

Sơ lược về Nhiệt độ và Nhiệt học

Beverly T. Lynds (blynds@unidata.ucar.edu)

Nhiệt độ là gì ?

Một cách định tính, chúng ta có thể mô tả nhiệt độ của một vật là đại lượng xác định cảm giác nóng hoặc lạnh khi ta tiếp xúc với nó.

Dễ dàng chứng minh được rằng khi ta đặt hai vật đồng chất ở cùng nhau (các nhà vật lý nói rằng chúng được đặt tiếp xúc nhiệt với nhau), thì vật có nhiệt độ cao hơn sẽ lạnh đi, còn vật có nhiệt độ thấp hơn sẽ nóng lên, cho tới khi đạt tới một giá trị nào đó thì không còn có sự biến đổi gì nữa, và đối với giác quan của chúng ta, chúng ta cảm nhận được chúng như nhau. Khi sự biến đổi nhiệt dừng lại, chúng ta nói hai vật (các nhà vật lý định nghĩa chặt chẽ hơn là hai hệ) cân bằng nhiệt với nhau. Khi đó, chúng ta có thể định nghĩa nhiệt độ của hệ bằng cách nói rằng đại lượng đó là như nhau đối với cả hai hệ khi chúng ở vào trạng thái cân bằng nhiệt với nhau.

Nếu chúng ta tiếp tục thí nghiệm với nhiều hơn hai hệ, chúng ta nhận thấy rằng nhiều hệ có thể được mang vào trạng thái cân bằng nhiệt với nhau; sự cân bằng nhiệt không phụ thuộc vào loại vật mà ta sử dụng. Nói chính xác hơn thì

*khi hai hệ độc lập nhau cân bằng nhiệt với một hệ thứ ba
thì khi đó chúng cũng cân bằng nhiệt với nhau*

và chúng phải có cùng nhiệt độ, cho dù chúng được làm bằng chất gì cũng vậy.

Phát biểu in nghiêng ở trên có tên là *nguyên lý thứ không của nhiệt động lực học*, có thể được phát biểu lại như sau:

Nếu có ba hay nhiều hơn ba hệ tiếp xúc nhiệt với nhau và cùng cân bằng nhiệt với nhau, thì lấy bất kì hai hệ độc lập nào cũng phải cân bằng nhiệt với hệ còn lại.

Giờ thì một trong ba hệ có thể là một dụng cụ được chia độ để đo nhiệt độ - tức là nhiệt kế. Khi một cái nhiệt kế được chia độ sẵn đặt tiếp xúc nhiệt với một hệ và đạt tới sự cân bằng nhiệt, khi đó chúng ta sẽ có số đo định lượng nhiệt độ của hệ. Ví dụ, một nhiệt kế thủy ngân đơn giản được đặt dưới lưỡi của bệnh nhân và cho phép đạt tới sự cân bằng nhiệt trong miệng của bệnh nhân – rồi chúng ta nhìn xem mức độ thủy ngân óng ánh giãn nở trong ống và đọc thang đo của nhiệt kế để biết nhiệt độ của bệnh nhân.

Nhiệt kế là gì ?

Nhiệt kế là dụng cụ dùng để đo nhiệt độ của hệ một cách định lượng. Cách đơn giản nhất là tìm một chất có tính chất biến thiên đều đặn theo nhiệt độ của nó. Phương pháp “chính thống” trực tiếp nhất là phương pháp tuyến tính

$$t(x) = a(x) + b$$

trong đó t là nhiệt độ của chất và biến thiên khi tính chất x của chất biến thiên. Các hằng số a và b tùy thuộc vào loại chất sử dụng và có thể định giá bằng việc định rõ hai điểm nhiệt độ trên thang đo, như 32° cho điểm đông đặc của nước và 212° cho điểm sôi của nước.

Ví dụ, nguyên tố thủy ngân là chất lỏng trong ngưỡng nhiệt độ từ $-38,9^{\circ}\text{C}$ đến $356,7^{\circ}\text{C}$ (chúng ta sẽ bàn về thang nhiệt độ Celsius $^{\circ}\text{C}$ ở phần sau). Ở trạng thái lỏng, thủy ngân nở ra khi nhiệt độ của nó tăng, tỉ lệ giãn nở của nó là tuyến tính và có thể được xác định một cách chính xác.



Nhiệt kế thủy ngân được minh họa trong hình trên, gồm một bầu thủy tinh chứa đầy thủy ngân được phép giãn nở trong một ống mao dẫn, tỉ lệ giãn nở của thủy ngân được đánh dấu trên ống thủy tinh.

Lịch sử phát triển của nhiệt kế và các thang đo nhiệt độ

Một trong những nỗ lực đầu tiên nhằm chế tạo một thang đo nhiệt độ chuẩn đã xuất hiện hồi khoảng năm 170, khi Galen, trong những tác phẩm y học của ông, đã đề xuất chuẩn nhiệt độ “trung hòa” tạo thành từ những lượng bằng nhau của nước sôi và băng tuyết; ở mỗi phía của nhiệt độ này tương ứng là bốn độ nóng và bốn độ lạnh.

Những dụng cụ đầu tiên dùng để đo nhiệt độ được gọi là nhiệt nghiệm.



Cấu tạo của chúng gồm một bầu thủy tinh có một ống dài nhúng xuống vào một bình chứa nước có màu, mặc dù hồi năm 1610 Galileo đã đề nghị sử dụng rượu. Một phần không khí trong bầu bị tống ra ngoài trước khi nhúng nó vào chất lỏng, làm cho chất lỏng dâng lên trong ống. Khi phần không khí còn lại trong bầu được làm cho nóng lên hay lạnh đi, mực chất lỏng trong ống sẽ phản ánh sự biến đổi nhiệt độ không khí. Một thang đo khắc sẵn trên ống cho phép đo định lượng độ lên xuống của nhiệt độ.

Không khí ở trong bầu được xem là môi trường đo nhiệt, tức là môi trường có tính chất biến thiên theo nhiệt độ.

