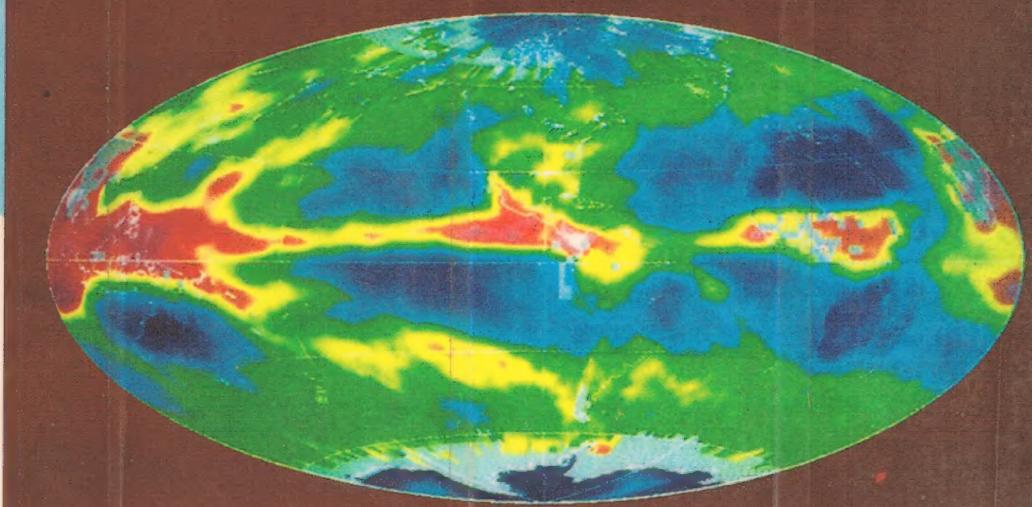
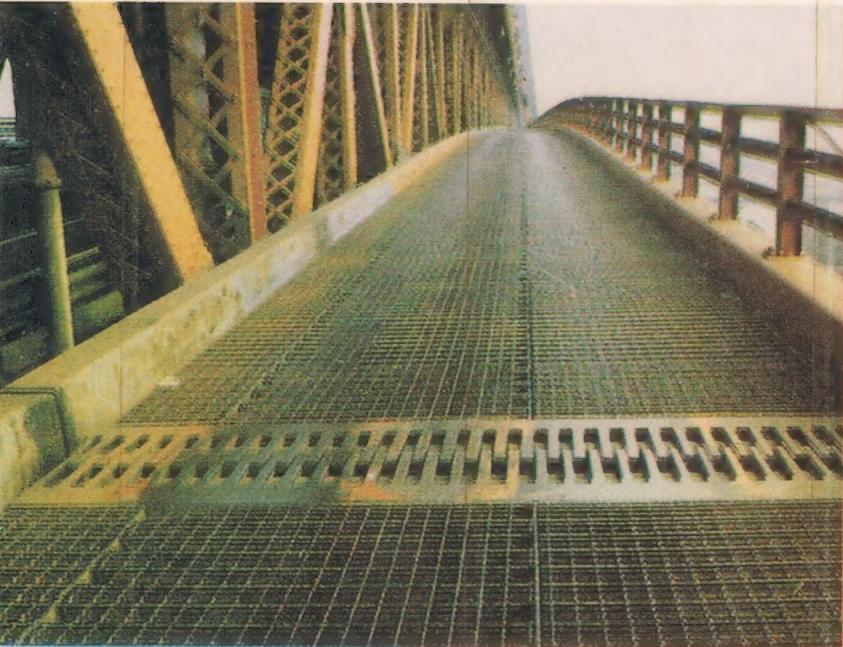


DAVID HALLIDAY - ROBERT RESNICK - JEAN WALKER

CƠ SỞ VẬT LÍ

TẬP BA - **NHỆT HỌC**



DAVID HALLIDAY - ROBERT RESNICK - JEARL WALKER

CƠ SỞ VẬT LÍ

TẬP BA - NHIỆT HỌC

Chủ biên : NGÔ QUỐC QUÝNH – HOÀNG HỮU THƯ

Người dịch : NGUYỄN VIỆT KÍNH

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC - 1998

FOURTH EDITION

FUNDAMENTALS OF PHYSICS

DAVID HALLIDAY

University of Pittsburgh

ROBERT T. RESNICK

Rensselaer Polytechnic Institute

JEARL WALKER

Cleveland State University

JOHN WILEY & SONS, INC.

New York Chichester

Brisbane Toronto Singapore



Trong ảnh là một người đang câu cá qua một lỗ đào ở băng trên mặt hồ bắc CANADA. Nếu không có tính chất nhiệt kì diệu và duy nhất của nước, thì cũng chẳng có cá trong hồ để anh ta bắt. Thật vậy, sẽ chẳng có cây cối hay loài vật nào có thể sống trong nước đã đông cứng thành băng trải dài. Vậy tính chất nhiệt của nước cho phép có sự sống dưới nước trong các vùng lạnh giá là gì?

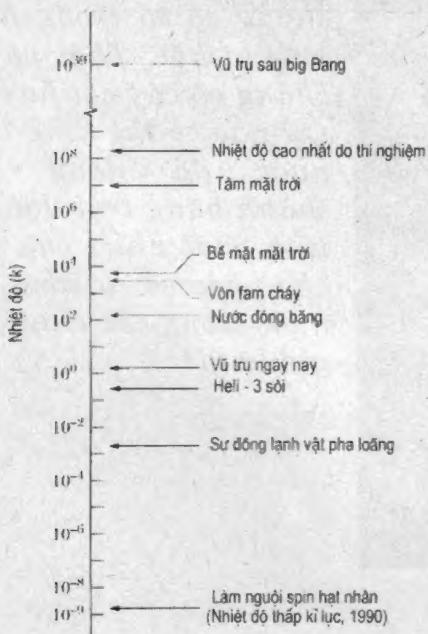
19-1. NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC: MỘT MÔN HỌC MỚI

Trong chương này, chúng ta chuyển từ môn cơ học sang một môn học mới - *nhiệt động lực học*. Cơ học xét năng lượng cơ (ngoại năng) của những hệ và do các định luật Newton chi phối. Nhiệt động lực học xét nội năng của những hệ và do một tập hợp những định luật mới chi phối mà chúng ta sẽ tìm hiểu trong chương này và vài chương tiếp theo. Để thêm "hương vị" cho vấn đề chúng ta dùng một vài từ gọi là "từ cơ học" như lực, động năng, gia tốc, các định luật Galilé và định luật thứ hai của Newton và một vài từ nhiệt động lực học như nhiệt độ, nhiệt lượng, nội năng, entrôpi, Kelvin và định luật thứ hai của nhiệt động lực học.

Khái niệm trung tâm của nhiệt động lực học là nhiệt độ. Từ này quen thuộc đến nỗi hầu hết trong chúng ta, vì hình thành nên từ cảm giác nóng và lạnh, có xu hướng tin rằng chúng ta đã hiểu nó. Thực ra, cảm giác nhiệt độ của chúng ta không phải luôn luôn đúng. Chẳng hạn, trong ngày mùa đông giá lạnh, khi ta sờ tay vào một thanh sắt cảm thấy có vẻ lạnh hơn so với cây cột gỗ ở hàng rào, mặc dù cả hai cùng ở một nhiệt độ. Sự khác nhau về cảm giác này là do sắt dẫn nhiệt từ những ngón tay ta nhanh hơn so với gỗ.

