PGS. TS. NGUYỄN HUY SINH

GIÁO TRÌNH
NHIỆT HỌC

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

PGS. TS. NGUYỄN HUY SINH

GIÁO TRÌNH
NHIỆT HỌC

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

Lời nói đầu

Cuốn Giáo trình nhiệt học được biên soạn theo chương trình đào tạo cử nhân Vật lý của khoa Vật lý trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà nội.

Trong quá trình giảng dạy nhiều năm tại trường Đại học Tổng hợp Hà Nội (trước đây) và trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ngày nay), tác giả đã cố gắng tham khảo và tập hợp tư liệu, kết hợp với kinh nghiệm giảng dạy của mình để biên soạn giáo trình nhằm mục đích : làm cho giáo trình có tính lôgic cao, phương pháp trình bày dễ hiểu và cập nhật thông tin.

Giáo trình này chủ yếu dùng cho sinh viên khoa Vật lý, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, tuy nhiên cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên các khoa khác trong trường, một số trường Đại học kỹ thuật và Cao đẳng khi học môn Nhiệt học.

Trong quá trình biên soạn, tác giả đã nhận được những góp ý quý báu của các đồng nghiệp tại khoa Vật lý trường Đại học Khoa học Tự nhiên về nội dung giáo trình. Tác giả xin chân thành cám ơn.

Mặc dù đã cố gắng đến mức cao nhất, song những thiếu sót là không tránh khỏi. Tác giả xin trân trọng đón nhận và vô cùng biết ơn các thầy, cô giáo, các em học sinh góp ý cho giáo trình để lần tái bản sau được hoàn thiện hơn.

Hà Nội, tháng 05 năm 2006

TÁC GIẢ

CHƯƠNG 1

NHIỆT ĐỘ

1.1. NHIỆT ĐỘ, PHÉP ĐO NHIỆT ĐỘ, SỰ DÃN NỞ NHIỆT

1.1.1. Khái niệm về nhiệt độ

Khái niệm nhiệt ban đầu được xuất phát từ cảm giác nóng, lạnh, ấm v.v... người ta gọi là các trạng thái nhiệt. Trong quá trình phát triển của khoa học người ta nhận thấy rằng, cảm giác về nhiệt độc lập với sự thay đổi của nó và đưa ra một đại lượng vật lý có thể đo được, đặc trưng cho trạng thái nhiệt đó là nhiệt độ. Như vậy, sự thay đổi nhiệt độ là một đại lượng vật lý khác đặc trưng cho sự trao và nhận nhiệt lượng của một vật.

Nhiệt độ và nhiệt lượng đóng vai trò chủ yếu trong các hiện tượng xảy ra thuộc lĩnh vực nhiệt học. Sự thay đổi các đại lượng này làm thay đổi trạng thái của vật. Ban đầu người ta quan niệm nhiệt là "một chất lỏng không trọng lượng", sau đó người ta chứng minh được rằng nhiệt là một dạng năng lượng "năng lượng nhiệt". Các quá trình xảy ra trong tự nhiên thông thường liên quan đến sự chuyển hoá năng lượng nhiệt. Trên cơ sở đó loài người đã sử dụng phần lớn năng lượng nhiệt vào việc ứng dụng khoa học kỹ thuật và công nghệ.

Nhiệt độ là một khái niệm quen thuộc nhưng để hiểu rõ bản chất của nó là một vấn đề không đơn giản.

Các hiện tượng như mùa hè nóng hơn mùa đông, nhiệt độ trong nhà thấp hơn ngoài trời nắng v.v... đều liên quan trực tiếp đến vấn đề là: Nhiệt độ cao nóng hơn nhiệt độ thấp.

Như vậy, nhiệt độ gắn liền với cảm giác nóng – lạnh của con người. Nhưng sự cảm giác về nhiệt độ của con người là không chính xác, bởi vì nhiệt độ độc lập với các giác quan nhạy cảm của chúng ta. Cảm giác nóng – lạnh đều mang tính chất tương đối và không thể phân biệt được nhiệt độ thực của một vật nào đó nếu chỉ dựa vào cảm giác.