Năm 1641, lần đầu tiên nhiệt kế hàn kín sử dụng chất lỏng thay cho không khí làm môi trường đo nhiệt được phát triển bởi công tước Ferdinand II. Nhiệt kế của ông dùng rượu đựng trong bầu thủy tinh hàn kín, với 50 “độ” được đánh dấu trên ống,

nhưng không có “điểm cố định” nào dùng làm điểm không của thang đo. Do đó, chúng thường được xem là loại nhiệt kế “cảm tính”.

Robert Hook, ủy viên Hội Hoàng gia, vào năm 1664 đã dùng thuốc nhuộm màu đỏ trong rượu. Thang đo của ông, mỗi độ tương ứng với đương lượng tăng thể tích khoảng 1/500 phần thể tích chất lỏng trong nhiệt kế, chỉ cần một điểm cố định. Ông chọn điểm đông đặc của nước. Bằng cách lập thang đo theo kiểu này, Hook chỉ rõ rằng một thang đo chuẩn có thể được thiết lập cho những chiếc nhiệt kế có kích thước đủ cỡ. Chiếc nhiệt kế nguyên bản của Hook trở thành chuẩn của trường Gresham và được Hội Hoàng gia sử dụng cho tới năm 1709 (Những hồ sơ sổ sách khí tượng học để hiểu đầu tiên đã sử dụng thang đo này).

Năm 1702, nhà thiên văn học Ole Roemer, ở Copenhagen, thiết lập thang đo sử dụng hai điểm cố định: tuyết (hoặc băng vụn) và điểm sôi của nước, và ông đã ghi lại nhiệt độ hàng ngày ở Copenhagen từ năm 1708 đến 1709 với chiếc nhiệt kế này.

Năm 1724, Gabriel Fahrenheit, nhà chế tạo dụng cụ ở Däänzig và Amsterdam, dùng thủy ngân làm chất lỏng đo nhiệt. Sự giãn nở nhiệt của thủy ngân lớn và khá ổn định, nó không bám dính vào thủy tinh, và nó vẫn ở thể lỏng trong một ngưỡng nhiệt độ rộng. Về ngoài lỏng lạnh của nó làm cho nó dễ đọc.

Fahrenheit mô tả cách chia độ thang đo của nhiệt kế thủy ngân của ông như sau:

“đặt nhiệt kế vào trong hỗn hợp gồm muối amoniac hoặc muối biển, băng và nước, điểm đầu tiên trên thang đo thu được được đánh dấu làm điểm không. Điểm thứ hai thu được nếu cũng dùng hỗn hợp trên nhưng không có muối. Đánh dấu điểm này là 30. Điểm thứ ba, được đánh dấu 96, thu được nếu đặt nhiệt kế trong miệng để thu nhiệt của cơ thể người khỏe mạnh” (D. G. Fahrenheit, *Phil. Trans. (London)* 33, 78, 1724).

Trên thang đo này, Fahrenheit đo được điểm sôi của nước là 212. Sau đó, ông đã điều chỉnh điểm đông đặc của nước là 32 để cho khoảng giữa điểm sôi và điểm đông đặc của nước có thể được biểu thị bằng số 180 thích hợp hơn. Nhiệt độ đo theo thang này được gọi là độ Fahrenheit (°F).

Năm 1745, Carolus Linnaeus ở Uppsala, Thụy Điển, mô tả một thang đo trong đó điểm đông đặc của nước là 0, và điểm sôi là 100, khiến nó là một thang đo bách phân (100 nấc). Anders Celsius (1701-1744) lại dùng thang đo ngược lại, trong đó 100 biểu thị điểm đông đặc của nước và 0 biểu thị điểm sôi của nước, tuy nhiên, vẫn có 100 độ giữa hai điểm đã xác định trước đó.

Năm 1948, việc dùng thang đo bách phân được điều chỉnh thành một thang đo mới sử dụng độ Celsius (°C). Nhiệt giai Celsius được định nghĩa bằng hai luận điểm sau (chúng ta sẽ bàn kĩ hơn về nó trong phần sau bài viết này):

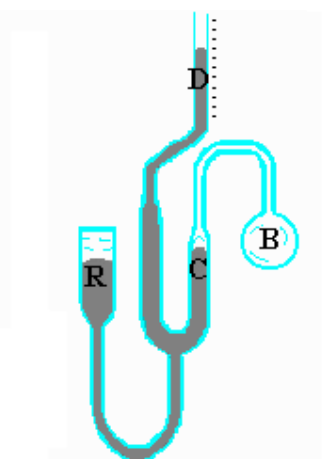
- (i) Điểm ba của nước được định nghĩa là 0,01°C.
- (ii) Một độ Celsius bằng với một độ trong nhiệt giai khí lí tưởng.

Trong nhiệt giai Celsius, điểm sôi của nước ở áp suất khí quyển chuẩn là 99,975°C, trái với 100 được xác định trong thang đo bách phân.

Để đổi từ độ Celsius sang độ Fahrenheit: nhân với 1,8 và cộng thêm 32.

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$$

Năm 1780, J. A. C. Charles, nhà vật lý người Pháp, chỉ rõ rằng đối với cùng một độ tăng nhiệt độ, tất cả các chất khí biểu hiện độ tăng thể tích như nhau. Bởi vì hệ số giãn nở của chất khí rất gần nhau, cho nên có thể thiết lập một thang đo nhiệt độ trên cơ sở một điểm cố định thay cho thang đo có hai điểm cố định, như thang đo Fahrenheit và Celsius. Việc này đưa chúng ta trở lại với nhiệt kế sử dụng chất khí làm môi trường đo nhiệt.



Nhiệt kế khí thể tích không đổi

Trong nhiệt kế khí thể tích không đổi, bầu lớn B chứa chất khí, hydrogen chẳng hạn, dưới một áp suất định trước, nối với một áp kế chứa đầy thủy ngân bằng một ống có thể tích rất nhỏ. (Bầu B là phần chia cảm nhiệt và phải chứa đa phần lượng hydrogen). Mực thủy ngân ở C có thể điều chỉnh bằng cách nâng hay hạ khối thủy ngân trong bình R. Áp suất của khí hydrogen, là biến x trong mối quan hệ tuyến tính với nhiệt độ, là độ chênh lệch giữa mực D và C cộng với áp suất phía trên D.