Vì tầm quan trọng cơ bản của khái niệm nhiệt độ, ta bắt đầu nghiên cứu nhiệt động lực học bằng cách phát triển khái niệm nhiệt độ từ nền tảng của nó mà không liên hệ chút nào tới cảm giác nhiệt độ của ta.

19-2. NHIỆT ĐỘ



HÌNH 19.1. Một vài nhiệt độ trong nhiệt giai Kelvin. Chú ý rằng $T = 0$ ứng với $10^{-\infty}$ không thể vẽ trên đồ thị loga được.

Nhiệt độ là một trong bảy chuẩn cơ bản của hệ SI. Các nhà vật lý đo nhiệt độ theo *nhiệt giai Kelvin*. Mặc dù nhiệt độ của một vật hiển nhiên có thể tăng lên vô hạn nhưng nó lại không thể hạ thấp vô hạn và nhiệt độ thấp giới hạn được chọn làm không độ của nhiệt giai Kelvin.

Nhiệt độ phòng khoảng 290 Kelvin (hay 290 K, theo cách ta viết) trên *không độ tuyệt đối*. Hình 19.1 cho ta vùng rất rộng ở đó nhiệt độ đã được xác định.

Khi vũ trụ bắt đầu hình thành, khoảng 10-20 tỷ năm trước đây, nhiệt độ lúc đó khoảng 10^{39} K. Khi vũ trụ mở rộng ra, nó lạnh đi và bây giờ đã đạt nhiệt độ trung bình khoảng 3 K. Chúng ta nóng hơn thế một chút, vì chúng ta ngẫu nhiên sống ở gần một ngôi sao. Tuy nhiên, nếu không có Mặt Trời của ta, chúng ta cũng lạnh 3 K (đúng hơn là chúng ta không tồn tại được).

Các nhà vật lí trên thế giới đang cố gắng xem liệu họ có thể tiến tới không độ tuyệt đối đến mức nào. Té ra là không độ tuyệt đối cũng giống như vận tốc ánh sáng c, cả hai đều là giới hạn mà một vật có thể tiến sát tới, nhưng không bao giờ đạt được. Chẳng hạn, trong năm 1992, các nhà vật lí đã đạt được thành tựu sau đây trong phòng thí nghiệm:

Tốc độ của electron nhanh nhất: 0,999 999 999 4c

Nhiệt độ thấp nhất: 0,000 000 002 K.

Bạn có thể nghĩ rằng trong mỗi trường hợp như thế chắc chắn là đủ sát. Tuy nhiên, các hiện tượng mới lại cho phép ta tiến gần hơn đến cái đích không thể đạt tới ấy. Hoá ra là mỗi hàng chữ số thập phân thêm được cả với tốc độ electron lẫn với nhiệt độ là phải vượt nhiều khó khăn thực nghiệm càng tăng (và tốn kém).

Với phạm vi rộng lớn mà nhiệt độ có thể thay đổi thì sự tồn tại của chúng ta có vẻ là sự kì diệu lớn nhất. Nếu nhiệt độ Trái Đất chỉ thấp hơn một chút, thì tất cả chúng ta sẽ lạnh cóng đến chết, và nếu nhiệt độ chỉ cao hơn một chút, các nguyên tử cấu tạo nên thân thể chúng ta sẽ chuyển động hỗn độn mạnh đến mức phân tử có thể bị vỡ ra và cũng không thể có cuộc sống.

Về phương diện nhiệt độ, chúng ta ở tình trạng lơ lửng giữa lửa và băng, trong một môi sinh hết sức phức tạp.

19-3. ĐỊNH LUẬT THÚ KHÔNG CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Tính chất của nhiều vật thay đổi khi ta thay đổi môi trường nhiệt của chúng, như chuyển chúng từ tủ lạnh sang tủ ấm. Hãy nêu ra vài thí dụ: khi nhiệt độ tăng, thể tích của chất lỏng tăng, một sợi dây kim loại dài ra một chút, điện trở của dây dẫn tăng lên, áp suất của chất khí trong bình khí tăng lên. Chúng ta có thể dùng một trong những tính chất này làm cơ sở cho một dụng cụ giúp chúng ta nắm chắc khái niệm về nhiệt độ.

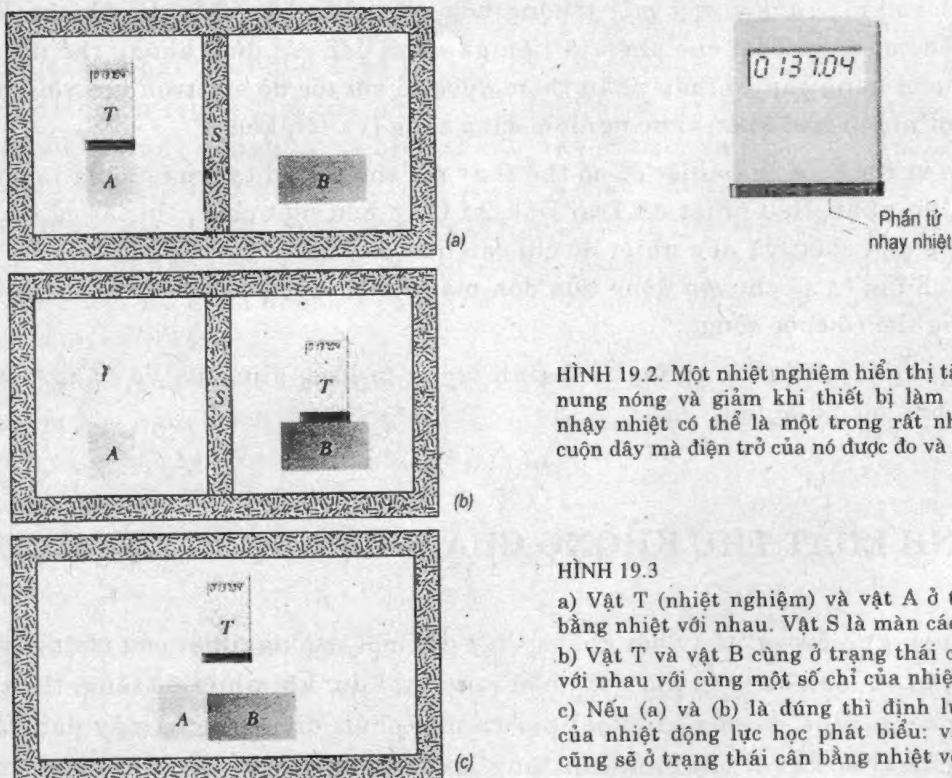
Hình 19.2 trình bày một dụng cụ như vậy. Bất kì một kĩ sư khéo léo nào đó đều có thể thiết kế và chế tạo nó khi dùng một trong những tính chất nêu trên. Dụng cụ được trang bị phần chỉ thị số, có các tính chất sau: Nếu bạn đốt nó bằng một đèn Bunsen, thì số của phần tử chỉ thị tăng lên, còn nếu bạn đặt nó vào tủ lạnh, thì số của phần tử chỉ thị giảm đi. Dụng cụ này không thể chia độ bằng bất cứ cách nào cả, và những con số không có ý nghĩa vật lí nào. Thiết bị này gọi là nhiệt nghiệm mà chưa phải là *nhiệt kế*.