Kinh nghiệm cho thấy rằng:

Các tính chất của vật thông thường phụ thuộc vào nhiệt độ: khi nhiệt độ thay đổi thì có thể bản chất của vật cũng thay đổi theo. Ví dụ như độ

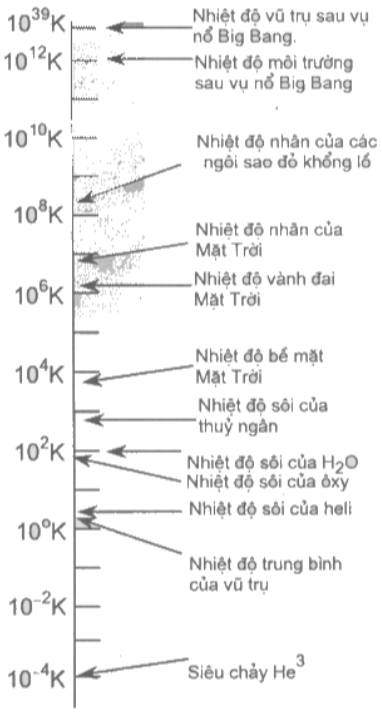
dài, thể tích, mật độ, điện trở, chiết suất v.v... Nếu các vật có nhiệt độ khác nhau tiếp xúc với nhau, khi đó sẽ sinh ra sự thay đổi trạng thái hoặc phản ứng hoá học làm cho vật nóng hơn thì lạnh đi và vật lạnh hơn thì nóng lên, kết quả là chúng sẽ có một nhiệt độ chung. Ta nói rằng vật đã ở trạng thái cân bằng nhiệt độ.

Nhiệt độ là đại lượng có tính đặc biệt mà không đại lượng nào có (như: thời gian, khối lượng, trọng lượng v.v...), đó là nhiệt độ không phải là đại lượng cộng tính.

Ví dụ: 0,5kg + 0,5kg = 1kg; 0,2m + 0,8m = 1m nhưng 1 vật có nhiệt độ 50°C + 1 vật có nhiệt độ 20°C ≠ vật có nhiệt độ 70°C.

Nhiệt độ là một trong bảy đại lượng chuẩn, cơ bản của hệ SI. Nó có thể tăng lên vô hạn nhưng không thể hạ thấp vô hạn. Giới hạn của nhiệt độ thấp được chọn là không độ của thang nhiệt giai Kelvin và nhiệt độ đó được gọi là không độ tuyệt đối (0K).

Hình 1.1 cho biết một số nhiệt độ ở những thời điểm xác định trong thang nhiệt giai Kelvin.

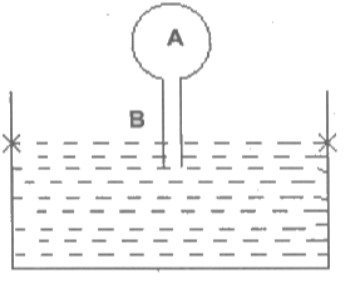


Hình 1.1. **Một số giá trị nhiệt độ xác định trong thang nhiệt giai Kelvin**

1.1.2. Nhiệt nghiệm

Năm 1592, Gallilê lần đầu tiên tạo ra một dụng cụ để đo nhiệt độ. Cấu tạo của dụng cụ này gồm: một bình cầu thuỷ tinh để hở A nối với một ống nhỏ có vòi hở (B) (hình 1.2).

Muốn đo nhiệt độ của một vật nào đó, ta cho vật cần đo tiếp xúc với bình cầu A. Không khí trong bình nóng lên, dãn nở và thoát một phần ra ngoài. Cắm ống nhỏ (B) vào nước. Bình A lạnh đi. Thể tích khí mất đi co lại kéo theo một lượng nước nhỏ dâng lên trong ống (B). Tuỳ theo mức nước



Hình 1.2. **Dụng cụ đo nhiệt độ của Gallilê**

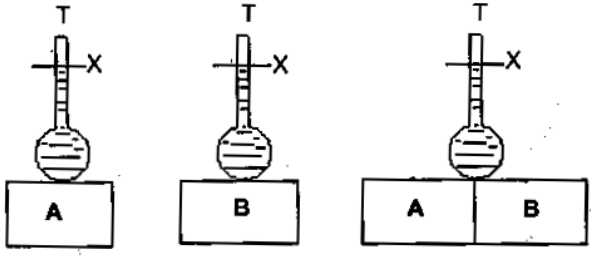
dâng nhiều hay ít, ta nói nhiệt độ của vật đó cao hơn nhiệt độ môi trường nhiều hay ít.

