} = \alpha(t_1 - t_2)$$

Khi hạ nhiệt độ, do lực hút phân tử, dây bị co ngắn lại. Muốn cho chiều dài của dây dẫn không đổi thì ngoại lực F_2 (chưa kể lực căng dây) phải cân bằng với lực hút phân tử.

Theo định luật Húc ta có:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F_2}{ES} = \frac{F_2}{E \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

Do đó:
$$F_2 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot d^2}{4} = \alpha(t_1 - t_2) \cdot \frac{\pi E d^2}{4}$$

Vậy muốn chiều dài của dây không đổi, ta phải giữ dây bằng một lực:

$$F = F_1 + F_2 = F_1 + \alpha(t_1 - t_2) \cdot \frac{\pi E \cdot d^2}{4}$$

$$F = 98 + 1,2 \cdot 10^{-5} [20 - (-20)] \cdot \frac{3,14 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \cdot 10^6}{4} = 180,9 N$$

Thí dụ 2: Một đĩa tròn làm bằng vật liệu có hệ số nở dài là α có nhiệt độ t_1 , Ở tâm một đĩa có một lỗ tròn đường kính D_1 , cần phải đốt nóng đĩa thêm bao nhiêu độ nữa để một quả cầu đường kính d có thể lọt qua lỗ tròn đó ?

Giải :

Ở nhiệt độ t_2 , đường kính của lỗ là D_2 và bằng d thì quả cầu chui lọt qua lỗ tròn đó.

$$D_2 = \frac{D_1(1 + \alpha t_2)}{1 + \alpha t_1} = d$$

$$D_1(1 + \alpha t_2) = d(1 + \alpha t_1) \rightarrow t_2 = \frac{d - D_1 + d \cdot \alpha t_1}{\alpha D_1}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{(d - D_1) + d \cdot \alpha t_1}{\alpha \cdot D_1} - t_1$$

Từ đó:
$$\Delta t = \frac{(d - D_1) + d \cdot \alpha t_1 - t_1 \cdot \alpha \cdot D_1}{\alpha \cdot D_1} = \frac{(d - D_1) + \alpha t_1 (d - D_1)}{\alpha \cdot D_1} = \frac{(d - D_1)(1 + \alpha t_1)}{\alpha D_1}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI CHƯƠNG IX: CHẤT RẮN

Bài 9.1: Một sợi dây cao su dài 0,5m được căng ra để chiều dài của nó tăng lên gấp đôi. Tìm đường kính của dây cao su khi bị căng nếu trước khi căng đường kính của nó là 1cm, biết hệ số Poátxông đối với cao su là 0,5.

ĐS: 0,5cm

Bài 9.2: Xác định độ biến dạng tỉ đối dọc của một thanh đồng nếu khi kéo nó ta tốn một công 0,12J. Biết chiều dài của thanh là 2m, tiết diện ngang của thanh là 1mm^2 , môđun đàn hồi của dây là $E = 0,12 \cdot 10^{10}\text{N/m}^2$.

ĐS: 0,001

Bài 9.3: Ở 0°C một thanh kẽm có độ dài 200mm, một thanh đồng có độ dài 201mm. Tiết diện ngang của chúng bằng nhau. Hỏi:

- Ở nhiệt độ nào thì chiều dài của chúng bằng nhau?
- Ở nhiệt độ nào thì thể tích của chúng bằng nhau?

ĐS: 420°C ; 140°C

Bài 9.4: Một cái ấm bằng nhôm dung tích 3dm^3 chứa đầy nước ở 50°C . Tìm lượng nước tràn ra khỏi ống khi đun nước lên 70°C . Nếu coi:

- Ấm không giãn nở.
- Ấm có giãn nở.

Biết hệ số nở dài của nhôm là $2,4 \cdot 10^{-5} \text{độ}^{-1}$, hệ số nở khối của nước ở 70°C là $0,000587 \text{độ}^{-1}$.

ĐS: $6,84 \cdot 10^{-5}\text{m}^3$; $5,44 \cdot 10^{-5}\text{m}^3$

Bài 9.5: Thể tích một bình bằng đồng thau đã tăng thêm 0,6% khi được nung nóng. Hỏi bình đã được nung nóng thêm bao nhiêu độ. Biết hệ số nở dài của đồng thau là $2 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

ĐS: 100°K

Bài 9.6: Độ dài nhỏ nhất của một sợi dây thép treo thẳng đứng là bao nhiêu để nó bị đứt do trọng lượng ? Giới hạn bền của thép là $3,2 \cdot 10^8 \text{N/m}^2$, khối lượng riêng là $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$.

ĐS: 4200m

CHƯƠNG 10 :

SỰ CHUYỂN PHA CỦA VẬT CHẤT

10.1 KHÁI NIỆM VỀ PHA, SỰ CHUYỂN PHA

10.1.1 Khái niệm về pha

+ **Pha:** Tập hợp những phần đồng tính trong một hệ được coi là có cùng một pha.

- Phần đồng tính trong hệ là phần mà các đặc trưng vật lý của nó (độ dẫn điện, độ dẫn nhiệt...) là như nhau trong hệ hoặc biến đổi liên tục.

Đặc điểm dễ nhận biết các pha trong hệ là khi chúng được phân cách nhau rõ rệt bởi mặt ngăn cách.

+ **Ví dụ:**

- Không khí có sương mù là một hệ hai pha

. Pha khí: không khí.

. Pha lỏng: các giọt nước nhỏ.

- Hỗn hợp nước và dầu hỏa là hệ hai pha: pha nước và pha dầu được ngăn cách với nhau bởi một mặt phân cách rõ rệt.

- Dung dịch nước và rượu etylic là hệ 1 pha.

Trạng thái của vật chất có thể ở 3 dạng: rắn, lỏng, khí nhưng pha thì có thể nhiều hơn.

10.1.2 Sự chuyển pha

Trong điều kiện nhiệt độ và áp suất thích hợp thì một hệ chuyển từ pha này sang pha khác: người ta gọi đó là quá trình chuyển pha.

- Ví dụ: Sự biến đổi trạng thái của một hệ từ rắn sang lỏng sang khí hoặc ngược lại: là một trường hợp của biến đổi pha.

- Người ta chia chuyển pha thành hai loại:

10.1.2.1 Chuyển pha loại I

+ **Đặc trưng chung:**

- Có thu nhiệt hoặc tỏa nhiệt, gọi là nhiệt chuyển pha.

- Thể tích riêng thay đổi đột ngột.

Từ đặc điểm trên dẫn đến Entropi hệ, mật độ khối lượng hệ ($\rho = \frac{m}{v}$) và năng lượng hệ biến đổi nhảy vọt.

+ Các quá trình biến đổi pha loại I thường gặp là:

- Sự nóng chảy, sự đông đặc.

- Sự hóa hơi, sự ngưng tụ.
- Sự thăng hoa, sự ngưng hoa...

10.1.2.2 Chuyển pha loại II

+ Đặc trưng chung :

- Không có nhiệt chuyển pha: hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài.
- Thể tích riêng không thay đổi đột ngột mà biến đổi liên tục.
- Một số tính chất vật lý của hệ như nhiệt dung riêng c_p , hệ số nở đẳng áp

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p ; \text{ hệ số nén đẳng nhiệt } \chi_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \text{ biến đổi đột ngột.}$$

+ Ví dụ:

- Sự chuyển pha của kim loại sang siêu dẫn ở nhiệt độ cực thấp như:
Chì (Pb) ở nhiệt độ $T = 7,26^0\text{K}$
Nhôm (Al) ở nhiệt độ $T = 1,14^0\text{K}$

10.2 MỘT SỐ HIỆN TƯỢNG CHUYỂN PHA LOẠI I

10.2.1 Sự nóng chảy và sự đông đặc

- Sự nóng chảy là quá trình vật chất chuyển từ pha rắn sang lỏng.
Ví dụ: nước đá ở 0^0C (rắn) sang nước ở 0^0C (lỏng)
- Sự đông đặc là quá trình vật chất chuyển từ pha lỏng sang pha rắn (ngược với quá trình nóng chảy).