Giả thiết rằng, như trên hình 19.3a, bạn đặt nhiệt nghiệm (gọi là vật T) tiếp xúc chặt với một vật khác (vật A). Toàn bộ hệ đặt trong một hộp kín có thành dày cách nhiệt. Số hiển thị trên nhiệt nghiệm thay đổi đến một lúc nào đó thì dừng lại (chẳng hạn số đọc được là 137,04) sau đó không thay đổi nữa. Thực tế, mỗi tính chất đo

được của vật T (nhiệt nghiệm) và của vật A được coi là có một giá trị ổn định, và ta nói rằng hai vật đó ở trong *trạng thái cân bằng nhiệt* với nhau.

Bây giờ ta cho vật T tiếp xúc chặt với một vật thứ hai (vật B) như ở hình 19.3b. Ta nói, hai vật (B và T) tiến tới cân bằng nhiệt tại *cùng một số đọc của nhiệt nghiệm như trên*.

Cuối cùng, như ở hình 19.3c, ta cho vật A và B tiếp xúc chặt với nhau. Liệu chúng sẽ có cân bằng nhiệt với nhau không? Có. Câu trả lời này có lẽ là hiển nhiên, thực ra lại *không phải thế* và chỉ có thể thu được từ thí nghiệm mà thôi!



HÌNH 19.2. Một nhiệt nghiệm hiển thị tăng khi thiết bị nung nóng và giảm khi thiết bị làm lạnh. Phản tử nhạy nhiệt có thể là một trong rất nhiều cách- một cuộn dây mà điện trở của nó được đo và hiện số.

HÌNH 19.3

a) Vật T (nhiệt nghiệm) và vật A ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau. Vật S là màn cách nhiệt.

b) Vật T và vật B cùng ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau với cùng một số chỉ của nhiệt nghiệm.

c) Nếu (a) và (b) là đúng thì định luật thứ không của nhiệt động lực học phát biểu: vật A và vật B cũng sẽ ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau.

Những kết quả thí nghiệm nêu ở hình 19.3 được tổng hợp lại trong định luật *thứ không của nhiệt động lực học*.

“Nếu hai vật A và B, mỗi vật cân bằng nhiệt với vật thứ 3 T thì chúng cũng cân bằng nhiệt với nhau”.

Với ngôn ngữ ít chính quy hơn, nội dung chính của định luật thứ không là: Mỗi vật có một tính chất gọi là *nhiệt độ*. Khi hai vật ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau, nhiệt độ của chúng bằng nhau. Bây giờ chúng ta có thể biến nhiệt nghiệm của vật (vật T) thành nhiệt kế và chắc rằng số đọc của nó có ý nghĩa vật lí. Chỉ còn việc chia độ cho nó là xong.

Chúng ta dùng thường xuyên định luật thứ không trong phòng thí nghiệm. Nếu chúng ta muốn biết chất lỏng trong hai bình chứa có cùng một nhiệt độ không, chúng ta đo nhiệt độ của mỗi bình bằng một nhiệt kế. Ta không cần đưa hai bình chất lỏng để chúng tiếp xúc chặt với nhau và quan sát xem chúng có cân bằng nhiệt với nhau hay

không. Chúng ta hoàn toàn chắc chắn chúng cân bằng nhiệt với nhau, nếu nhiệt độ của chúng bằng nhau.

Định luật thứ không, được gọi là cách giải thích logic đến sau, mãi đến năm 1930 mới ra đời, rất lâu sau, khi các định luật thứ nhất và thứ hai của nhiệt động lực học đã được khám phá và đánh số. Vì khái niệm nhiệt độ là nền tảng của hai định luật nói trên, nên định luật thiết lập nhiệt độ thành một khái niệm vững chắc, phải có số thứ tự thấp nhất đó là số không.

19-4. ĐO NHIỆT ĐỘ

Ta hãy xét xem người ta định nghĩa và đo nhiệt độ trên nhiệt giao Kelvin như thế nào. Một cách tương đương, ta hãy xét xem người ta chia độ một nhiệt nghiệm như thế nào để có thể biến nó thành một nhiệt kế dùng được.

ĐIỂM BA (ĐIỂM TAM TRÙNG) CỦA NƯỚC

Bước đầu tiên trong việc xây dựng một nhiệt giao là nhặt ra một vài hiện tượng nhiệt có thể tái tạo được và hoàn toàn tùy ý gán một vào nhiệt độ Kelvin nào đó cho môi trường nhiệt của nó. Điều đó có nghĩa là ta chọn *một điểm cố định chuẩn*. Chẳng hạn, ta có thể chọn điểm đóng băng hay điểm sôi của nước, nhưng do nhiều lí do kĩ thuật, ta không chọn các điểm đó mà chọn điểm ba (điểm tam trùng) của nước.

Nước lỏng, nước đá rắn, và hơi nước có thể đồng thời cùng tồn tại ở trạng thái cân bằng nhiệt ở trạng thái duy nhất trong tập hợp các giá trị của nhiệt độ và áp suất. Hình 19.4 cho ta một bình tam trùng, trong đó có thể thực hiện cái gọi là điểm ba trong phòng thí

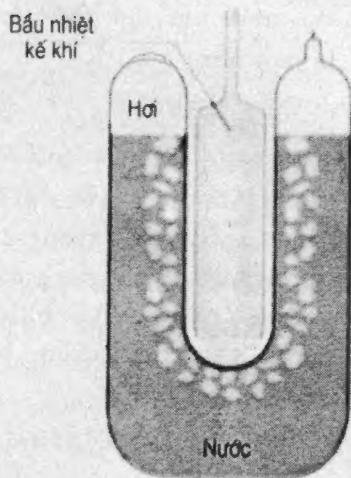
nghiệm. Theo thỏa thuận quốc tế (năm 1967) điểm ba của nước được gán giá trị 273,16 K như là nhiệt độ chuẩn cố định trong việc chuẩn nhiệt kế, tức là:

$$T_3 = 273,16 \text{ K}$$

(nhiệt độ điểm ba) (19-1)

trong đó chỉ số 3 nhắc chúng ta về điểm ba.