Nhận xét: Dụng cụ này chỉ là một nhiệt nghiệm, nghĩa là chỉ làm nhiệm vụ so sánh nhiệt độ giữa vật và môi trường mà không cho biết định lượng về nhiệt độ. Vậy, muốn đo được nhiệt độ ta phải biến nhiệt nghiệm thành nhiệt kế bằng cách chia các thang đo gọi là các thang nhiệt giai. Tức là cần phải quy ước những điểm chuẩn (thường là các điểm cố định như điểm ba của nước, điểm sôi của nước, hoặc các điểm đặc biệt của một chất nào đó).

1.2. NGUYÊN LÝ SỐ KHÔNG CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Giả thiết rằng, có một dụng cụ xác định nhiệt độ (ví dụ nhiệt nghiệm T). Cần phải xác định nhiệt độ của vật A và vật B.

Muốn đo nhiệt độ vật A, ta cho nhiệt nghiệm T tiếp xúc trực tiếp với vật A (hình 1.3). Với giả thiết toàn bộ hệ đặt trong một hộp kín hoàn toàn cách nhiệt. Sau khi tiếp xúc một thời gian, sự thay đổi trong nhiệt nghiệm dừng lại. Khi đó A và T có cùng một nhiệt độ ổn định (ví dụ X). Ta nói rằng hệ đã ở trạng thái cân bằng nhiệt. Sau đó, lại cho nhiệt nghiệm T tiếp xúc với vật B cho đến khi T và B có giá trị nhiệt độ cân bằng, ta cũng nhận được nhiệt độ chung là X. Bây giờ cho vật A và vật B tiếp xúc trực tiếp với nhau và cũng dùng nhiệt nghiệm T để đo nhiệt độ của hệ vật (A + B). Nhiệt nghiệm T lúc này có chỉ giá trị X không ?



Hình 1.3.
a) Nhiệt nghiệm T và vật A ở trạng thái cân bằng nhiệt
b) Nhiệt nghiệm T và vật B ở trạng thái cân bằng nhiệt
c) Vật A và vật B ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau

Thực nghiệm đã chứng minh rằng, khi cho A và B tiếp xúc nhau rồi dùng nhiệt nghiệm đo cả hệ vật (A + B) nhiệt nghiệm cũng chỉ giá trị X. Ta nói rằng:

Vật A và vật B đã ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau.

Từ kết quả thí nghiệm trên có thể khái quát thành nguyên lý sau đây: "*Nếu các vật A và vật B cùng cân bằng nhiệt với vật thứ 3 thì chúng cân*

bằng nhiệt với nhau". Nguyên lý này được gọi là nguyên lý thứ 0. Đương nhiên khi hai vật cân bằng nhiệt với nhau thì chúng có cùng một nhiệt độ.

Nguyên lý thứ 0 được nêu lên năm 1930 (sau nguyên lý 1 và 2 của nhiệt động lực học), nhưng vì khái niệm về nhiệt độ là nền tảng của nguyên lý 1 và 2. Nguyên lý này đã thiết lập nên khái niệm nhiệt độ nên phải có bậc thấp hơn, vì vậy được đặt tên là nguyên lý thứ 0.

Từ nguyên lý thứ 0 có thể suy ra: Mỗi vật có một tính chất riêng gọi là nhiệt độ và khi 2 vật ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau thì chúng có cùng một nhiệt độ chung. Ngược lại, muốn biết 2 vật có cân bằng nhiệt với nhau hay không, ta không cần cho chúng tiếp xúc nhau mà chỉ cần đo nhiệt độ của chúng một cách độc lập. Nếu chúng có cùng nhiệt độ thì hai vật đó cũng ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau.

1.3. ĐO NHIỆT ĐỘ

Nguyên lý chung: Như phần trên đã xét ta thấy rằng, muốn đo nhiệt độ của một vật cần cho nhiệt nghiệm tiếp xúc trực tiếp với vật mà ta muốn đo nhiệt độ của nó, sau một thời gian (chờ cho nhiệt độ cân bằng), giá trị trên nhiệt nghiệm chính là nhiệt độ của vật. Nhưng nhiệt nghiệm không cho biết định lượng về nhiệt độ của vật, cho nên cần phải biến nhiệt nghiệm thành nhiệt kế. Vậy, nhiệt kế là dụng cụ dùng để xác định nhiệt độ. Nhưng muốn đo được nhiệt độ ta phải chế tạo nhiệt kế theo các thang nhiệt giai khác nhau.

Để xây dựng một thang nhiệt giai, đầu tiên ta chọn một điểm cố định (ví dụ như điểm đóng băng hay điểm sôi của nước) và gọi đó là điểm chuẩn.