10.2.1.1 Đặc điểm

- Quá trình nóng chảy hoặc đông đặc chỉ diễn ra khi có trao đổi nhiệt giữa hệ và khoảng ngoài.

- Ở một giá trị áp suất ngoài, chất rắn kết tinh có một nhiệt độ nóng chảy và nhiệt độ đông đặc xác định, nhiệt độ đó được giữ không đổi trong suốt thời gian vật nóng chảy hoặc đông đặc.

- Trong cùng một điều kiện như nhau, chất rắn kết tinh nóng chảy và đông đặc ở cùng một nhiệt độ. Ví dụ :

$$\text{Fe có } t_{nc} = 1530^0\text{C}$$

$$\text{Cu có } t_{nc} = 1033^0\text{C}$$

$$\text{Vonfram có } t_{nc} = 3370^0\text{C}$$

- Khi vật rắn nóng chảy hoặc đông đặc hoàn toàn thì nhiệt độ vật lại tiếp tục thay đổi.

- Sự biến đổi thể tích riêng: thông thường khi nóng chảy thể tích riêng vật rắn tăng, ngược lại khi đông đặc thể tích riêng giảm. Tuy vậy vẫn có một số trường hợp

thể tích riêng giảm khi nóng chảy và tăng khi đông đặc, người ta cho rằng số chất loại này có pha rắn “rỗng” hơn pha lỏng.

- Ảnh hưởng của áp suất ngoài: khi áp suất ngoài tăng, nhiệt độ nóng chảy t_{nc} tăng, điều này được giải thích là: trong điều kiện áp suất lớn, sự nở thể tích của vật nóng chảy bị cản trở nhiều hơn làm mạng tinh thể khó bị phá vỡ hơn.

10.2.1.2 Giải thích

+ **Quá trình nóng chảy: vật rắn kết tinh khi nhận nhiệt thì động năng** chuyển động nhiệt và thế năng của các hạt cấu thành đều tăng làm các hạt tách xa nhau hơn.

- Khi nhiệt độ vật đạt $t = t_{nc}$ động năng chuyển động nhiệt của các hạt đủ lớn, biên độ dao động nhiệt lớn làm liên kết phân tử bị phá vỡ, cấu trúc tinh thể bị phá vỡ, quá trình nóng chảy bắt đầu... nhiệt độ t_{nc} gọi là nhiệt độ nóng chảy. Trong khi nóng chảy nhiệt độ của hệ giữ không đổi, phần năng lượng cung cấp được giữ ở dạng nội năng ứng với sự tăng thêm của thế năng các hạt; nếu tính cho một đơn vị khối lượng thì nhiệt lượng tương ứng gọi là nhiệt nóng chảy riêng L (hoặc ẩn nhiệt).

- Khi toàn bộ trật tự của tinh thể hoàn toàn bị phá vỡ, vật bị nóng chảy hoàn toàn, quá trình nóng chảy kết thúc.

- Nhiệt độ nóng chảy t_{nc} và ẩn nhiệt L là các đại lượng đặc trưng cho vật rắn tinh thể. Ví dụ :

Nước đá có	$L = 80 \text{ kcal/kg}$
Sắt có	$L = 66 \text{ kcal/kg}$
Chì có	$L = 6,3 \text{ kcal/kg}$

+ Quá trình đông đặc: (Còn gọi là quá trình kết tinh) là quá trình ngược với quá trình nóng chảy. Ở cùng một điều kiện, nhiệt độ đông đặc t_{dd} của hệ đúng bằng nhiệt độ nóng chảy t_{nc} . Tuy vậy thực tế cho thấy trong quá trình đông đặc thường xảy ra một sự chậm trễ nào đó, tức là khi nhiệt độ hệ đã giảm đến giá trị $t = t_{dd}$ mà chất lỏng vẫn chưa đông đặc, hiện tượng được gọi là “**sự chậm đông**”; để loại bỏ chỉ cần thêm vào chất lỏng một vài mẫu tinh thể nhỏ thì quá trình đông đặc sẽ diễn ra ngay.

10.2.2 Sự hóa hơi và sự ngưng tụ

+ **Sự hóa hơi:** Quá trình vật chất chuyển từ pha lỏng sang pha hơi (khí) được gọi là sự hóa hơi. Sự hóa hơi thường diễn ra ở 2 dạng: bay hơi và sôi.

- Bay hơi là sự hóa hơi xảy ra từ mặt thoáng chất lỏng và ở nhiệt độ bất kỳ.

- Sôi là quá trình hóa hơi mạnh bằng sự tạo thành các bọt hơi (khí) trong lòng chất lỏng, các bọt hơi này chuyển động về phía mặt thoáng và thoát ra khỏi khối chất lỏng qua mặt thoáng.

Ví dụ : Nước bay hơi và nước sôi là hai hiện tượng khác nhau.

+ Sự ngưng tụ: là quá trình ngược với quá trình bay hơi, vật chất chuyển từ pha hơi sang pha lỏng; hơi ở mặt ngoài của khối chất lỏng có thể ngưng tụ trở lại thành lỏng. Hơi ngưng tụ tỏa ra một nhiệt lượng đúng bằng nhiệt lượng đã nhận trong quá trình bay hơi.

10.2.2.1 Đặc điểm

- Khi nhiệt độ tăng, tốc độ bay hơi tăng.
- Tốc độ bay hơi phụ thuộc vào điều kiện ngoài (gió ...ảnh hưởng đến tốc độ bay hơi).

- Nhiệt hóa hơi riêng r (nhiệt cung cấp để một đơn vị khối lượng chất lỏng chuyển thành hơi) phụ thuộc vào nhiệt độ khối chất lỏng và áp suất ngoài tác dụng lên bề mặt chất lỏng.

10.2.2.2 Giải thích

- Sự hóa hơi: ở một nhiệt độ nhất định T , các phân tử chất lỏng có động năng khác nhau. Ở lớp mặt ngoài của khối chất lỏng có những phân tử có động năng đủ lớn có thể thắng được lực hút phân tử ở gần chúng và thoát ra khỏi khối chất lỏng để thành hơi. Ngược lại.

- Sự ngưng tụ: Hơi khi tiếp xúc với vật có nhiệt độ thấp hơn, động năng chuyển động nhiệt giảm khi đó tương tác phân tử có thể liên kết chúng lại thành lỏng.

10.2.2.3 Hơi bão hòa

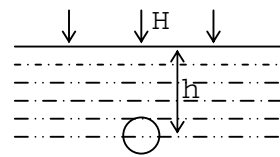
Khi chất lỏng bay hơi trong một bình kín có nhiệt độ T , áp suất của pha hơi tăng đạt giá trị cực đại p_{bh} thì không tăng nữa khi đó ta có hơi bão hòa. p_{bh} được gọi là áp suất hơi bão hòa. Ở hơi bão hòa; số phân tử từ thể lỏng sang thể hơi đúng bằng số phân tử thể hơi ngưng tụ thành lỏng, khi đó có sự cân bằng động giữa thể lỏng và thể hơi.

+ Đặc điểm:

- . Ở nhiệt độ T áp suất hơi bão hòa có một giá trị nhất định
- . Khi nhiệt độ tăng, áp suất hơi bão hòa tăng.
- . p_{bh} không phụ thuộc vào thể tích hơi mà phụ thuộc vào hình dạng của mặt thoáng (lỏng - hơi).

10.2.2.4 Sự sôi

Sự sôi là quá trình bay hơi mạnh của chất lỏng bằng cách tạo thành những bọt hơi trong lòng khối chất lỏng, các bọt hơi này thoát ra khỏi mặt thoáng. Để chất lỏng sôi thì trong lòng khối chất lỏng phải có những bọt hơi. Điều kiện tồn tại bọt hơi là áp suất hơi và khí trong bọt phải cân bằng với áp suất lỏng bên ngoài.