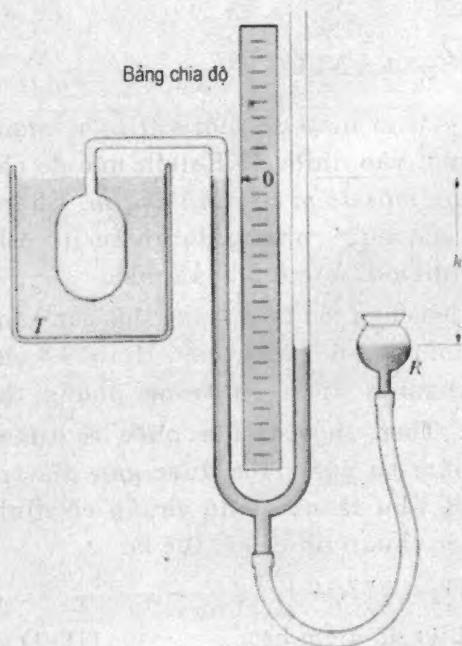
Chú ý là, chúng ta không dùng độ để ghi nhiệt độ Kelvin. Điều đó có nghĩa là 300K (chứ không phải là 300°K) và được đọc “300 Kelvin” (Chứ không phải “300 độ Kelvin”). Những tiếp đầu ngữ thông thường vẫn được sử dụng. Chẳng hạn 0,0035K là 3,5 mK. Không có sự phân biệt trong tên gọi nhiệt độ và hiệu nhiệt độ. Vậy ta có thể nói “điểm sôi của lưu huỳnh là 717,8 K” và “nhiệt độ của nước trong bồn tắm tăng lên 8,5 K”.



HÌNH 19.4. Một bình điểm ba, trong đó nước đá, nước và hơi nước cùng tồn tại trong trạng thái cân bằng nhiệt. Theo sự thỏa thuận quốc tế, nhiệt độ của hỗn hợp được định nghĩa là 273,16 K. Bầu của nhiệt kế khí thể tích không đổi được đặt trong chỗ lõm của bình.

NHIỆT KẾ KHÍ THỂ TÍCH KHÔNG ĐỔI

Cho đến bây giờ, chúng ta chưa thảo luận gì về tính chất vật lí đặc biệt của vật mà dựa vào đó, theo thỏa thuận quốc tế chúng ta chọn làm nhiệt kế. Liệu có phải là độ dài của một thanh kim loại, điện trở của một dây dẫn, áp suất của khí trong bình kín hay một cái gì đó khác? Việc lựa chọn này là rất quan trọng vì những sự lựa chọn khác nhau dẫn đến những nhiệt độ khác nhau, cho điểm sôi của nước chẳng hạn. Vì những lí do ta sẽ trình bày sau đây, người ta đã chọn nhiệt kế chuẩn dựa trên áp suất tác dụng bởi một chất khí chứa trong một bình có thể tích không đổi để chuẩn tất cả các nhiệt kế khác.



Hình 19.5. Một nhiệt kế khí thể tích không đổi, bầu của nó nhúng trong bình cầu đo nhiệt độ T . Áp suất của chất khí là $P_0 + \rho gh$, trong đó P_0 là áp suất khí quyển (đọc trên khí quyển áp kế), và h là độ chênh lệch của mức trong áp kế.

Hình 19.5. trình bày một nhiệt kế khí (thể tích không đổi) như vậy, nó gồm một bầu chứa đầy khí bằng thủy tinh, thạch anh, hoặc platin (tùy theo phạm vi nhiệt độ mà nhiệt kế cần đo) nổi bằng một ống dẫn nhỏ với áp kế thủy ngân. Bằng cách nâng bình R lên hay hạ xuống mức thủy ngân trong nhánh trái luôn luôn được đưa về số không của thang đo, điều đó đảm bảo thể tích khí chứa trong bầu là không đổi. Nhiệt độ của vật nào đó tiếp xúc nhiệt với bầu được định nghĩa là:

$$T = Cp \quad (19.2)$$

trong đó p là áp suất khí với thể tích không đổi và C là một hằng số.

Áp suất tính theo hệ thức

$$p = p_0 + \rho gh \quad (19.3)$$

trong đó p_0 là áp suất khí quyển, ρ là khối lượng riêng của thủy ngân trong áp kế và h là hiệu mức thuỷ ngân trong hai nhánh của ống dẫn. Khi bầu của nhiệt kế khí được nhúng vào bình điểm ba như hình 19.4, ta có:

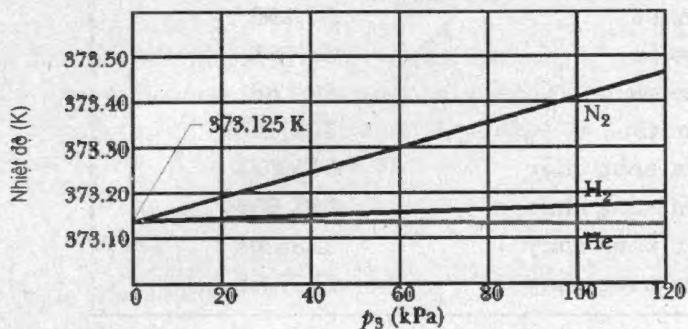
$$T_3 = Cp_3 \quad (19.4)$$

trong đó p_3 là áp suất đọc trong điều kiện này. Bằng cách khử C ở các biểu thức 19.2 và 19.4 ta được:

$$T = T_3 \cdot \left(\frac{p}{p_3} \right) = 273,16K \left(\frac{p}{p_3} \right) \text{ (tạm thời như vậy)} \quad (19.5)$$

Phương trình 19.5 chưa phải là định nghĩa cuối cùng của nhiệt độ do bằng nhiệt

kế khí. Chúng ta còn chưa nói chút nào về khí gì hoặc bao nhiêu khí? mà chúng ta sử dụng trong nhiệt kế. Nếu nhiệt kế của ta dùng để đo nhiệt độ nào đó như điểm sôi của nước chẳng hạn, ta sẽ thấy sự lựa chọn khác nhau sẽ dẫn đến các nhiệt độ đo được sai khác nhau chút ít. Tuy nhiên, nếu chúng ta dùng một lượng khí trong bầu giảm dần thì rất may, các số đọc sẽ hội tụ tới một nhiệt độ duy nhất, dù ta dùng bất kì loại khí gì. Hình 19.6 trình bày sự hội tụ này*.



HÌNH 19.6. Các nhiệt độ tính từ phương trình 19.5 cho nhiệt kế khí thể tích không đổi khi bầu của nó được nhúng vào nước sôi. Các loại khí khác nhau được sử dụng trong bầu, mỗi loại khí có khối lượng riêng khác nhau (thể hiện ở các áp suất p khác nhau). Chú ý rằng tất cả các số đọc đều hội tụ về giới hạn của khối lượng riêng là 0, tới một nhiệt độ là 373,125 K.

Vì vậy, biểu thức cuối cùng của nhiệt độ, đo bằng áp nhiệt khí là:

$$T = 273,16K \left(\lim_{m \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} \right) \quad (19-6)$$

Điều này hướng dẫn cho ta: chứa một khối lượng bất kì của một chất khí nào đó (chẳng hạn nitơ) vào bầu, đo áp suất p_3 (dùng bình điểm ba) và áp suất p của khí ở nhiệt độ cần đo, tiếp theo tính tỉ số p/p_3 . Rồi ta lặp lại cả hai phép đo với lượng khí trong bầu nhỏ hơn và lại tính tỉ số này. Bằng cách như vậy, với lượng trong bầu giảm dần, đến khi ta có thể ngoại suy tỉ số p/p_3 mà ta phải tìm được lúc trong bầu gần như không có khí. Chúng ta tính nhiệt độ bằng cách thay giá trị ngoại suy trên vào phương trình 19.6. Nhiệt độ được xác định như vậy gọi là *nhiệt độ của khí lí tưởng*.