P. Chappuis, vào năm 1887, đã tiến hành nghiên cứu trên phạm vi rộng các nhiệt kế khí có áp suất không đổi, hoặc thể tích không đổi, dùng hydrogen, nitrogen, và carbon dioxide làm môi trường đo nhiệt. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu của ông, Comité International des Poids et Mesures đã công nhận nhiệt giai hydrogen thể tích không đổi dựa trên các điểm cố định tại điểm băng (0°C) và điểm hóa hơi của nước (100°C) là thang đo thực hành dùng trong ngành khí tượng quốc tế.

Các thí nghiệm với nhiệt kế khí cho thấy có rất ít sự khác biệt về thang đo nhiệt độ đối với những chất khí khác nhau. Như vậy, người ta có thể thiết lập được một thang đo nhiệt độ độc lập với môi trường đo nhiệt nếu đó là chất khí ở áp suất thấp. Trong trường hợp này, mọi chất khí đều hành xử giống như “khí lí tưởng” và có một mối liên hệ rất đơn giản giữa áp suất, thể tích và nhiệt độ của chúng:

$$pV = \text{hằng số} \cdot T$$

Nhiệt độ này được gọi là *nhiệt độ nhiệt động lực học*, và ngày nay được công nhận là số đo cơ bản của nhiệt độ. Lưu ý rằng có một điểm 0 được tự nhiên xác định trong nhiệt giai này – đó là điểm mà tại đó áp suất của khí lí tưởng bằng không, làm cho nhiệt độ cũng bằng không. Chúng ta sẽ tiếp tục nói về “độ không tuyệt đối” trong phần sau. Với điểm 0 này trên thang đo, chỉ cần định nghĩa một điểm cố định là đủ. Năm 1933, Ủy ban quốc tế về Cân nặng và Đo lường công nhận điểm cố định này đó điểm ba của nước (nhiệt độ tại đó nước, băng và hơi nước cùng tồn tại ở

trạng thái cân bằng); giá trị của nó được thiết đặt là 273,16. Đơn vị nhiệt độ trong nhiệt giai này là kelvin, ghi công của huân tước Kelvin (William Thompson), 1824-1907, và kí hiệu là K (không có kí hiệu độ).

Đổi từ độ Celsius sang kelvin, ta cộng thêm 273

$$K = ^\circ C + 273$$

Nhiệt độ nhiệt động lực học là nhiệt độ cơ sở; đơn vị của nó là kelvin, được định nghĩa là phần 1/273,16 của nhiệt độ nhiệt động lực học của điểm ba của nước.

Ngài William Siemens, vào năm 1871, đề xuất một nhiệt kế có môi trường đo nhiệt là kim loại dẫn điện có điện trở biến thiên theo nhiệt độ. Nguyên tố platinum không bị oxi hóa ở nhiệt độ cao và có sự điện trở biến thiên tương đối ổn định theo nhiệt độ trong một ngưỡng nhiệt lớn. *Nhiệt kế điện trở platinum* ngày nay được sử dụng rộng rãi là nhiệt kế nhiệt điện và có thể đo nhiệt độ từ - 260°C đến 1235°C.

Một số nhiệt độ được chấp nhận làm điểm tham chiếu cơ sở để định nghĩa Nhiệt giai quốc tế năm 1968. Nhiệt giai quốc tế năm 1990 được Ủy ban quốc tế về Cân nặng và Đo lường công nhận tại cuộc họp vào năm 1989. Giữa 0,65 K và 5,0 K, nhiệt độ được xác định dưới dạng mối liên hệ áp suất hơi – nhiệt độ của các đồng vị helium. Giữa 3,0 K và điểm ba của neon (24,5561 K), nhiệt độ được xác định bằng nhiệt kế khí helium. Giữa điểm ba của hydrogen (13,8033 K) và điểm đông đặc của bạc (961,78 K), nhiệt độ được xác định bằng nhiệt kế điện trở platinum. Trên điểm đông đặc của bạc, nhiệt độ được xác định bằng định luật bức xạ Planck.

Năm 1826, T. J. Seebeck, phát hiện thấy khi nối các dây kim loại khác nhau ở một đầu và đun nóng nó, có một dòng điện chạy từ sợi này sang sợi kia. Lực điện động phát sinh có thể liên hệ định lượng với nhiệt độ và do đó hệ có thể được sử dụng làm nhiệt kế - gọi là cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện được dùng trong công nghiệp, và nhiều kim loại được sử dụng – ví dụ như platinum và platinum/rhodium, nickel-chromium và nickel-aluminum. Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ quốc gia Mỹ (NIST) vẫn lưu giữ cơ sở dữ liệu để chuẩn hóa các nhiệt kế.

Trong các phép đo ở nhiệt độ rất thấp, tính nhạy từ của chất thuận từ được dùng làm đại lượng vật lý đo nhiệt. Đối với một số chất, tính nhạy từ biến thiên tỉ lệ nghịch với nhiệt độ. Các tinh thể như magnesium nitrate và phèn chromic potassium được dùng để đo nhiệt độ dưới 0,05 K; các tinh thể này được định cỡ trong helium lỏng. Đối với những nhiệt độ rất thấp, và thấp hơn nữa, nhiệt kế cũng nằm trong cơ cấu làm lạnh. Một số phòng thí nghiệm nhiệt độ thấp trên thế giới đang tiến hành nghiên cứu trên lý thuyết và triển khai thực hiện nhằm đạt tới nhiệt độ thấp nhất có thể được và tìm kiếm các ứng dụng thực tiễn của nhiệt độ thấp.