Hình
10 1

+ Xét 1 bọt hơi ở độ sâu h đối với mặt thoáng.

-Áp suất bên trong bọt: $p_{bh} + p'$

(p' : áp suất các khí khác hòa tan bên trong chất lỏng)

-Áp suất bên ngoài : $H + \rho gh + \frac{2\alpha}{R}$

[H : áp suất khí quyển; ρgh : áp suất thủy tĩnh; $\frac{2\alpha}{R}$: áp suất phụ gây bởi mặt cầu của bọt]

$$\Rightarrow p_{bh} + p' = H + \rho gh + \frac{2\alpha}{R}$$

Khi bọt hơi khá lớn $\frac{2\alpha}{R}$ bé ; ρgh cũng bé (do h không lớn), và p' cũng bé nên trong gần đúng $p_{bh} \approx H$; khi đó do lực đẩy Archimede bọt hơi bị đẩy lên mặt thoáng và vỡ ra hình thành sự sôi. Từ đó :

“Dưới áp suất ngoài xác định H , một chất lỏng sôi ở nhiệt độ t_s ứng với áp suất hơi bão hòa của nó p_{bh} bằng áp suất ngoài H ”.

10.2.3 Sự thăng hoa và sự ngưng hoa

- Các quá trình hóa hơi hoặc ngưng tụ diễn ra giữa thể rắn và thể hơi được gọi là sự thăng hoa và sự ngưng tụ.

Ví dụ : Ở áp suất thường: băng phiến, iốt tinh thể... ở thể rắn dễ dàng chuyển sang thể hơi.

- Sự thăng hoa gây bởi các phân tử ở mặt ngoài của khối chất rắn có động năng đủ lớn thắng được các lực kéo lại (*vượt được hố thế năng*) và bứt ra khỏi vật rắn tạo thành hơi.

- Nhiệt thăng hoa là nhiệt lượng mà vật rắn hấp thụ để thăng hoa. Để thỏa bảo toàn năng lượng: nhiệt thăng hoa bằng tổng nhiệt nóng chảy và nhiệt hóa hơi.

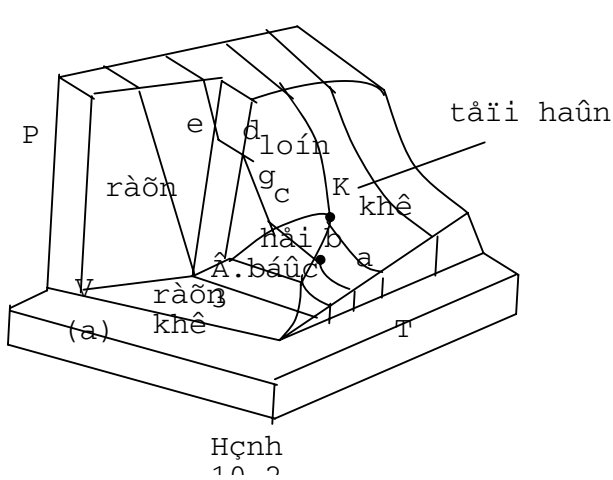
- Sự ngưng hoa: quá trình các phân tử hơi quay trở lại thể rắn. Quá trình này diễn ra nếu không gian xung quanh vật rắn là kín.

10.3 ĐỒ THỊ TRẠNG THÁI CỦA NGUYÊN CHẤT, ĐIỂM BA

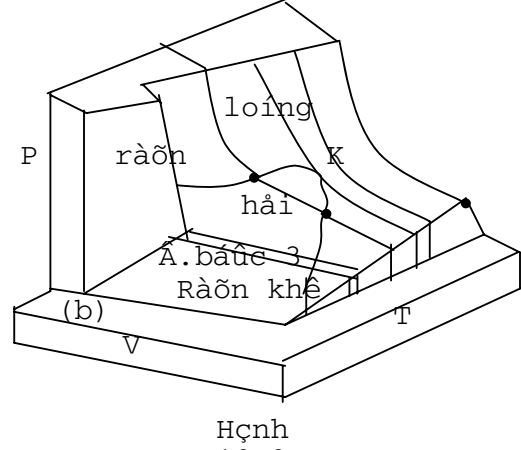
10.3.1 Mặt p.V.T của các chất

Đối với 1 chất thực bất kỳ, luôn có 1 hệ thức nối liền giữa áp suất, thể tích và nhiệt độ, tức là có một phương trình trạng thái $F(p, V, T)$.

Biểu đồ của F theo p, V và T được gọi là mặt (p, V, T) của chất đó:



Mặt (p, V , T) của chất co lại khi đông đặc (VD: CO₂)

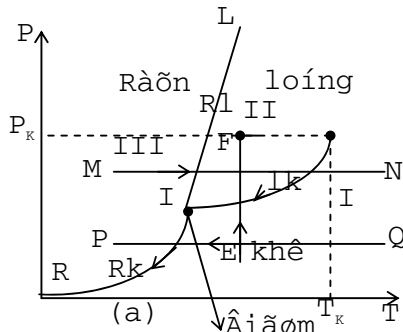


Mặt (p, V , T) của chất giãn ra khi đông đặc (VD: H₂O)

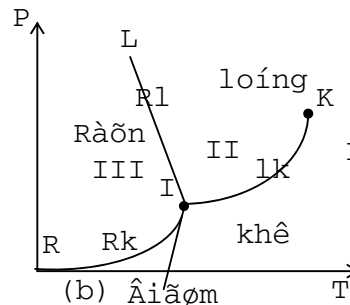
Trên mặt p.V.T ta nhận thấy có những vùng mà chất chỉ ở một pha duy nhất, một số vùng khác cùng tồn tại hai pha ở cân bằng: rắn - lỏng, rắn - khí, hoặc lỏng - khí.

Đường bậc ba: những điểm trên đường này ứng với trạng thái mà cả ba pha rắn - lỏng - khí cùng hiện diện.

Dem chiếu hai hình ở trên lên mặt phẳng p.T ta được 2 hình sau:



Hình 10.4



Hình 10.5

Kết quả cho thấy :

- . Đường bậc ba khi được chiếu thẳng lên mặt p -T ta được điểm: **điểm ba I**.
- . Đường IL : Đường nóng chảy, biểu thị sự phụ thuộc nhiệt độ nóng chảy hay đông đặc của chất theo áp suất, đường này không có giới hạn trên.
- . Đường IK : Đường hóa hơi (hay đường sôi) biểu thị sự phụ thuộc của áp suất hơi bão hòa theo nhiệt độ. Các điểm trên đường IK biểu thị các trạng thái cân bằng động giữa chất lỏng và hơi bão hòa của nó.

Về phía trên, đường hóa hơi được kết thúc ở **điểm tới hạn K**, trên nhiệt độ tới hạn TK khí không hóa lỏng. Về phía dưới, đường hóa hơi được kết thúc ở **điểm ba I** là giao điểm của đường nóng chảy với đường hóa hơi. Tại I cùng tồn tại cân bằng giữa 3 pha: rắn, lỏng, và hơi bão hòa.

. Đường IR : đường thăng hoa, là tập hợp các trạng thái cân bằng giữa thể rắn và hơi bão hòa của nó; đường này có giới hạn trên là điểm ba I và giới hạn dưới là không độ tuyệt đối.

Lưu ý : Khi đem chiếu thẳng mặt p.V.T của CO₂ lên mặt (p.V) ta được họ đường đẳng nhiệt Angdriu (đã khảo sát trong chương khí thực).