Nếu nhiệt độ thực sự là một đại lượng vật lí cơ bản mà qua đó người ta có thể biểu thị các định luật của nhiệt động lực học qua nó, thì điều tuyệt đối cần thiết là định nghĩa của nó phải không phụ thuộc vào tính chất của các vật liệu cụ thể. Nếu chúng ta có một đại lượng cơ bản như nhiệt độ mà phụ thuộc vào sự giãn nở như thuỷ ngân, vào điện trở của platin hay là một tính chất nào đó tìm trong sổ tay tra cứu chẳng hạn, thì không ổn.

Chúng ta chọn nhiệt kế khí như một công cụ chuẩn chính là vì, không có tính chất riêng nào của vật liệu tham gia vào hoạt động của nó. Bạn có thể dùng bất kì loại khí nào và luôn thu được cùng một kết quả.

*Với đơn vị áp suất, ta dùng các đơn vị giới thiệu trong mục 16-3. Đơn vị trong hệ SI của áp suất là niuton trên mét vuông gọi là paxcan (Pa). Paxcan liên hệ với các đơn vị đo áp suất thường dùng khác theo: 1atm = $1,01 \cdot 10^5$ Pa = 760 tor = $14,7$ Lb/in².

Bảng 19.1

CÁC ĐIỂM CỐ ĐỊNH SƠ CẤP TRONG NHIỆT GIAI QUỐC TẾ

Chất	Trạng thái điểm cố định	Nhiệt độ (K)
Hidro	Điểm ba	13,81
Hidro	Điểm sôi ^(*)	17,042
Hidro	Điểm sôi	20,28
Neon	Điểm sôi	27,102
Oxi	Điểm ba	54,356
Acgon	Điểm ba	83,798
Oxi	Điểm sôi	90,188
Nước	Điểm sôi	373,125
Thiếc	Điểm nóng chảy	505,074
Kẽm	Điểm nóng chảy	692,664
Bạc	Điểm nóng chảy	1235,08
Vàng	Điểm nóng chảy	1337,58

Bài toán mẫu 19.1

Bầu của một nhiệt kế khí chứa nitơ ở áp suất 120 kPa. Giá trị tạm thời (xem hình 19.6) của điểm sôi của nước suy từ nhiệt kế này là bao nhiêu? Sai số bao nhiêu?

Giải: Từ hình 19.6, đường cong đối với nitơ cho thấy rằng ở áp suất 120 kPa, nhiệt độ tạm thời ở điểm sôi của nước là 373,44 K. Giá trị thực của điểm sôi của nước (Tìm bằng cách ngoại suy trên hình 19.6 hoặc bảng 19.1) là 373,125. Vậy dùng nhiệt độ tạm thời dẫn đến sai số 0,315 K hay 315 mK.

19.5. NHIỆT GIAI QUỐC TẾ

Đo nhiệt độ một cách chính xác bằng nhiệt kế khí không phải là chuyện dễ, và có thể đòi hỏi hàng tháng trời làm việc cẩn thận. Trong thực tế, nhiệt kế khí chỉ dùng để xác định một vài điểm cố định “sơ cấp”. Những điểm này sau đó được dùng để chuẩn những nhiệt kế thứ cấp thuận tiện hơn như nhiệt kế chất lỏng trong thuỷ tinh chẳng hạn. Những nhiệt kế thường dùng trong nhà thuộc loại này, một chất lỏng thường là thuỷ ngân, được chứa trong một bầu thuỷ tinh ở đầu là một ống nhỏ. Khi chất lỏng được nung nóng, nó dãn nở lên ống. Chiều cao cột chất lỏng ứng với nhiệt độ, đọc trên một thước chia độ đặt dọc theo ống. Từ việc sử dụng trong thực tế cũng như việc chuẩn các nhiệt kế công nghiệp và khoa học, người ta chấp nhận *nhiệt giai quốc tế*. Nhiệt giai này gồm một loạt các hướng dẫn làm cho nó trên thực tế gần giống nhiệt giai Kelvin nhất. Hàng loạt các điểm cố định sơ cấp được chấp nhận và hàng loạt các dụng cụ được chỉ định để dùng cho việc nội suy giữa các điểm nhiệt độ cố định này, và cho việc ngoại suy cho nhiệt độ trên nhiệt độ cao nhất và dưới nhiệt độ thấp nhất.

^(*) Điểm sôi này là ở áp suất 25/76 atm. Mọi điểm sôi hoặc điểm nóng chảy khác đều ở áp suất 1atm.

Bảng 19.1 cho ta các điểm cố định sơ cấp. Điểm sôi của nước (đôi khi gọi là phí điểm) là một điểm sơ cấp cố định, nhưng điểm đóng băng (điểm băng) thì không. Các điểm nóng chảy cho trong bảng cũng có thể gọi là điểm đông đặc vì sự nóng chảy và đông đặc của bất kì chất nào cũng xảy ra ở cùng một nhiệt độ.

19.6. NHIỆT GIAI CELSI VÀ FAHRENHEIT

Tới nay, chúng ta đã thảo luận chỉ về nhiệt giai Kelvin, dùng trong khoa học cơ bản. Ở hầu hết các nước trên thế giới, nhiệt giai Celsius (trước kia gọi là nhiệt giai bách phân) được chọn dùng trong nhân dân và trong thương mại và cả trong khoa học. Cố lớn của một độ trong hai nhiệt giai Celsius và Kelvin là như nhau, nhưng điểm không của nhiệt giai Celsius được dịch chuyển lên một giá trị thuận tiện hơn. Nếu T_c là nhiệt độ trong nhiệt giai Celsius, ta có:

$$T_c = T - 273,15^\circ \quad (19.7)$$

Khi biểu thị nhiệt độ trong nhiệt giai Celsius thì kí hiệu độ thường được sử dụng, vì vậy ta viết $20,00^\circ\text{C}$, nhưng $293,15\text{K}$.

Nhiệt giai Fahrenheit dùng ở Mỹ, sử dụng một độ nhỏ hơn nhiệt giai Celsius và một số không khác của nhiệt độ. Bạn có thể dễ dàng thử cả hai sự khác nhau này bằng cách kiểm tra nhiệt kế phòng thường dùng trong đó ghi cả hai nhiệt giai. Liên hệ giữa nhiệt giai Celsius và Fahrenheit là

$$T_f = \frac{9}{5} T_c + 32^\circ \quad (19.8)$$

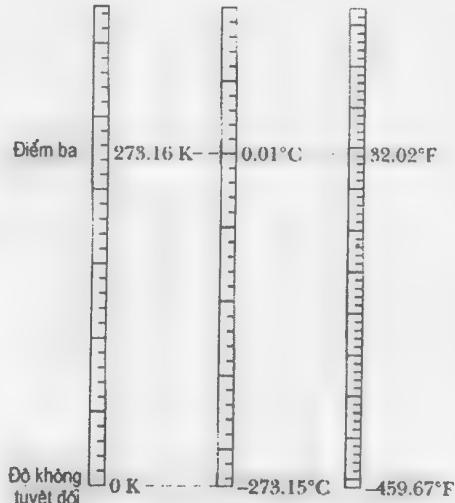
trong đó T_f là nhiệt độ Fahrenheit.