Nhiệt lượng và Nhiệt động lực học

Cho tới thế kỉ 19, người ta vẫn tin rằng cảm giác nóng hay lạnh mà một vật mang đến được xác định bởi “lượng nhiệt” mà nó chứa. Nhiệt lượng được hình dung là một thứ chất lỏng chảy từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn, chất lỏng không trọng lượng này được gọi tên là “caloric”, và mãi cho tới các tác phẩm của Joseph Black (1728-1799), không có sự phân biệt nào giữa nhiệt lượng và nhiệt độ. Black đã phân biệt giữa số lượng (caloric) và cường độ (nhiệt độ) của nhiệt.

Benjamin Thomson, Count Rumford, cho in một bài báo vào năm 1798 tựa đề “Khảo sát nguồn nhiệt được kích thích bằng ma sát”. Rumford đã lưu ý tới số lượng lớn nhiệt sinh ra khi khoan một khẩu đại bác. Ông ngờ rằng chất nhiệt đang tuôn chảy vào khẩu đại bác và kết luận “có vẻ quá khó khăn cho tôi nếu không thể hình dung ra một ý tưởng riêng nào về một cái gì đó có khả năng bị kích thích và truyền theo kiểu như nhiệt được kích thích và truyền trong những thí nghiệm này, ngoại trừ chuyển động”.

Nhưng vẫn không có gì biến chuyển cho tới khi J. P. Joule công bố một bài báo chắc nịch, vào năm 1847, trong đó ý tưởng về caloric bị bác bỏ. Joule đã chỉ rõ một cách thuyết phục rằng nhiệt là một dạng năng lượng. Kết quả từ những thí nghiệm của Rumford, Joule, và những người khác, người ta đã chứng minh được (như Helmholtz phát biểu rõ ràng hồi năm 1847), các dạng năng lượng khác nhau có thể chuyển hóa lẫn nhau.

Khi nhiệt chuyển hóa thành bất kì dạng năng lượng nào khác, hay khi các dạng năng lượng khác chuyển hóa thành nhiệt, thì tổng năng lượng (nhiệt cộng với năng lượng khác) của hệ là một hằng số.

Đây là *định luật thứ nhất của nhiệt động lực học*, định luật về sự bảo toàn năng lượng. Một phát biểu khác của nó là: không có cách nào, dù là bằng cơ chế cơ học, nhiệt học, hóa học hay bất kì cơ chế nào khác, chế tạo được động cơ chuyển động vĩnh cửu, tức là loại động cơ tự sinh ra năng lượng riêng của nó (ngoại trừ trong thế giới viễn tưởng như *Waterfall* của Maurits Escher !).

Cũng có thể phát biểu theo cách thứ hai nói về hoạt động của động cơ. Một động cơ hơi nước sử dụng nguồn nhiệt để sinh công. Vậy người ta có thể chuyển hóa hoàn toàn năng lượng nhiệt thành công, tức là chế tạo một cỗ máy có hiệu suất 100% hay không ? Câu trả lời được tìm thấy ở *định luật thứ hai nhiệt động lực học*.

Không có loại động cơ tuần hoàn nào có thể chuyển hóa toàn bộ năng lượng nhiệt thành những dạng năng lượng khác. Không thể chế tạo loại động cơ tuần hoàn không làm gì khác mà có thể rút lấy năng lượng nhiệt và chuyển nó thành năng lượng cơ.

Định luật thứ hai của nhiệt động lực học đưa đến tính không thuận nghịch trong những quá trình nhất định – như quá trình chuyển toàn bộ nhiệt thành năng lượng cơ, mặc dù có thể có loại động cơ không cần làm gì cả vẫn chuyển hóa được năng lượng cơ thành nhiệt !

Sadi Carnot (1796-1832) đã tiến hành nghiên cứu lí thuyết hiệu suất của động cơ nhiệt (loại động cơ chuyển hóa một phần năng lượng nhiệt thành công có ích). Công trình nghiên cứu lí thuyết của ông đã cung cấp cơ sở cho những cải tiến kĩ thuật ở động cơ hơi nước và cũng đặt nền tảng cho nhiệt động lực học. Ông mô tả một loại động cơ lí tưởng, gọi là động cơ Carnot, đó là loại hiệu quả nhất mà một động cơ có thể được chế tạo. Ông chỉ rõ hiệu suất của động cơ nhiệt loại như vậy được cho bởi

$$\text{hiệu suất} = 1 - T'' / T'$$

trong đó T' và T'' tương ứng là nhiệt độ của “nguồn nóng” và “nguồn lạnh” mà giữa chúng động cơ hoạt động. Trong thang nhiệt độ này, một động cơ nhiệt có nguồn lạnh nhất là 0 độ sẽ hoạt động với hiệu suất 100%. Đây là một định nghĩa của độ không tuyệt đối, và nó có thể được dùng để nhận ra độ không tuyệt đối như chúng

ta đã đề cập tới trong phần trước. Thang nhiệt độ này được gọi là nhiệt giai tuyệt đối, nhiệt giai nhiệt động lực học, hay nhiệt giai Kelvin.

Phương pháp mà nhiệt giai khí và nhiệt giai nhiệt động lực học dùng để nhận ra độ không tuyệt đối là dựa trên cách hiểu *vi mô* của nhiệt độ, coi đại lượng vĩ mô có thể đo được gọi là nhiệt độ là kết quả của chuyển động hỗn loạn của các hạt vi mô cấu tạo nên hệ.

Thuyết động học phân tử

Cũng vào khoảng thời gian mà nhiệt động lực học phát triển, James Clerk Maxwell (1831-1879) và Ludwig Boltzmann (1844-1906) đã phát triển một lý thuyết mô tả cách các phân tử chuyển động – thuyết động học phân tử. Các phân tử cấu tạo nên chất khí hoàn chỉnh chuyển động qua lại, va chạm lên nhau như những quả billard và bật khỏi bề mặt thành bình chứa chúng. Năng lượng liên quan với chuyển động được gọi là động năng, và cách tiếp cận động năng này đối với hành trạng của khí lý tưởng đã dẫn tới một cách hiểu về khái niệm nhiệt độ ở cấp vi mô.