10.3.2 Điểm ba

Đối với các chất khác nhau, áp suất và nhiệt độ của điểm ba p_I, T_I là khác nhau.

$$\begin{aligned} + \text{ Ví dụ : } & \text{CO}_2 \text{ có } T_I = 216,5^0\text{K} & p_I = 5,11 \text{ atm} \\ & \text{H}_2\text{O} \text{ có } T_I = 273,16^0\text{K} & p_I = 6.10^{-3} \text{ atm} \end{aligned}$$

Trên giản đồ pha ta thấy rằng: 1 vật rắn ở áp suất $p < p_I$ nếu đun nóng, nó không nóng chảy mà chuyển sang hơi (thăng hoa).

+ Ví dụ: đối với CO₂ có $p_I = 5,11 \text{ atm}$ nên nếu bị nung nóng ở áp suất thường 1 atm thì bị bốc hơi.

10.3.3 Các miền trên đồ thị trạng thái (giản đồ pha)

Các đường biến đổi trạng thái chia mặt (p,T) thành 3 miền:

Miền I: miền khí. Miền II: miền lỏng. Miền III: miền rắn.

Nếu vẽ các đường MN, PQ song song với trục hoành T thì các đường này biểu thị sự biến đổi trạng thái bằng các quá trình đẳng áp.

- Đường MN nằm trên điểm ba biểu thị sự biến đổi đẳng áp từ rắn sang lỏng rồi sang khí.

- Đường PQ nằm dưới điểm ba biểu thị sự biến đổi đẳng áp từ rắn sang khí (thăng hoa).

- Đường EF song song với trục p biểu thị sự biến đổi đẳng nhiệt, theo đường này thì khi nén đẳng nhiệt hệ chuyển từ khí sang lỏng. Đường này chính là đường đẳng nhiệt thực nghiệm đã được khảo sát ở chương khí thực.

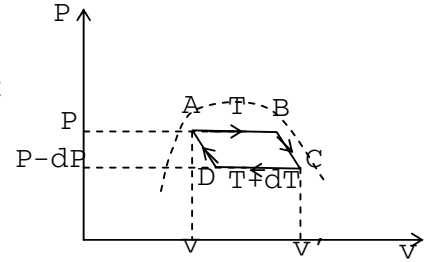
10.4 PHƯƠNG TRÌNH CLAPEYRON - CLAUSIUS

Phương trình Clapeyron - Clausius là phương trình cơ bản đặc trưng cho biến đổi pha loại I. Phương trình được xây dựng tổng quát bằng phương pháp thế nhiệt động. Ở đây (để đơn giản) ta dùng phương pháp chu trình để thiết lập.

Tưởng tượng 1 chu trình Carnot thuận nghịch mà tác nhân là một hệ 2 pha (pha lỏng và pha hơi bão hòa) bị giam trong một xilanh có pittông (đóng) kín.

Giả sử ban đầu nhiệt độ hệ là T và áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ đó là p (điểm A)

- Quá trình AB: hệ giãn đẳng nhiệt (cũng là quá trình đẳng áp) ở nhiệt độ T . Quá trình này làm cho 1 lượng chất lỏng khối lượng m đã hóa hơi ở áp suất bão hòa p .



Hình 10.6

Nhiệt hệ nhận trong quá trình: $Q_1 = m.L$
(để đơn giản cho $m = 1$ đơn vị khối lượng).

$$\Rightarrow Q_1 = L \quad L : \text{Nhiệt biến đổi pha}$$

Độ tăng thể tích riêng của hệ: $\Delta v = v' - v$

v, v' : thể tích riêng của chất ở thể lỏng và thể hơi

- Quá trình BC: hệ giãn đoạn nhiệt, nhiệt độ hạ dT , đồng thời áp suất giảm dp (trong quá trình này một lượng chất lỏng đã chuyển thành hơi nhưng rất bé nên có thể bỏ qua).

- Quá trình CD: nén đẳng nhiệt ở nhiệt độ $T - dT$; và cũng là quá trình đẳng áp ở áp suất hơi bão hòa $p - dp$. Quá trình này một lượng hơi bão hòa được ngưng tụ thành lỏng và hệ tỏa cho nguồn lạnh $(T - dT)$ một nhiệt lượng (bỏ qua lượng chất ngưng tụ).

- Quá trình DA: nén đoạn nhiệt, nhiệt độ hệ tăng từ $T - dT \rightarrow T$ và áp suất tăng từ: $p - dp \rightarrow p$. Hệ trở lại trạng thái đầu A.

Công sinh ra trong chu trình bằng diện tích giới hạn bởi chu trình ABCD. Bỏ qua các sai lệch vô cùng bé ta có thể coi diện tích này là một hình chữ nhật:

$$A = \Delta v.dp = (v' - v).dp$$

Hiệu suất của chu trình:
$$\eta_{\text{tn}} = \frac{A}{Q_1} = \frac{(v' - v).dp}{L}$$

Theo định lý Carnot:
$$\eta_{\text{tn}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{T - (T - dT)}{T} = \frac{dT}{T}$$

Từ đó ta được:
$$\frac{(v' - v).dp}{L} = \frac{dT}{T}$$

Vậy:
$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(v' - v)} \quad (10.1)$$

Phương trình được gọi là **phương trình Clapeyron-Clausius**; áp dụng được cho mọi tác nhân.

Phương trình được thiết lập qua các quá trình hóa hơi nhưng có thể áp dụng được cho các quá trình biến đổi trạng thái khác.

+ Do thể tích hơi lớn hơn rất nhiều so với thể tích lỏng nên $v' \gg v$; nên công thức có thể viết lại:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T \cdot v'}$$

Áp dụng phương trình trạng thái khí lý tưởng cho hơi bão hòa ở nhiệt độ T

$$pv' = \frac{m}{\mu} RT \quad m = 1 \text{ đvkl}$$

$$\Rightarrow pv' = \frac{RT}{\mu} \Rightarrow v' = \frac{RT}{\mu p}$$

$$\text{Từ đó : } \frac{dp}{dT} = \frac{L}{T \cdot \frac{RT}{\mu p}} = \frac{\mu L}{R} \cdot \frac{p}{T^2} \quad \text{hay: } \frac{dp}{p} = \frac{\mu L}{R} \cdot \frac{dT}{T^2}$$

$$\Rightarrow \int \frac{dp}{p} = \frac{\mu L}{R} \int \frac{dT}{T^2}$$

$$\Rightarrow \ln p = -\frac{\mu L}{RT} + C = \ln C' \cdot e^{-\frac{\mu L}{RT}}$$

$$\text{Kết quả là : } p = C' \cdot e^{-\frac{\mu L}{RT}} \quad \text{với } C': \text{ hằng số} \quad (10,2)$$

+ **Nhận xét:**

- Các phương trình cho thấy áp suất hơi bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ theo quy luật hàm $e^{-\frac{a}{T}}$.

- Nhiệt độ chuyển pha và áp suất chuyển pha không thể có giá trị bằng không; vì khi đó đa số chất đều ở pha rắn.

- Do $v' \gg v$ phương trình Clapeyron-Clausius cho thấy khi nhiệt độ tăng ($dT > 0$) áp suất hơi bão hòa tăng ($dp > 0$).

Phương trình Clapeyron-Clausius có ý nghĩa to lớn về mặt lý thuyết cũng như thực nghiệm, nó giúp xác định nhiệt biến đổi pha L của các chất.

10.5 CHUYỂN PHA LOẠI II

Ngoài những biến đổi pha loại I còn có những biến đổi pha mà Entrop S và thể tích riêng v của hệ không đổi khi hệ đổi từ pha này (i) sang pha khác (j).

10.5.1 Đặc điểm

- Những biến đổi pha loại này có: T, p, G, S và v không thay đổi. Từ đó H, U và F cũng không thay đổi.

- Các đại lượng như nhiệt dung riêng c_p , hệ số nén đẳng nhiệt \bar{G} , hệ số nở đẳng áp \bar{G} biến đổi nhảy vọt (do đạo hàm riêng bậc 2 của hàm Gibbs G biến thiên gián đoạn). Từ đó sự chuyển pha diễn ra **ngay tức thì** trong toàn hệ (pha mới xuất hiện rất đột ngột) chứ không từ từ như chuyển pha loại I.