Bảng 19.2

MỘT VÀI NHIỆT ĐỘ TƯƠNG ỨNG

Nhiệt độ	${}^\circ\text{C}$	${}^\circ\text{F}$
Điểm sôi của nước ^(*)	100	212
Thân nhiệt bình thường	37,0	98,6
Mức độ dễ chịu	20	68
Băng điểm của nước	0	32
Số không của nhiệt giai Farenheit	≈ -18	0
Hai nhiệt giai trùng nhau	- 40	- 40

Sự chuyển đổi giữa hai nhiệt giai này có thể thực hiện dễ dàng bằng cách nhớ vài điểm tương ứng (chẳng hạn điểm đóng băng, điểm sôi của nước- xem bảng 19.2). và chú ý



HÌNH 19.7. So sánh các nhiệt giai Kelvin-Celsius và Farenheit,

^(*) Nói một cách chặt chẽ, điểm sôi của nước trong nhiệt giai Celsius là $99,975^\circ\text{C}$ (Xem phương trình 19.7 và bảng 19.1) và điểm băng là $0,00^\circ\text{C}$. Đó đó giữa hai điểm này nhỏ hơn 100°C một chút.

là 9 độ trong nhiệt giao Fahrenheit bằng 5 độ trong nhiệt giao Celsius. Hình 19.7 so sánh các nhiệt giao Kelvin, Celsius và Fahrenheit.

Bài toán mẫu 19.2

Giả thiết bạn gặp một ghi chú khoa học cổ mô tả nhiệt giao gọi là Z, trong đó băng điểm là $-14,0^{\circ}\text{Z}$ và băng điểm sôi của nước là $65,0^{\circ}\text{Z}$.

a) Hỏi độ biến thiên nhiệt độ ΔT trong nhiệt giao Z ứng với độ biến thiên $53,0^{\circ}\text{F}$ là bao nhiêu?

Giải. Để tìm một thừa số chuyển đổi giữa hai nhiệt giao, ta có thể dùng băng điểm sôi và băng điểm của nước.

Trong nhiệt giao Z, hiệu nhiệt độ giữa hai điểm đó là $65,0^{\circ}\text{Z} - (-14,0^{\circ}\text{Z})$ hay 79°Z . Trong nhiệt giao Fahrenheit nó là $212^{\circ}\text{F}-32^{\circ}\text{F}$ hay 180°F . Như vậy một độ biến thiên $79,0^{\circ}\text{Z}$ bằng một độ biến thiên 180°F . Muốn biến thiên 53°F , bây giờ ta có thể viết:

$$\Delta T = 53,0^{\circ}\text{F} = 53,0^{\circ}\text{F} \left(\frac{79,0^{\circ}\text{Z}}{180^{\circ}\text{F}} \right) = 23,3^{\circ}\text{Z} \quad (\text{Đáp số}).$$

b) Nhiệt độ trong nhiệt giao Fahrenheit ứng với nhiệt độ $T = -98,0^{\circ}\text{Z}$ sẽ là bao nhiêu?

Giải. Băng điểm của nước là $-14,0^{\circ}\text{Z}$, do đó hiệu giữa T và băng điểm là $84,0^{\circ}\text{Z}$. Để chuyển đổi hiệu này ra độ Fahrenheit, ta viết:

$$\Delta T = 84,0^{\circ}\text{Z} (180^{\circ}\text{F}/79,0^{\circ}\text{Z}) \left(\frac{180^{\circ}\text{Z}}{79,0^{\circ}\text{F}} \right) = 191^{\circ}\text{F}.$$

Như vậy T ở dưới băng điểm của nước 191°F , và trong nhiệt giao Fahrenheit nó là:

$$T = 32,0^{\circ}\text{F} - 191^{\circ}\text{F} = -159^{\circ}\text{F} \quad (\text{Đáp số}).$$

CÁCH GIẢI BÀI TOÁN

Chiến thuật 1: ĐỘ BIẾN THIÊN NHIỆT ĐỘ

Giữa điểm sôi và băng điểm của nước (gần đúng) khoảng 100 Kelvin và 100 độ Celsius. Như vậy một Kelvin có cùng một độ lớn như một độ Celsius. Từ đó hoặc từ p.t 19.7 ta thấy bất kì độ biến thiên nhiệt độ nào cũng sẽ biểu thị bằng cùng một số theo Kelvin hoặc theo độ Celsius.

Thí dụ: Độ biến thiên nhiệt độ 10K tương đương thay đổi độ biến thiên 10°C .

Giữa điểm sôi và băng điểm của nước có 180 độ Fahrenheit. Vậy một độ Fahrenheit phải bằng $\frac{9}{5} \left(= \frac{180^{\circ}\text{F}}{100\text{K}} \right)$ độ lớn của một Kelvin hoặc một độ Celsius. Bây giờ từ đó hoặc từ p.t 19.8 ta biết rằng một độ biến thiên nào đó của nhiệt độ biến đổi theo độ Fahrenheit phải bằng $\frac{9}{5}$ lần cùng độ biến thiên của nhiệt độ biến đổi theo Kelvin hoặc theo

độ Celsius. Chẳng hạn, theo độ Fahrenheit thì một độ biến thiên 10K sẽ là $\frac{9}{5} \times 10\text{K} = 18^{\circ}\text{F}$.

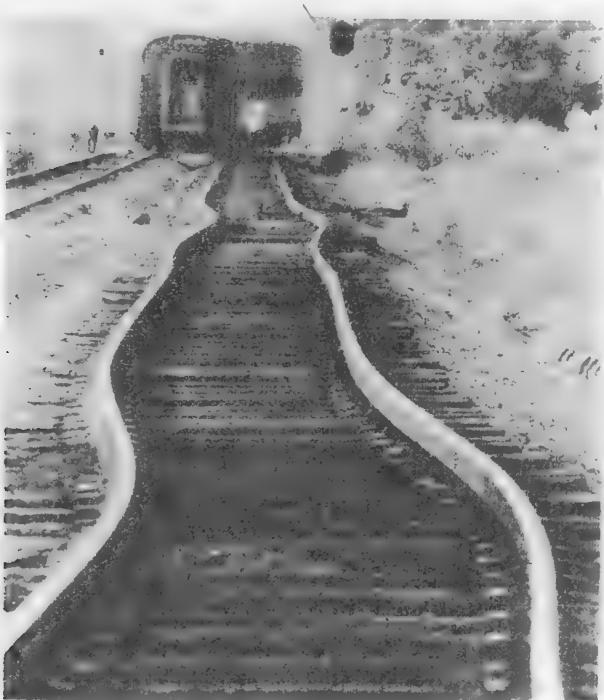
Bạn phải chú ý để không nhầm lẫn một nhiệt độ với một độ biến thiên nhiệt độ. Một nhiệt độ 10K chắc chắn không phải giống như nhiệt độ 10°C hay 18°F, nhưng như ta vừa thấy ở trên, một độ biến thiên 10K thì hoàn toàn bằng một độ biến thiên 10°C hay 18°F.