Lượng động năng mà mỗi phân tử có là một hàm theo nhiệt độ của nó; đối với một số lượng lớn phân tử trong chất khí (cả ở nhiệt độ thấp), phải có một khoảng giới hạn của vận tốc trong khoảng thời gian chốc lát nào đó. Độ lớn vận tốc của các hạt khác nhau biến thiên rất nhiều – không có hai hạt nào được mong đợi là có vận tốc chính xác bằng nhau. Một số có thể chuyển động rất nhanh, trong khi một số khác lại chậm chạp. Maxwell nhận thấy ông có thể biểu diễn sự phân bố vận tốc về mặt thống kê bằng một hàm gọi là *hàm phân bố Maxwell*. Va chạm giữa các phân tử và thành bình chứa sẽ tăng lên khi áp suất chất khí tăng. Bằng cách xét lực trung bình tác dụng bởi một va chạm phân tử lên thành bình, Boltzmann có thể chỉ ra rằng động năng trung bình của các phân tử có thể so sánh trực tiếp với áp suất đo được, và động năng trung bình càng lớn thì áp suất càng lớn. Từ định luật Boyle, chúng ta biết rằng áp suất tỉ lệ trực tiếp với nhiệt độ, do đó, động năng của các phân tử liên hệ trực tiếp với nhiệt độ chất khí. Mỗi quan hệ đơn giản đó như sau:

$$\text{động năng trung bình của phân tử} = 3/2 kT$$

trong đó k là hằng số Boltzmann. Nhiệt độ là số đo năng lượng chuyển động nhiệt, và ở nhiệt độ bằng 0, năng lượng đạt cực tiểu (theo cơ học lượng tử, chuyển động điểm không vẫn tồn tại ở 0 K).

Vào tháng 7/1995, các nhà vật lý ở Boulder, Colorado, đã thu được một nhiệt độ thấp hơn nhiều so với các nhiệt độ đã được tạo ra trước đó, và tạo ra một trạng thái hoàn toàn mới của vật chất đã được Albert Einstein và Satyendra Nath Bose dự đoán nhiều thập kỷ trước. Thông cáo báo chí mô tả bản chất của thí nghiệm này và mô tả đầy đủ về hiện tượng này có tại trang BEC của trường đại học Colorado (<http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/index.html>).

Đối với một hệ chứa một số lượng rất lớn phân tử cần đến phương pháp thống kê để giải quyết vấn đề. Khoảng năm 1902, J. W. Gibbs (1839-1903) đã đưa ra cơ học thống kê, với nó ông đã chứng minh được giá trị trung bình của các tính chất của một hệ có thể được dự đoán trước như thế nào từ việc phân tích những giá trị khả dĩ nhất của các tính chất này tìm thấy từ một số lượng lớn hệ giống như vậy. Lại một lần nữa, trong cách hiểu cơ học thống kê của nhiệt động lực học, thông số quan trọng bậc nhất được nhận biết theo nhiệt độ có thể liên hệ trực tiếp với nhiệt độ

hiệu động lực học, với nhiệt độ của phân bố Maxwell, và với định luật chất khí hoàn hảo.

Nhiệt độ trở thành một đại lượng có thể định nghĩa, hoặc dưới dạng các đại lượng nhiệt động lực học vĩ mô như nhiệt và công, hoặc, cũng có giá trị nhận dạng và hợp thức tương đương, dưới dạng một đại lượng đặc trưng cho sự phân bố năng lượng giữa các hạt trong hệ.

Với cách hiểu này của khái niệm nhiệt độ, người ta có thể giải thích được cách thức nhiệt lượng (năng lượng nhiệt) chảy từ vật này sang vật khác. Năng lượng nhiệt được mang bởi các phân tử dưới dạng chuyển động của chúng và một phần của năng lượng nhiệt, qua các va chạm phân tử, được truyền cho các phân tử của vật thứ hai khi đặt tiếp xúc với vật. Cơ chế truyền năng lượng nhiệt bằng tiếp xúc như thế này gọi là sự *dẫn nhiệt*.

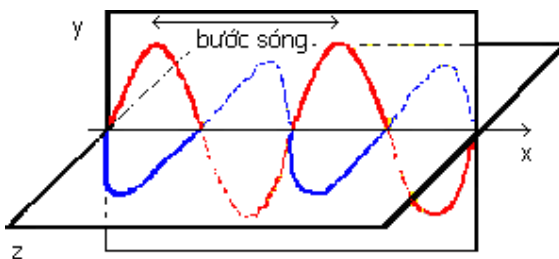
Cơ chế truyền nhiệt thứ hai được minh họa bằng một ấm nước để sôi trên bếp lò – phần nước nóng hơn gần ngọn lửa nhất sẽ đi lên trên trộn lẫn với phần nước lạnh hơn gần nắp ấm. Sự *đối lưu* bao hàm sự chuyển động toàn thể của các phân tử giàu năng lượng hơn trong chất lỏng hoặc chất khí.

Cách truyền nhiệt thứ ba từ vật này sang vật khác là bằng bức xạ, đây là cách mà Mặt Trời sưởi ấm Trái Đất. Bức xạ chảy từ Mặt Trời đến Trái Đất, một số chúng bị hấp thụ, làm ấm bề mặt Trái Đất.

Một bài toán khó trong vật lý học kể từ thời Newton là giải thích bản chất cơ chế của bức xạ này.