Năm 1967 Hội nghị Quốc tế đã thoả thuận chọn điểm ba (điểm tam trùng) của nước làm điểm chuẩn cố định và gán cho giá trị là 273,16K.

Ký hiệu: $T_3 = 273,16K$ là nhiệt độ ở điểm tam trùng (ở nhiệt độ này các trạng thái cân bằng nhiệt của nước, nước đá và hơi nước cùng tồn tại).

1.3.1. Nhiệt kế khí có thể tích không đổi

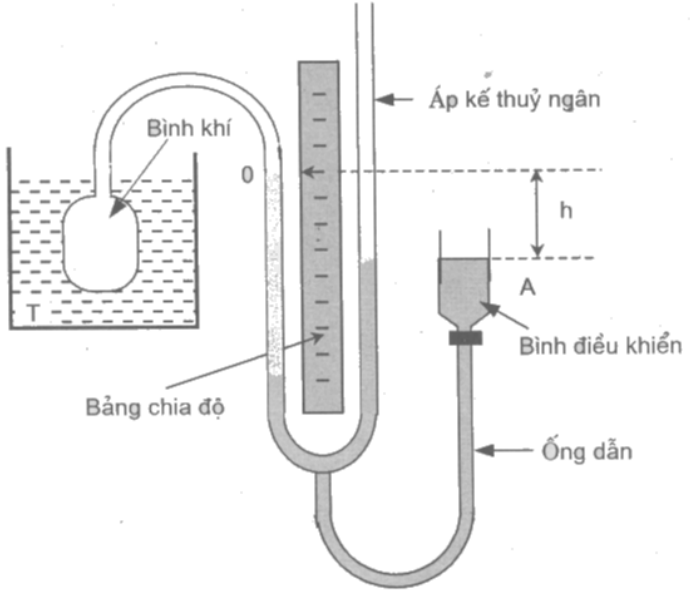
Người ta chọn nhiệt kế chuẩn dựa vào áp suất tác dụng lên một chất khí chứa trong bình có thể tích không đổi để chuẩn các nhiệt kế khác. Hình 1.4 mô tả một nhiệt kế khí có thể tích không đổi.

Nhiệt kế này bao gồm một bình thuỷ tinh chứa đầy khí, một ống dẫn nối với áp kế thuỷ ngân và bình điều khiển A. Các dụng cụ được nối với nhau như hình vẽ. Khi nâng bình A lên hay hạ xuống, mức thủy ngân ở

nhánh trái luôn chỉ số không, đảm bảo thể tích trong bình khí là không đổi. Nhiệt độ của vật muốn đo tiếp xúc với bình khí là T thì T tỷ lệ thuận với áp suất của bình khí khi thể tích V= const, nghĩa là T = C.p (với C là một hằng số) và tỷ lệ thuận với áp suất p theo hệ thức:

$$p = p_o + \rho gh \tag{1.1}$$

Ở đây p_o là áp suất khí quyển, ρ là khối lượng riêng của thuỷ ngân và h là độ chênh lệch mức thuỷ ngân trong hai nhánh của khí áp kế.



Hình 1.4. **Nhiệt kế khí có thể tích không đổi**

Khi đem bình khí nhúng vào điểm ba của nước ta có:

$$T_3 = Cp_3 \tag{1.2}$$

Với p_3 là áp suất bình khí ở tại điểm tam trùng của nước. Khi đó:

$$C = \frac{T_3}{p_3}$$

như vậy nhiệt độ của vật sẽ là:

$$T = T_3\left(\frac{p}{p_3}\right) = 273{,}16K\left(\frac{p}{p_3}\right) \tag{1.3}$$

Nếu giảm dần lượng khí (m) trong bình chứa, các giá trị đo được sẽ hội tụ tại một điểm duy nhất (bất kỳ là loại khí gì). Vì vậy, biểu thức nhiệt độ của vật muốn đo sẽ là:

$$T = 273{,}16K\left(\lim_{m\to 0}\frac{p}{p_3}\right) \qquad (1.4)$$

Khi giảm dần lượng khí trong bình chứa đến 0 ta có thể ngoại suy được tỷ số p/p_3 trong phương trình (1.4). Các giá trị nhiệt độ xác định như vậy gọi là nhiệt độ của khí lý tưởng.