19.7. SỰ NỔ VÌ NHIỆT

Một vài ứng dụng

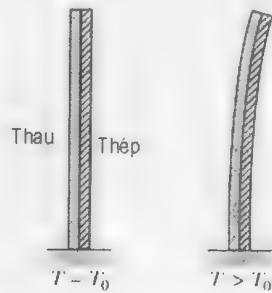
Bạn thường làm lỏng nắp kim loại bị vặn quá chặt của một chai thủy tinh bằng cách đặt nó vào một dòng hơi nước nóng. Nắp kim loại nở ra một chút so với thủy tinh khi nhiệt độ của nó tăng lên. Nhưng *sự nở vì nhiệt* không phải luôn luôn đáng mong muốn như ta thấy như cảnh tượng trên hình 19.8.

Chúng ta cũng đã nhìn thấy khe co giãn phải để trên lòng đường của các cầu; các ống trong nhà máy lọc dầu thường có những “mắt” giãn nở để khi nhiệt độ tăng các ống không bị oằn. Các vật liệu dùng để làm răng cũng phải có tính chất nở thích ứng với tính chất nở của men răng. Trong các xí nghiệp máy bay, các rivê (đinh tán) và các chất hâm khác được làm lạnh trong băng trước khi lắp đặt và sau đó để nở ra sẽ làm chặt lại.



HÌNH 19.8. Đường ray xe lửa ở công viên Asburg, Newsey bị méo đi do nở vì nhiệt trong một ngày rất nóng vào tháng 7.

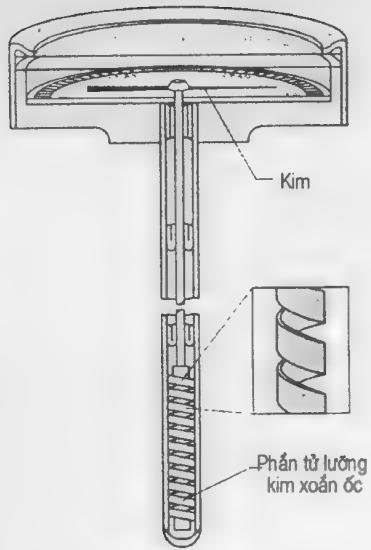
Nhiệt kế và các bình điều nhiệt có thể dựa trên sự nở khác nhau của các thành phần trong băng lưỡng kim. (xem hình 19.9).



Hình 19.9. Một băng lưỡng kim, gồm một băng đồng và một băng thép hàn chặt với nhau ở nhiệt độ T_0 . Băng sẽ cong đi ở nhiệt độ trên nhiệt độ chuẩn đó. Khi nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ chuẩn đó, nó bị uốn theo chiều ngược lại. Rất nhiều bình điều nhiệt làm việc theo nguyên lí này, mở đóng công tắc điện khi nhiệt độ lên hay xuống.

Trong nhiệt kế thuộc loại quen thuộc, băng lưỡng kim được uốn dưới dạng lò xo xoắn, nó có thể mở ra hoặc cuộn lại khi nhiệt độ thay đổi (Hình 19.10). Và những nhiệt kế quen thuộc, chất lỏng trong ống thủy tinh, dựa trên sự kiện là chất lỏng là thủy ngân hay rượu chưng cất nở khác (lớn hơn) sự nở của thủy tinh chứa nó.

Sự nở vì nhiệt: Định lượng



HÌNH 19.10. Một nhiệt kế dựa trên băng lưỡng kim. Băng được thành lò xo xoắn. Nó nở ra hoặc cuộn lại khi nhiệt độ thay đổi.

Bảng 19.3

MỘT SỐ HỆ SỐ NỞ DÀI (a)

Vật liệu	$\alpha(10^{-6}/^{\circ}\text{C})$
Băng (ở 0°C)	51
Chì	29
Nhôm	23
Đồng thau	19
Đồng đỏ	17
Thép	11
Thủy tinh thường	9
Thủy tinh Pyrex	3,2
Hợp kim invar (b)	0,7
Thạch anh nóng chảy	0,5

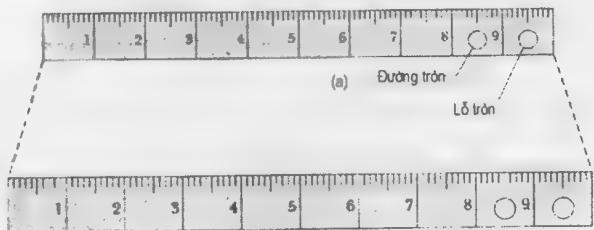
Sự nở vì nhiệt của vật rắn giống như sự phóng đại theo ba chiều của một tấm ảnh. Hình 19.11b cho ta thấy sự nở (đã được cường điệu hóa) của một chiếc thước thép sau khi nhiệt độ của nó tăng, từ cái thước ở hình 19.11a. Phương trình 19.9 áp dụng cho mỗi chiều của thước, cả cạnh thước và chiều, đường chéo, đường kính của vòng tròn khắc

Nếu nhiệt độ của thanh kim loại độ dài L tăng lên một lượng ΔT thì độ dài của nó tăng lên một lượng $\Delta L = La\Delta T$, (19.9) trong đó a là một hằng số gọi là *hệ số nở dài*.

Giá trị của a phụ thuộc vào vật liệu và khoảng nhiệt độ ta xét. Ta có thể viết lại phương trình 19.9 như sau:

$$a = \frac{\Delta L / L}{\Delta T}, \quad (19.10)$$

Từ đó ta thấy a là độ thay đổi độ dài tỉ đối khi nhiệt độ thay đổi một đơn vị. Tuy a thay đổi chút ít theo nhiệt độ, nhưng trong hầu hết các sử dụng thực tế ở nhiệt độ thường, nó có thể được coi là hằng số. Bảng 19.3 cho ta một số hệ số nở dài.



HÌNH 19.11. Cùng một thước băng thép, ở hai nhiệt độ khác nhau. Khi nó nở, kích thước của nó tăng cùng một tỉ lệ theo mọi phía. Vạch chia độ, con số, độ dày và các đường kính vòng tròn và lỗ hổng tròn đều tăng theo cùng một hệ số (sự nở được cường điệu hóa lên cho dễ thấy).

- a) Ở nhiệt độ phòng, trừ trường hợp băng
- b) Hợp kim này được chế tạo để có hệ số nở dài nhỏ. Từ này là do chữ viết tắt của "invariable" không thay đổi.

trên thước và cả của lỗ tròn khoét trên thước. Nếu một mảnh tròn được cắt từ lỗ, ban đầu khít với lỗ nó cũng sẽ khít với lỗ nếu nhiệt độ của nó tăng bằng nhiệt độ của thước.