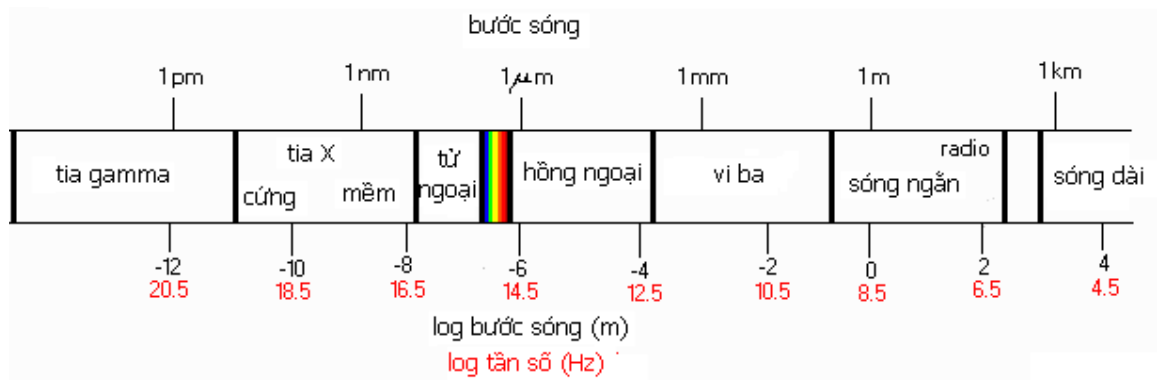
Bức xạ nhiệt

Bản chất của bức xạ đã thách đố các nhà khoa học trong nhiều thế kỉ. Maxwell đề xuất rằng dạng năng lượng này truyền đi như một dao động điện và từ lan tỏa trong không gian theo hướng vuông góc với hướng dao động của chúng.



Trong biểu đồ, các dao động điện (màu đỏ) và từ (màu xanh) trực giao với nhau – dao động điện nằm trong mặt phẳng xy, dao động từ nằm trong mặt phẳng xz. Sóng truyền đi theo hướng x. Một sóng điện từ có thể được định nghĩa dưới dạng tần số dao động của nó, kí hiệu bằng chữ cái Hy Lạp nu (ν). Sóng truyền đi theo đường thẳng với một vận tốc không đổi (kí hiệu là c nếu nó truyền trong chân không), khoảng cách giữa hai “đỉnh” sóng liên tiếp là bước sóng, λ (lambda), bằng vận tốc sóng chia cho tần số sóng.

Phổ điện từ bao quát một ngưỡng rộng bước sóng, từ những sóng rất ngắn đến những sóng rất dài.



Chỉ có vùng phổ điện từ mà mắt người cảm nhận được là vùng “khả kiến” có thể nhận rõ trong biểu đồ qua bảy sắc cầu vồng.

Mặt Trời không phải là đối tượng duy nhất phát ra năng lượng bức xạ, mà bất kì vật thể nào có nhiệt độ trên 0 K đều sẽ phát ra một số năng lượng bức xạ. Thách thức đối với các nhà khoa học là việc chỉ rõ xem năng lượng bức xạ này liên hệ với nhiệt độ của vật như thế nào.

Nếu đặt một vật trong một bình chứa mà các thành bên có nhiệt độ đồng đều, chúng ta chờ đợi vật tiến tới trạng thái cân bằng nhiệt với các thành bình chứa, và vật sẽ phải phát ra năng lượng bức xạ giống hệt như các thành bình. Một vật như thế sẽ hấp thụ và phát xạ cùng một lượng năng lượng. Một bề mặt tô đen hấp thụ mọi bức xạ chiếu tới nó và nó phải phát xạ theo kiểu giống như thế nếu nó ở trạng thái cân bằng nhiệt. Bức xạ cân bằng nhiệt do đó có tên gọi là *bức xạ vật đen*.

Mối liên hệ đầu tiên giữa nhiệt độ và năng lượng bức xạ được J. Stefan suy diễn vào năm 1884 và được Boltzmann giải thích về mặt lí thuyết cũng vào thời gian đó. Mối liên hệ đó được phát biểu như sau:

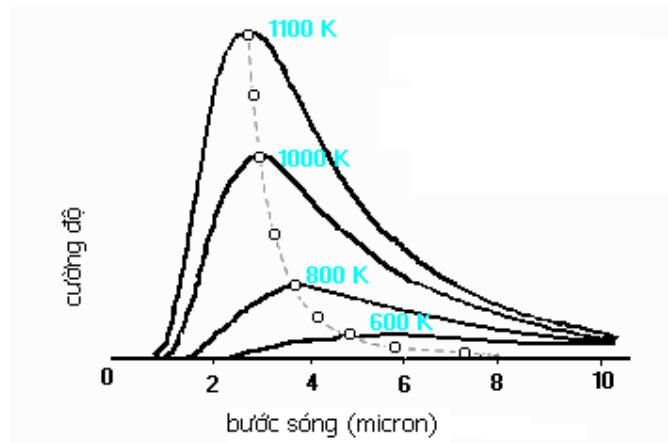
$$\text{năng lượng toàn phần} = \sigma T^4$$

trong đó năng lượng toàn phần được tính trên một đơn vị diện tích trong một giây, T là nhiệt độ tuyệt đối (nhiệt độ nhiệt động lực học), và σ là hằng số Stefan-Boltzmann.

Nghi vấn lớn vào cuối thế kỉ 19 là việc giải thích cách thức mà năng lượng bức xạ toàn phần phát ra bởi một vật đen này lại trải ra trong một phạm vi rộng tần số hay bước sóng bức xạ. Thuyết dao động tử điện từ “cổ điển” của Maxwell đã thất bại trước việc giải thích sự phân bố độ sáng quan sát được. Đến lượt Max Planck giải quyết nan đề này bằng cách chỉ ra rằng năng lượng của dao động tử phải bị lượng tử hóa, tức là năng lượng không thể có mọi giá trị, mà phải biến thiên từng bậc, độ lớn của từng bậc, hay lượng tử năng lượng, tỉ lệ với tần số dao động và bằng $h\nu$, trong đó h là hằng số Planck. Với giả thuyết này, Planck giải thích được sự phân bố độ sáng của vật đen và cho biết nó có thể được xác định bằng nhiệt độ của nó. Một khi nhiệt độ của vật đen đã được định rõ, có thể dùng định luật Planck để tính cường độ sáng phát ra bởi vật đen là một hàm của bước sóng. Ngược lại, nếu đo được sự phân bố độ sáng của vật bức xạ thì khi đó, bằng cách làm cho khớp đường cong Planck với vật, nhiệt độ của vật có thể xác định được.