Những biến đổi pha dạng này được gọi là chuyển pha loại II do Ehrenfest đưa ra lần đầu tiên.

Phương trình Ehrenfest cho biến đổi pha loại II đã được thiết lập:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{c_p^{(f)} - c_p^{(i)}}{Tv(\alpha^{(f)} - \alpha^{(i)})} \quad (10.3)$$

c_p : nhiệt dung riêng đẳng áp.

10.5.2 Thí dụ về biến đổi pha loại II

10.5.2.1 Hiện tượng siêu dẫn

Thực nghiệm cho thấy rằng: khi hạ nhiệt độ thủy ngân đến nhiệt độ $T = 4,22^{\circ}\text{K}$ thì thủy ngân trở nên dẫn điện cực tốt; điện trở của nó gần như bằng không nên không có tỏa nhiệt khi dẫn điện, hiện tượng đó được gọi là hiện tượng siêu dẫn.

- Một số kim loại khác như: Đồng (Cu) chuyển sang siêu dẫn ở nhiệt độ $T = 0,79^{\circ}\text{K}$; Cadimi ở nhiệt độ $T = 0,6^{\circ}\text{K}$... người ta đã phát hiện tính siêu dẫn ở nhiều kim loại khác (khoảng vài chục kim loại).

10.5.2.2 Heli ở nhiệt độ thấp

Thực nghiệm cho thấy rằng: hạ nhiệt độ khí Heli (He) đến $T_1 = 4,220\text{K}$ thì khí He hóa lỏng (gọi là Heli I). Nếu tiếp tục hạ đến nhiệt độ $T_2 = 2,190\text{K}$ thì Heli vẫn ở thể lỏng nhưng tính nhớt của nó đột nhiên biến mất, Heli lỏng có thể chảy qua những khe rất nhỏ (cỡ $0,5 \mu\text{m}$), đặc tính này được gọi là **tính siêu chảy** (gọi là Heli II).

Thực nghiệm cũng cho thấy Heli II có tính dẫn nhiệt rất tốt (gấp tỉ lần độ dẫn nhiệt của bạc). Nhiệt độ càng hạ thấp $\rightarrow 0^{\circ}\text{K}$ thì tính siêu chảy, dẫn nhiệt càng tăng. Nhưng Heli II vẫn không đông đặc, nó vẫn ở pha lỏng, điều này rất khác với các chất lỏng khác.

10.6 CHUYỂN PHA TỚI HẠN (λ)

Ngoài hai loại biến đổi pha ở trên còn có một loại biến đổi pha quan trọng được gọi là biến đổi pha tới hạn.

Tại điểm tới hạn K, vật chất tồn tại ở thể Lỏng - Khí -Hơi. Thực nghiệm cho thấy: ở điểm tới hạn K sự chuyển từ pha lỏng sang pha hơi không kèm theo sự hấp thụ nhiệt và thể tích riêng của vật chất không bị thay đổi.

Một hệ thực hiện biến đổi pha tới hạn có các đặc điểm chính sau:

- T, p và G không thay đổi.
- S và v không thay đổi.
- c_p , α và χ_T vô hạn.

CÁC THÍ DỤ

Thí dụ 1: Ở 0°C , áp suất của hơi nước bão hòa trên nước đá là $p = 4,58\text{mmHg}$. Nhiệt nóng chảy của nước đá ở 0°C là $L_1 = 80\text{kcalo/kg}$. Nhiệt hóa hơi của nước ở 0°C là $L_2 = 596\text{kcalo/kg}$. Tìm áp suất của hơi nước bão hòa trên nước đá ở $t = -1^{\circ}\text{C}$.

Giải :

Nhiệt biến đổi pha từ rắn sang hơi của nước đá ở 0°C là:

$$L = L_1 + L_2 = 596 + 80 = 676\text{Kcal/kg}$$

Vận dụng công thức Clayeyron-Clausius:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(v_h - v_r)} \approx \frac{L}{Tv_h} \quad (\text{vì } v_h \gg v_r)$$

Với: v_h và v_r là thể tích riêng của hơi nước bão hòa và thể tích riêng của nước đá ở 0°C .

Xem hơi nước bão hòa ở 0°C như là khí lý tưởng, ta tính được v_h theo phương trình Clapeyron-Medeelev.

$$\text{Ta có : } v_h = \frac{mRT}{\mu.p} \Rightarrow v_h = \frac{V_h}{m} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{RT}{p}$$

với $\mu = 18 \text{ kg/kmol}$

$$\text{ta có } dp = \frac{L.dT}{T.v_h} = \frac{\mu L dT.p}{T.R.T} = \frac{\mu.L.pdT}{R.T^2}$$

$$dp = \frac{18.676.10^3.4,18.(4,58)(-1)}{8,31.10^3(273)^2} = -0,38\text{mmHg}$$

Từ đó ta tính được áp suất hơi nước bão hòa trên nước đá ở -1°C là:

$$p_{(-1^{\circ}\text{C})} = p + dp = 4,58 - 0,38 = 4,2\text{mmHg}$$

Thí dụ 2 : Xác định tỉ số của khối lượng riêng của không khí ẩm (độ ẩm tương đối là $f = 90\%$) và không khí khô ở áp suất $p_0 = 100\text{kPa}$ và ở nhiệt độ $t = 27^{\circ}\text{C}$. Biết rằng khối lượng riêng của hơi nước bão hòa ở nhiệt độ này là $p_0 = 0,027\text{kg/m}^3$. Khối lượng mol của không khí: $\mu_1 = 0,029\text{kg/mol}$ và của nước $\mu_2 = 0,018\text{kg/mol}$.

Giải :

Khối lượng riêng của không khí khô ở nhiệt độ T là:

$$p_0 V = \frac{M}{\mu_1} RT \rightarrow \frac{M}{V} = \frac{p_0 \mu_1}{RT} = \rho_1$$

Ở điều kiện độ ẩm tương đối là f thì khối lượng riêng của hơi nước là: $\frac{\rho'}{\rho_0} = f$

$$\rho' = f \cdot \rho_0 = \frac{\mu_2 p_2}{RT}$$

ở đây p_2 là áp suất riêng phần của hơi nước.

$$\text{Từ đó ta có: } p_2 = f \cdot \rho_0 \cdot \frac{RT}{\mu_2}$$

Vì áp suất của không khí ẩm p_0 là được cộng từ áp suất riêng phần của hơi nước p_2 và áp suất p_1 của không khí khô:

$$p_0 = p_1 + p_2 ; p_1 = p_0 - p_2 = p_0 - \frac{f \cdot \rho_0 \cdot RT}{\mu_2}$$

Khối lượng riêng của không khí (không có hơi nước) ở áp suất riêng phần này là :

$$\rho'' = \frac{\mu_1 \cdot p_1}{RT} = \frac{\mu_1 p_0}{RT} - \frac{\mu_1 \cdot f \cdot \rho_0}{\mu_2}$$

Khối lượng riêng của không khí ẩm là:

$$\rho_2 = \rho' + \rho'' = \frac{\mu_1 p_0}{RT} - \left(\frac{\mu_1}{\mu_2} - 1 \right) f \cdot \rho_0$$

Tỉ số khối lượng riêng của không khí ẩm và không khí khô là:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = 1 - \frac{(\mu_1 - \mu_2) \cdot f \cdot \rho_0 RT}{\mu_1 \mu_1 p_0} \approx 0,987$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

CHƯƠNG X : SỰ CHUYỂN PHA

Bài 10.1: Tìm thể tích riêng của hơi nước ở 100°C và áp suất thường nếu biết rằng ở áp suất 735,5 mmHg thì nhiệt độ sôi của nước là $99,1^\circ\text{C}$. Nhiệt hóa hơi của nước ở 100°C là 539 kcal/kg.