Một số nhiệt độ sơ cấp cố định trong thang nhiệt giai quốc tế được thống kê trong bảng sau đây:

Bảng 1.1. **Một vài điểm cố định trong thang nhiệt giai Kelvin**

Chất	*Điểm chọn cố định*	*Nhiệt độ (K)*
H_2	Điểm ba	13,81
H_2	Điểm sôi	20,28
Neon	Điểm sôi	27,102
O_2	Điểm ba	54,361
Ar	Điểm ba	83,798
O_2	Điểm sôi	90,108
Nước	Điểm sôi	373,125
Sn	Điểm nóng chảy	505,074
Zn	Điểm nóng chảy	692,664
Ag	Điểm nóng chảy	1235,08
Au	Điểm nóng chảy	1337,58

1.3.2. Nhiệt giai quốc tế, nhiệt giai Celsi và nhiệt giai Fahrenheit

Người ta lấy thang nhiệt giai Kelvin (K) làm nhiệt giai quốc tế sử dụng trong khoa học cơ bản. Trong thang nhiệt giai này, người ta quy định điểm tam trùng của nước là 273,16K và 0K là nhiệt độ không tuyệt đối. Tuy nhiên, một số nước trên thế giới còn sử dụng các loại nhiệt giai Celsi (^oC), Fahrenheit (^oF) và Rankine (^oR).

Thông thường nhiệt giai Celsi (còn gọi là nhiệt giai bách phân) lấy nhiệt độ của nước đá đang tan là 0^oC và điểm sôi của nước là 100^oC ở áp suất chuẩn. Chia khoảng cách trên nhiệt kế từ 0^oC đến 100^oC thành 100 phần bằng nhau, mỗi phần gọi là 1^oC. Như vậy, nếu T_C là nhiệt độ trong thang nhiệt giai Celsi và T là nhiệt độ trong thang nhiệt giai Kelvin thì:

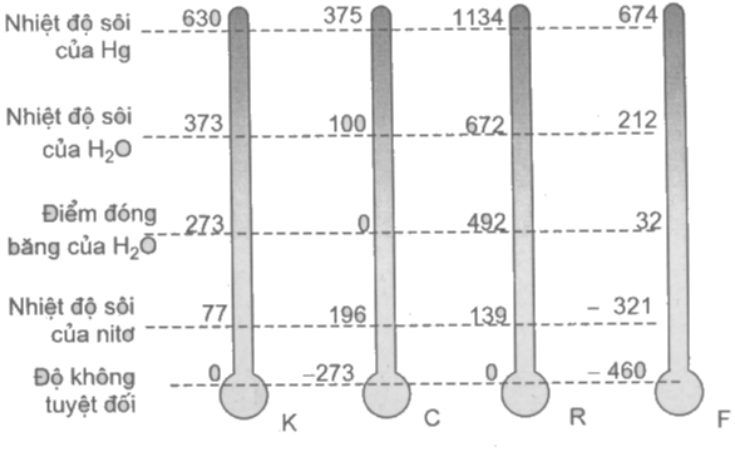
$$T_C = T - 273{,}16K \text{ hoặc } T(K) = T_C + 273{,}16 \quad (1.5)$$

(Bởi vì ứng với 0°C thì trong thang nhiệt giai Kelvin là 273,16K)

Nhiệt giai Fahrenheit được dùng ở Anh, Mỹ và một vài nước khác. Trong thang nhiệt giai Fahrenheit, ứng với nhiệt độ nước đá đang tan (0°C) là 32°F và nhiệt độ sôi của nước là (100°C) là 212°F. Vì vậy:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^0 \quad (1.6)$$

Ở đây T_F là nhiệt độ trong thang nhiệt giai Fahrenheit. Thang nhiệt giai Rankine (°R) có điểm không trùng với thang nhiệt giai Kelvin và điểm đóng băng của nước là 492°R (hình 1.5).



Hình 1.5. **So sánh các nhiệt giai Kelvin (K), Celsi (°C), Fahrenheit (°F) và Rankine (°R)**

Bảng 1.2 cho biết một số nhiệt độ được xác định trong các thang nhiệt giai Celsi (bách phân) và nhiệt giai Fahrenheit.

Bảng 1.2. **Một số điểm tính theo thang nhiệt giai Celsi và Fahrenheit**

Nhiệt độ	*°C*	*°F*
Điểm sôi của nước	100	212
Thân nhiệt bình thường	37,0	98,6
Mức độ dễ chịu	20	68
Điểm đóng băng của nước	0	32
Số không của nhiệt giai Farenheit	≈ –18	0
Điểm hai nhiệt giai trùng nhau	–40	–40