Các đường cong minh họa trong hình bên dưới cho thấy vật càng nóng thì nó càng sáng ở những bước sóng ngắn. Nhiệt độ bề mặt Mặt Trời là 6000 K, và cực đại của

đường cong Planck của nó nằm trong vùng bước sóng khả kiến. Đối với những vật lạnh hơn Mặt Trời, cực đại của đường cong Planck của nó lệch về phía bước sóng dài hơn cho tới khi nhiệt độ của nó đạt đến giá trị mà rất ít năng lượng bức xạ được phát ra trong vùng khả kiến.



Hình trên cho thấy một vài đường cong Planck đối với các vật đen. Cường độ là đơn vị năng lượng trên đơn vị diện tích trên đơn vị góc khối trên đơn vị thời gian trên đơn vị bước sóng. Đường chấm chấm biểu thị sự biến thiên theo bước sóng và nhiệt độ của cực đại các đường cong.

Hình này là mô tả bằng hình học của định luật Wein, phát biểu như sau:

$$\lambda_{\max} \sim 0,29 / T$$

trong đó λ_{\max} là bước sóng sáng cực đại tính bằng cm, T là nhiệt độ tuyệt đối của vật đen.

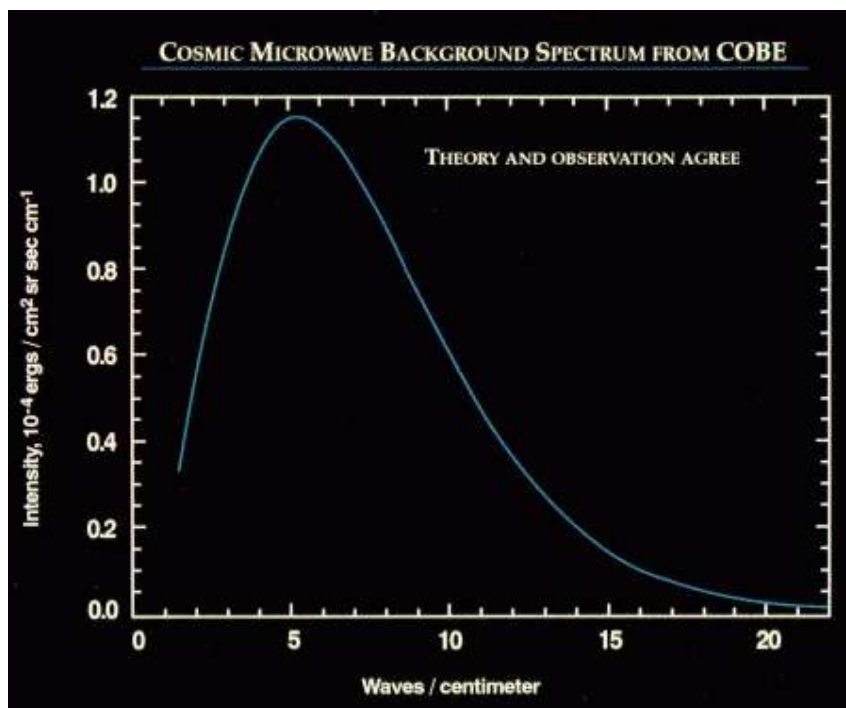
Cơ thể người có nhiệt độ khoảng 310 K và phát xạ chủ yếu nằm trong vùng hồng ngoại xa. Nếu như hình người được chụp bằng camera nhạy với vùng bước sóng này, chúng ta sẽ có một tấm hình “nhiệt”.

3 K – Nhiệt độ của vũ trụ

Mặt Trời và các ngôi sao phát ra bức xạ nhiệt thuộc mọi bước sóng; những vật thể khác trên bầu trời, như đám mây khí lớn trong Dải Ngân hà, cũng phát ra bức xạ nhiệt, nhưng lạnh hơn nhiều. Những đối tượng này được phát hiện tốt nhất bằng kính thiên văn hồng ngoại và vô tuyến – kính thiên văn có thiết bị dò nhạy với các bước sóng dài hơn.

Năm 1965, Arno Penzias và Robert Wilson đã tiến hành kiểm tra cẩn thận kính thiên văn vô tuyến của họ ở Phòng thí nghiệm Bell, tại Whippany, bang New Jersey. Họ nhận thấy máy thu của họ biểu hiện một sự “nhiều” như thể nó nằm bên trong một bình chứa có nhiệt độ 3 K – tức là như thể nó nằm cân bằng nhiệt với một vật đen ở 3 K. Sự “nhiều” này hình như đến từ mọi hướng. George Gamov và các nhà thiên văn vật lý khác trước đó đã tiên đoán về mặt lý thuyết sự tồn tại của một bức xạ vũ trụ 3 K. Khám phá của Penzias và Wilson là bằng chứng thực nghiệm cho bức xạ đẳng hướng đến từ vũ trụ, được cho là di tích của Big Bang. Năng lượng nhiệt khổng lồ được giải phóng trong vụ nổ khai sinh ra vũ trụ bắt đầu lạnh đi khi vũ trụ giãn nở. Chừng 12 tỉ năm sau đó, chúng ta đang sống trong một vũ trụ bức xạ

giống như một vật đen hiện nay lạnh còn 3 K. Năm 1978, Penzias và Wilson đã được tặng giải Nobel vật lí cho khám phá này.



Phổ bức xạ viba nền vũ trụ thu được từ vệ tinh COBE

Một vật đen ở 3 K phát ra đa số năng lượng nằm trong vùng bước sóng viba. Các phân tử trong bầu khí quyển Trái Đất hấp thụ bức xạ này cho nên tại mặt đất, các nhà thiên văn không thể tiến hành quan sát ở vùng bước sóng này. Năm 1989, vệ tinh thám hiểm bức xạ vũ trụ (COBE), do Trung tâm bay không gian Goddard của NASA phát triển, được phóng lên quỹ đạo để đo bức xạ hồng ngoại và vi ba khuếch tán đến từ vũ trụ sơ khai. Một trong các thiết bị của nó, Quang phổ kế tuyệt đối hồng ngoại xa (FIRAS) đã so sánh phổ của bức xạ vi ba nền vũ trụ với một vật đen chính xác. Phổ nền viba vũ trụ được đo với độ chính xác 0,03% và trùng khớp chính xác với phổ vật đen có nhiệt độ 2,726 K. Mặc dù có hàng tỉ ngôi sao trong vũ trụ, nhưng những đo đạc chính xác từ vệ tinh COBE này cho thấy 99,97% năng lượng bức xạ của vũ trụ được giải phóng trong vòng năm đầu tiên sau khi Big Bang tự khởi phát và hiện nay nó tập trung trong trường bức xạ nhiệt 3 K.