$$\text{ĐS: } 1,7 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Bài 10.2: Biết thể tích riêng ở 0°C của nước đá là $v_r = 1,091 \text{ cm}^3/\text{g}$ và của nước lỏng $v_l = 1 \text{ cm}^3/\text{g}$. Ẩn nhiệt nóng chảy của nước là $L_1 = 80 \text{ cal/g}$. Muốn làm giảm nhiệt độ nóng chảy của nước đá xuống 1°C thì phải tăng áp suất lên bao nhiêu ?

$$\text{ĐS: } 134 \text{ atm}$$

Bài 10.3: Tính khối lượng hơi nước trong 1 m^3 không khí ở nhiệt độ 30°C . Biết độ ẩm tương đối của không khí là 75%.

$$\text{ĐS: } 22,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Bài 10.4: Tính ẩn nhiệt hóa hơi L của nước ở 100°C bằng công thức Clapeyron. Biết: $\frac{dp}{dT} = 27,1 \text{ mm Hg/độ}$ và hơi nước được coi như một khí lý tưởng có tỷ khối đối

với không khí là $d = \frac{5}{8}$. Khối lượng riêng không khí ở điều kiện chuẩn là

$0,001293\text{g/cm}^3$. Hệ số giãn nở của khí lý tưởng là $\frac{1}{273}$. Khối lượng riêng của thủy ngân ở 0°C là $13,6\text{ g/cm}^3$. Áp suất cực đại của hơi nước bão hòa ở 100°C là 760mmHg . Gia tốc trọng trường $g = 9,8\text{ m/s}^2$.

ĐS: $2,278.10^6\text{ j/kg}$

Bài 10.5: Trong khoảng nhiệt độ t từ: $100^\circ\text{C} \rightarrow 200^\circ\text{C}$ Áp suất cực đại của hơi nước (tính ra kg/cm^2) được tính gần đúng bằng công thức: $p = \left(\frac{t}{100}\right)^4$.

Tính ẩn nhiệt hóa hơi L của nước trong khoảng nhiệt độ từ: 100°C tới 200°C . Cho rằng: thể tích riêng v_l của nước lỏng không đáng kể so với thể tích riêng v_h của hơi nước và xem hơi nước bão hòa như khí lý tưởng.

ĐS: 614 calo/gam

Bài 10.6: Một xi lanh có đường kính 20cm , các thành của xi lanh cách nhiệt. Ở đáy xi lanh có chứa $0,5\text{g}$ nước ở thể lỏng và ở 0°C . Ban đầu pittông ở sát đáy xi lanh, ta kéo pittông lên cao 38cm , khi đó trong xi lanh chỉ còn một cục nước đá ở 0°C . Hãy tính:

- a- Khối lượng của cục nước đá.
- b- Nhiệt nóng chảy của nước đá.

Áp suất cực đại của hơi nước ở 0°C là $4,6\text{mmHg}$, tỉ khối của hơi nước đối với không khí là $d = \frac{5}{8}$. Ẩn nhiệt bốc hơi của nước ở 0°C là: $L_0 = 606\text{cal/g}$.

ĐS: $0,442\text{g} ; 80\text{cal/g}$

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Trọng Tuân

- *Vật lý phân tử và nhiệt học* - NXB Giáo dục 1999.

2. Đàm Trung Đôn - Nguyễn Trọng Phú

- *Vật lý phân tử và nhiệt học* - NXB Giáo dục 1993.

3. Vũ Thanh Khiết

- *Vật lý Thống kê* - NXB Đại học Quốc gia Hà Nội 1997.

4. Phạm Quý Tư

- *Nhiệt động lực học* - NXB Đại học Quốc gia Hà Nội 1998.

5. Lê Văn

- *Vật lý Phân tử và Nhiệt học*.

6. Lương Duyên Bình (Chủ biên)

- *Vật lý đại cương tập I* - NXB Giáo dục 1999.

7. Vũ Thanh Khiết, Nguyễn Văn Ân, Hoàng Văn Tích

- *Bài tập Vật lý đại cương tập I* - NXB Giáo dục 2000.

8. Ngô Phú An, Nguyễn Xuân Chánh, Nguyễn Hữu Hồ

- *Nhiệt Động học* - NXB Giáo dục 2000.

9. Nguyễn Hữu Hồ, Lê Văn Nghĩa, Nguyễn Tung

- *Bài tập Vật lý đại cương tập I* - NXB Đại học và TH chuyên nghiệp 1987.

10. Nguyễn Tư Bản

- *Nhiệt học* - Đại học khoa học Sài Gòn.

MỤC LỤC

Chương I: MỞ ĐẦU VÀ KHÁI NIỆM CƠ BẢN	Trang: 1÷14
Chương II: NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	Trang: 15÷38
Chương III: THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ	Trang: 39÷55
Chương IV: CÁC HIỆN TƯỢNG ĐỘNG HỌC TRONG CHẤT KHÍ	Trang: 56÷71
Chương V: NGUYÊN LÝ II NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	Trang: 72÷89
Chương VI: PHƯƠNG PHÁP HÀM NHIỆT ĐỘNG và NGUYÊN LÝ III NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	Trang: 90÷101
Chương VII: KHÍ THỰC và HƠI	Trang: 102÷115
Chương VIII: CHẤT LỎNG	Trang: 116÷129
Chương IX: CHẤT RẮN	Trang: 130÷142
Chương X: SỰ CHUYỂN PHA	Trang: 143÷154

GIÁO TRÌNH: VẬT LÝ PHÂN TỬ VÀ NHIỆT HỌC

CHƯƠNG 1 : MỞ ĐẦU VÀ CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1.1 Đối tượng và phương pháp nhiệt học

- 1.1.1 Đối tượng
- 1.1.2 Phương pháp

1.2 Hệ nhiệt động

- 1.2.1 Hệ nhiệt động
- 1.2.2 Hệ con
- 1.2.3 Khoảng ngoài
- 1.2.4 Hệ cô lập
- 1.2.5 Hệ cô lập một phần

1.3 Trạng thái một hệ nhiệt động

- 1.3.1 Thông số trạng thái
- 1.3.2 Phương trình trạng thái
 - 1.3.2.1 Biểu diễn mặt p-V-T
 - 1.3.2.2 Biểu diễn mặt p-V

1.4 Áp suất

- 1.4.1 Định nghĩa
- 1.4.2 Áp suất khí

1.5 Nhiệt độ

- 1.5.1 Nhiệt độ
- 1.5.2 Nguyên lý 0 của nhiệt động lực học
- 1.5.3 Nhiệt lượng
- 1.5.4 Điểm chuẩn, thang nhiệt độ
 - 1.5.4.1 Điểm chuẩn
 - 1.5.4.2 Thang nhiệt độ
 - 1.5.4.3 Độ không tuyệt đối

1.6 Các loại nhiệt kế

- 1.6.1 Nhiệt kế khí
- 1.6.2 Nhiệt kế điện trở

- 1.6.3 Nhiệt kế lỏng
- 1.6.4 Nhiệt kế cặp nhiệt điện
- 1.6.5 Hỏa kế quang học

1.7 Các định luật thực nghiệm về chất khí

- 1.7.1 Định luật Bôi-Mariôt (Boyle-Mariotte)
- 1.7.2 Định luật Sacơ và Gay-Luyxăc
 - 1.7.2.1 Định luật Sacơ (Charles)
 - 1.7.2.2 Định luật Gay-Luyxăc (Gay-Lusac)

1.8 Khí lý tưởng

- 1.8.1 Định nghĩa
- 1.8.2 Phương trình trạng thái khí lý tưởng
- 1.8.3 Khối lượng riêng, thể tích riêng của khí lý tưởng
 - 1.8.3.1 Khối lượng riêng
 - 1.8.3.2 Thể tích riêng
- 1.8.4 Định luật Đantôn (Dalton)