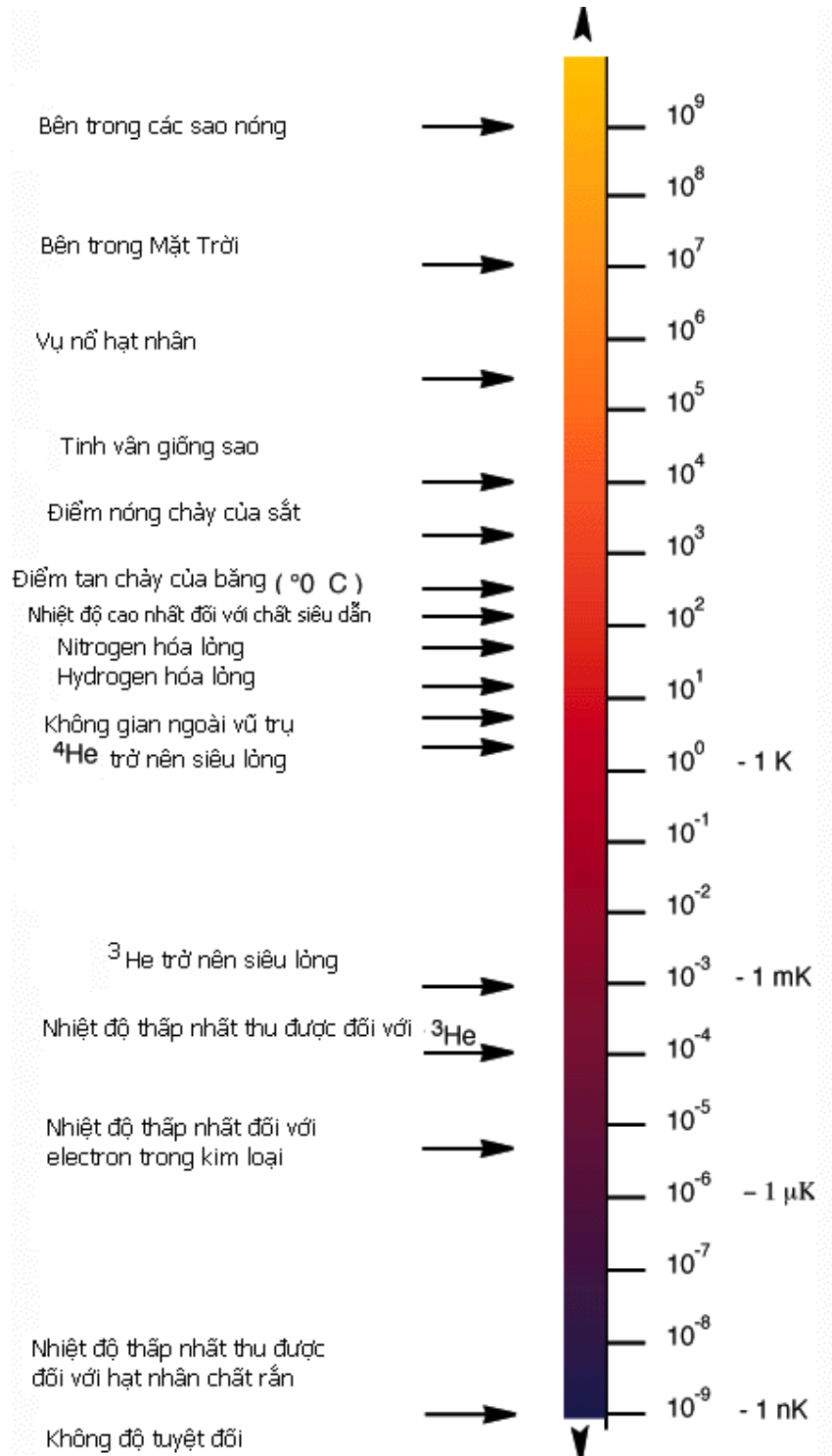
Tóm tắt

Khái niệm nhiệt độ là một khái niệm vật lí cơ sở, tương tự ba đại lượng cơ sở của cơ học – khối lượng, chiều dài, và thời gian. Qua việc nghiên cứu những vấn đề thực tế như làm sao chế tạo được động cơ hơi nước có hiệu suất cao, các lí thuyết vật lí cơ sở đã hình thành, kể cả các khái niệm của cơ học lượng tử và hai định luật của nhiệt động lực học. Định luật thứ hai, với yêu cầu về tính không thuận nghịch của nó, tiên đoán sự tiến triển không thuận nghịch từ các dạng năng lượng khác sang năng lượng nhiệt. Chính định luật thứ hai nhiệt động lực học đã cung cấp “mũi tên” cho khái niệm thời gian.

Nghiên cứu nhiệt độ thấp và các hiện tượng xảy ra ở nhiệt độ thấp là một xu hướng vật lí phát triển mạnh mẽ hiện nay. Chúng ta biết có một giới hạn thấp nhất cho

hiệt độ, đó là không độ tuyệt đối. Nhưng kĩ thuật hiện đại đã lập nhiều kỉ lục trong cuộc đua đến với những nhiệt độ cực thấp. Với ngưỡng nhiệt độ mà con người biết đến hiện nay có đến 18 thang bậc độ lớn (xem hình bên dưới), phải có nhiều loại nhiệt kế được phát triển mới có thể khai thác nó trong nhiều lĩnh vực ứng dụng.

Nhiệt học là ngành vật lí có nhiều áp dụng lí thuyết và thực tiễn.



hiepkhachquay dịch