CHƯƠNG 2: NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

2.1 Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

- 2.1.1 Trạng thái cân bằng
- 2.1.2 Quá trình cân bằng

2.2 Nội năng hệ nhiệt động, công và nhiệt

- 2.2.1 Nội năng hệ nhiệt động
- 2.2.2 Công và nhiệt
 - 2.2.2.1 Công
 - 2.2.2.2 Nhiệt
 - 2.2.2.3 Quan hệ công và nhiệt

2.3 Biểu thức công và nhiệt trong quá trình biến đổi cân bằng

- 2.3.1 Biểu thức công
 - 2.3.1.1 Công sinh ra bởi khối khí giãn nở
 - 2.3.1.2 Trường hợp tổng quát
- 2.3.2 Biểu diễn công bằng đồ thị

2.3.3 Biểu thức nhiệt trong quá trình cân bằng

2.3.3.1 Nhiệt dung

2.3.3.2 Nhiệt dung riêng c (tỉ nhiệt)

2.3.4 Nhiệt biến đổi trạng thái (ẩn nhiệt)

2.4 Nguyên lý I nhiệt động lực học

2.4.1 Phát biểu nguyên lý

2.4.2 Ý nghĩa nguyên lý I

2.4.3 Quan hệ giữa nhiệt dung C_p và C_V

2.5 Ứng dụng nguyên lý I để khảo sát một số quá trình biến đổi cân bằng

2.5.1 Quá trình đẳng tích

2.5.2 Quá trình đẳng áp

2.5.3 Quá trình đẳng nhiệt

2.5.4 Quá trình đoạn nhiệt

2.5.5 Quá trình đa biến

2.5.6 Chu trình

2.6 Các hiện tượng truyền nhiệt

2.6.1 Sự dẫn nhiệt

2.6.1.1 Các khái niệm

2.6.1.2 Định luật Fourier về dẫn nhiệt

2.6.2 Truyền nhiệt bằng đối lưu

2.6.2.1 Cơ chế

2.6.2.2 Công thức Newton

2.6.3 Truyền nhiệt bằng bức xạ

2.6.3.1 Bức xạ nhiệt

2.6.3.2 Cân bằng bức xạ nhiệt

CHƯƠNG 3: THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

3.1 Chuyển động nhiệt; số Avogadro

3.1.1 Mô hình cấu tạo phân tử của vật chất

3.1.2 Chuyển động Braonơ

3.2 Thuyết động học chất khí

3.3 Áp suất và nhiệt độ theo thuyết động học phân tử

3.3.1 Áp suất khí tác dụng lên thành bình

3.3.2 Nhiệt độ của khối khí

3.3.3 Một số hệ quả

3.3.3.1 Mật độ phân tử khí

3.3.3.2 Vận tốc căn quân phương

3.4 Nội năng khí lý tưởng

3.4.1 Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do

3.4.1.1 Bậc tự do

3.4.1.2 Định luật

3.4.2 Nội năng khí lý tưởng

3.5 Nhiệt dung riêng của khí lý tưởng

3.5.1 Nhiệt dung phân tử

3.5.2 So sánh kết quả với thực nghiệm

3.6 Phương pháp thống kê; Định luật phân bố phân tử của Maxwell

3.6.1 Xác suất và giá trị trung bình

3.6.1.1 Xác suất

3.6.1.2 Giá trị trung bình

3.6.2 Mật độ xác suất

3.6.2.1 Mật độ xác suất

3.6.2.2 Các giá trị trung bình

3.6.2.3 Số phân tử theo hàm phân bố

3.6.3 Định luật phân bố phân tử theo vận tốc của Măcxoen

3.6.3.1 Định luật

3.6.3.2 Các vận tốc đặc trưng đối với chuyển động của phân tử

3.6.3.3 Số phân tử có vận tốc trong khoảng v và $v + dv$

3.7 Định luật phân bố phân tử theo thế năng của Bônzman

3.7.1 Công thức phong vũ biểu

3.7.2 Định luật phân bố Bônzman

CHƯƠNG 4: CÁC HIỆN TƯỢNG ĐỘNG HỌC TRONG CHẤT KHÍ

4.1. Quỹ đường tự do trung bình của phân tử khí

4.1.1. Số va chạm trung bình

4.1.2. Công thức quỹ đường tự do trung bình

4.2. Hiện tượng khuếch tán

4.2.1. Xét theo quan điểm vĩ mô

4.2.2. Xét theo quan điểm vi mô

4.3. Hiện tượng dẫn nhiệt

4.3.1. Xét theo quan điểm vĩ mô

4.3.2. Xét theo quan điểm vi mô

4.4. Hiện tượng nội ma sát

4.4.1. Xét theo quan điểm vĩ mô

4.4.2. Xét theo quan điểm vi mô

4.5. Phương trình truyền, mối liên hệ giữa các hệ số truyền

4.5.1. Phương trình truyền

4.5.2. Liên hệ giữa các hệ số truyền

4.5.3. Tính gần đúng của các công thức tính hệ số truyền.

4.6. Áp suất thấp

4.6.1. Khái niệm khí hiếm

4.6.2. Hiện tượng nội ma sát và dẫn nhiệt của khí ở áp suất thấp

4.6.3. Cách thực hiện áp suất thấp

4.6.3.1. Bơm dầu

4.6.3.2. Bơm khuyết tán

4.6.4. Đo áp suất thấp

4.6.4.1. Aĩp kế Mắc-Lêôt

4.6.4.2. Aĩp kế ion

4.6.4.3. Aĩp kế nhiệt điện

CHƯƠNG V: NGUYÊN LÝ II NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

5.1. Những hạn chế của nguyên lý I nhiệt động lực học

5.2. Quá trình thuận nghịch và quá trình không thuận nghịch

5.2.1. Quá trình thuận nghịch

5.2.2. Quá trình không thuận nghịch

5.3. Nguyên lý II nhiệt động lực học

5.3.1. Máy nhiệt

5.3.1.1. Động cơ nhiệt

5.3.1.2. Máy làm lạnh

5.3.2. Phát biểu nguyên lý II nhiệt động lực học

5.3.2.1. Phát biểu của Tômxơn (Thomson)

5.3.2.2. Phát biểu của Clodiut (Clausius)

5.4. Chu trình Cárnô và định lý Cárnô

5.4.1. Chu trình Cárnô thuận nghịch

5.4.1.1. Chu trình Cárnô thuận

5.4.1.2. Chu trình Cárnô ngược

5.4.2. Định lý Cárnô

5.4.2.1. Phát biểu

5.4.2.2. Chứng minh

5.4.2.3. Các kết quả rút ra từ định lý Cárnô

5.5. Bất đẳng thức Clausius

5.6. Entropi, nguyên lý tăng entropi

5.6.1. Entropi S

5.6.1.1. Định nghĩa

5.6.1.2. Tính chất của entropi

5.6.2. Nguyên lý tăng entropi đối với quá trình không thuận nghịch

5.6.2.1. Bất đẳng thức Clausius ở dạng hàm entropi

5.6.2.2. Nguyên lý tăng entropi

5.6.3. Entropi của khí lý tưởng

5.6.3.1. Quá trình đoạn nhiệt

5.6.3.2. Quá trình đẳng nhiệt

5.6.3.3. Quá trình bất kỳ

5.6.4. Ý nghĩa của entropi

5.7. Nhiệt giai nhiệt động lực

CHƯƠNG VI: PHƯƠNG PHÁP HÀM NHIỆT ĐỘNG VÀ NGUYÊN LÝ III NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

6.1. Các hệ số nhiệt

6.1.1. Hệ số nở đẳng áp α

6.1.2. Hệ số nén đẳng nhiệt β

6.1.3. Hệ số tăng áp đẳng tích γ

6.1.4. Quan hệ giữa các hệ số nhiệt

6.2. Sự phối hợp giữa hai nguyên lý nhiệt động lực

6.3. Các hàm nhiệt động lực

6.3.1. Hàm nội năng U

6.3.2. Hàm Entanpy $H(S,p)$

6.3.3. Hàm thế nhiệt động Gibbs $G(T,p)$

6.3.4. Hàm năng lượng tự do $F(T,V)$

6.3.5. Các đặc điểm chung

6.4. Thế hóa học, điều kiện cân bằng nhiệt động

6.4.1. Thế hóa học

6.4.2. Điều kiện cân bằng nhiệt động

6.5. Nguyên lý III nhiệt động lực

6.5.1. Nguyên lý III nhiệt động lực

6.5.2. Không thể đạt được độ không tuyệt đối

CHƯƠNG VII: KHÍ THỰC

7.1. Tương tác phân tử

7.1.1. Lực tương tác phân tử

7.1.2. Thế năng tương tác phân tử

7.1.3. Quá trình va chạm giữa hai phân tử khí

7.2. Khí thực, phương trình Vandecvan (Vanderwaals)

7.2.1. Khí thực

7.2.2. Phương trình Vandecvan

7.2.2.1. Hiệu chỉnh về thể tích (cộng tích)

7.2.2.2. Hiệu chỉnh về áp suất (nội áp)

7.2.2.3. Phương trình Vandecvan

7.3. Đường đẳng nhiệt Vandecvan và đường đẳng nhiệt thực nghiệm Ăngdriu

7.3.1. Họ đường đẳng nhiệt Vandecvan

7.3.2. Họ đường đẳng nhiệt thực nghiệm Ăngdriu

7.3.3. Nhận xét

7.3.4. Trạng thái tới hạn

7.4. Nội năng khí thực, hiệu ứng Jun-Tôm-xơn

7.4.1. Nội năng khí thực

7.4.2. Hiệu ứng Jun-Tôm-xơn (Joule-Thomson)

7.4.3. Sự hóa lỏng của khí

7.4.3.1. Giảm nhiệt độ do tiếp xúc với hệ có nhiệt độ thấp hơn

7.4.3.2. Giảm nhiệt độ do giãn khí đoạn nhiệt và sinh công

7.4.3.3. Giảm nhiệt độ bằng hiệu ứng Joule-Thomson dương

CHƯƠNG VIII: CHẤT LỎNG

8.1. Tính chất chung và cấu trúc của chất lỏng

8.1.1. Tính chất chung

8.1.2. Chuyển động phân tử của chất lỏng

8.2. Các hiện tượng mặt ngoài của chất lỏng

8.2.1. Áp suất phân tử

8.2.1.1. Hình cầu tác dụng

8.2.1.2. Áp suất phân tử

8.2.1.3. Đặc điểm

8.2.2. Năng lượng mặt ngoài

8.2.3. Lực căng mặt ngoài

- 8.2.3.1. Lực căng mặt ngoài
- 8.2.3.2. Thực nghiệm xác định lực căng mặt ngoài
- 8.2.4. Một số hiện tượng gây bởi lực căng mặt ngoài
 - 8.2.4.1. Sự nhỏ giọt
 - 8.2.4.2. Kim nổi trên mặt nước
 - 8.2.4.3. Nước đổ trên tấm lưới

8.3. Hiện tượng dính ướt và không dính ướt

- 8.3.1. Hiện tượng
- 8.3.2. Giải thích

8.4. Hiện tượng mao dẫn

- 8.4.1. Aíp suất phụ
- 8.4.2. Hiện tượng mao dẫn
 - 8.4.2.1. Hiện tượng
 - 8.4.2.2. Giải thích
 - 8.4.2.3. Công thức tính độ chênh lệch giữa hai mực chất lỏng

8.5. Aíp suất thẩm thấu

- 8.5.1. Dung dịch loãng
- 8.5.2. Aíp suất thẩm thấu
- 8.5.3. Công thức Van-tơ-hốp (Van't Hoff)

CHƯƠNG IX: CHẤT RẮN KẾT TINH

9.1. Đại cương về chất rắn

- 9.1.1. Chất rắn kết tinh
 - 9.1.1.1. Tinh thể
 - 9.1.1.2. Tính dị hướng của tinh thể
 - 9.1.1.3. Chất rắn đơn tinh thể
 - 9.1.1.4. Chất rắn đa tinh thể
- 9.1.2. Chất rắn vô định hình
- 9.1.3. Tinh thể lỏng

9.2. Cấu trúc tinh thể

- 9.2.1. Những loại mạng tinh thể

- 9.2.1.1. Các đặc trưng chung của mạng tinh thể
- 9.2.1.2. Phân loại mạng tinh thể
- 9.2.2. Những mạng vật lý
 - 9.2.2.1. Tinh thể ion
 - 9.2.2.2. Tinh thể nguyên tử
 - 9.2.2.3. Tinh thể kim loại
 - 9.2.2.4. Tinh thể phân tử
- 9.2.3. Các khuyết tật ở mạng tinh thể
 - 9.2.3.1. Sai hỏng điểm
 - 9.2.3.2. Lệch mạng
 - 9.2.3.3. Sai hỏng mặt
- 9.2.4. Các lực liên kết trong mạng tinh thể
 - 9.2.4.1. Liên kết ion
 - 9.2.4.2. Liên kết đồng hóa trị
 - 9.2.4.3. Liên kết kim loại
 - 9.2.4.4. Liên kết phân tử

9.3. Chuyển động nhiệt trong tinh thể, nhiệt dung

- 9.3.1. Chuyển động nhiệt của phân tử chất rắn
 - 9.3.1.1. Chuyển động nhiệt
 - 9.3.1.2. Các đặc trưng của chuyển động nhiệt
- 9.3.2. Nhiệt dung của chất rắn
 - 9.3.2.1. Ở nhiệt độ cao
 - 9.3.2.2. Ở nhiệt độ thấp
- 9.3.3. Sự giãn nở vì nhiệt của chất rắn
 - 9.3.3.1. Giãn nở dài
 - 9.3.3.2. Giãn nở khối
 - 9.3.3.3. Lực nở và lực co khi vật rắn chịu tác động nhiệt
- 9.3.4. Sự biến dạng của vật rắn tinh thể
 - 9.3.4.1. Biến dạng kéo
 - 9.3.4.2. Biến dạng cắt
 - 9.3.4.3. Giải thích sự biến dạng theo cấu trúc mạng

CHƯƠNG X: SỰ CHUYỂN PHA CỦA VẬT CHẤT.

10.1. Khái niệm về pha, sự chuyển pha

10.1.1. Khái niệm về pha

10.1.2. Sự lệch pha

10.1.2.1. Chuyển pha loại I

10.1.2.2. Chuyển pha loại II

10.2. Một số hiện tượng chuyển pha loại I

10.2.1. Sự nóng chảy và sự đông đặc

10.2.1.1. Đặc điểm

10.2.1.2. Giải thích

10.2.1.3. Sự biến đổi thể tích riêng

10.2.1.4. Ảnh hưởng của áp suất ngoài

10.2.2. Sự hóa hơi và ngưng tụ

10.2.2.1. Đặc điểm

10.2.2.2. Giải thích

10.2.2.3. Hơi bão hòa

10.2.2.4. Sự sôi

10.2.3. Sự thăng hoa và sự ngưng tụ

10.3. Đồ thị trạng thái của nguyên chất, điểm ba

10.3.1. Mặt p.V.T của các chất

10.3.2. Điểm ba

10.3.3. Các miền trên đồ thị trạng thái (giản đồ pha)

10.4. Phương trình Clapeyron-Clausius

10.5. Chuyển pha loại II

10.5.1. Đặc điểm

10.5.2. Thí dụ về biến đổi pha loại II

10.5.2.1. Hiện tượng siêu dẫn

10.5.2.2. Sự chuyển pha của sắt từ sang thuận từ

10.5.2.3. Heli ở nhiệt độ thấp

10.6. Chuyển pha tới hạn (λ)