Sự nở vì nhiệt của chất lỏng

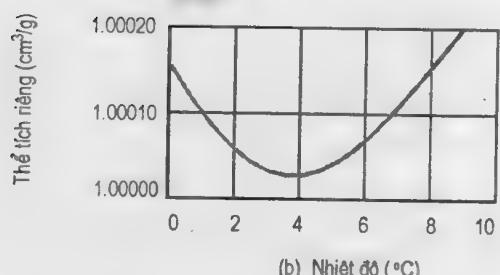
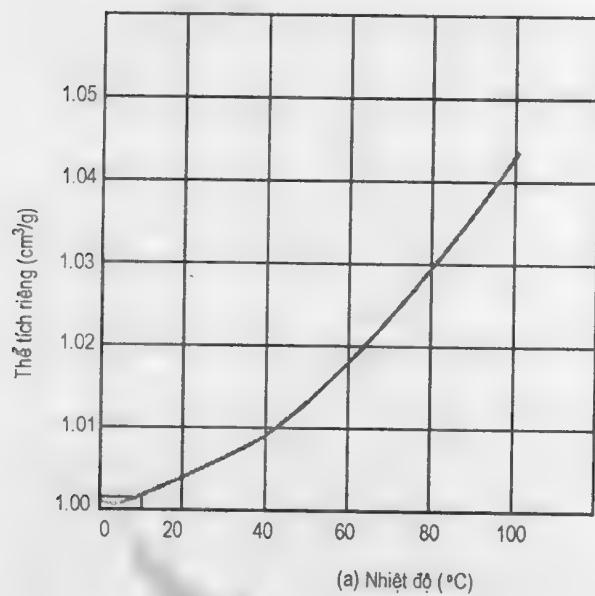
Nếu tất cả mọi chiều của một vật rắn đều nở vì nhiệt thì thể tích của vật rắn cũng phải nở. Với chất lỏng thì chỉ có sự nở khôi là tham số giãn nở có ý nghĩa. Nếu nhiệt độ của một chất rắn hay chất lỏng có thể tích V tăng thêm một lượng ΔT , thì độ tăng thể tích tính theo

$$\Delta V = V\beta \Delta T \quad (19.11)$$

Trong đó β là hệ số nở khôi của chất rắn hay chất lỏng.

Hệ số nở khôi và hệ số nở dài của một vật rắn liên hệ với nhau theo công thức

$$\beta = 3\alpha \quad (19.12)$$



HÌNH 19.12.

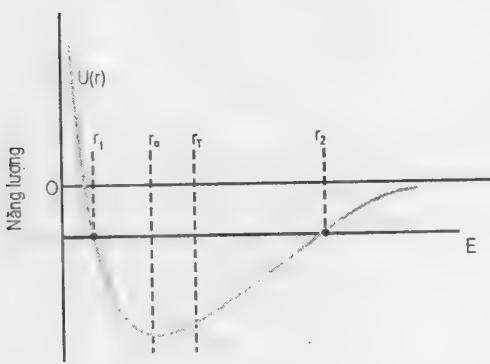
- a) Thể tích riêng của nước là một hàm số của nhiệt độ.
- b) Phóng to đường cong gần 4°C cho thấy có cực tiểu của thể tích riêng (đó là lúc có cực đại của khối lượng riêng).

Chất lỏng phổ biến nhất là nước. Không xử sự như các chất lỏng khác. Hình 19.12a cho ta thấy *thể tích riêng* của nó (thể tích của một đơn vị khối lượng) thay đổi theo nhiệt độ như thế nào. Trên 4°C nước nở khi nhiệt độ tăng như ta hi vọng. Tuy nhiên, trong khoảng giữa 0 và gần 4°C, nước co lại khi nhiệt độ tăng (xem hình 19.12b). Ở gần 4°C thể tích riêng của nước qua một giá trị cực tiểu, tức là khối lượng riêng (nghịch đảo của thể tích riêng) có giá trị cực đại. Ở tất cả các nhiệt độ khác, khối lượng riêng của nước đều nhỏ hơn giá trị cực đại này.

Cách xử sự đó của nước là lí do tại sao nước đóng băng từ trên mặt hồ xuống chứ không phải từ đáy, lên. Khi nước ở phía trên mặt hồ, chẳng hạn từ 10°C lạnh dần đi tới băng điểm, nó sẽ nặng hơn nước ở phía dưới và chìm

xuống đáy. Tuy nhiên, khi nhiệt độ xuống thấp hơn 4°C nước tiếp tục bị lạnh, thì trên mặt hồ nước *nhiệt độ* *nghịch* nước ở dưới và do đó nó ở nguyên trên mặt tới khi nó đóng băng. Nếu hồ bị đóng băng từ đáy lên thì băng tạo ra như vậy không thể tan hoàn toàn trong mùa hè vì bị cách nhiệt bởi lớp nước ở trên. Sau một vài năm, phần lớn nước trên mặt thoáng của hồ ở các vùng ôn đới của Trái Đất sẽ đóng băng cứng trong suốt cả năm. Cuộc sống dưới nước như ta thấy bây giờ sẽ không thể tồn tại được. Ai có thể đoán được lại có sự phụ thuộc nhiều như thế vào cách xử sự của nước được thể hiện ở góc trái phía dưới **Hình 19.12a**?

Sự nở vì nhiệt: quan điểm nguyên tử



HÌNH 19.13. Thế năng $U(r)$ của hai nguyên tử cách nhau một đoạn r . Do năng lượng cơ học tăng lên (ứng với sự tăng nhiệt độ), các nguyên tử có khả năng chuyển động xa nhau hơn. Với vật rắn có đường cong thế năng đối xứng thì sẽ không có sự nở vì nhiệt.

Quan trọng hơn là đường cong này không đối xứng mà tăng nhanh hơn khi các nguyên tử đẩy nhau ($r < r_0$) so với khi các nguyên tử hút nhau ($r > r_0$). "Lò xo" giữa các nguyên tử dĩ nhiên là không tuân theo định luật Hooke.

Chính vì sự không đối xứng này của hàm thế năng đã gây ra sự nở vì nhiệt của vật rắn. Đường nằm ngang E là cơ năng của một cặp nguyên tử ở một nhiệt độ T nào đó. Ở nhiệt độ này, khoảng cách giữa các nguyên tử có thể thay đổi trong khoảng từ r_1 tới r_2 với giá trị trung bình là r_T lớn hơn r_0 . Hơn nữa, r_T phải tăng lên (dịch sang phải) khi năng lượng E (tức là khi nhiệt độ) tăng lên. Vì r_2 dịch sang bên phải nhiều hơn r_1 dịch sang bên trái. Nói một cách khác, hằng số mạng trung bình r_T và do đó kích thước của vật rắn tăng theo nhiệt độ. Một vật rắn có đường cong thế năng đối xứng sẽ không nở vì nhiệt; r_T trên hình 19.13 sẽ giữ nguyên không đổi tại mọi nhiệt độ (dĩ nhiên ta giả thiết rằng, chất rắn vẫn ở trạng thái rắn mà không nóng chảy hay bay hơi).

Bây giờ ta xem tại sao một vật rắn lại nở khi bạn tăng nhiệt độ của nó? Các vật rắn kết tinh liên kết với nhau trong một mạng tinh thể ba chiều bởi lực tương tác giống như lực lò xo giữa các nguyên tử. Các nguyên tử dao động quanh nút mạng với biên độ tăng theo nhiệt độ.

Nếu toàn bộ vật rắn nở thì khoảng cách trung bình giữa các nguyên tử lân cận phải tăng lên.

Hình 19.13 cho ta đường cong thế năng $U(r)$ của một cặp nguyên tử lân cận trong mạng, trong đó r là khoảng cách giữa chúng. Thế năng có giá trị cực tiểu tại $r = r_0$ là hằng số mạng mà vật rắn có ở nhiệt độ gần không độ tuyệt đối.

Bài toán mẫu 19.3

Người ta đặt đường ray bằng thép khi nhiệt độ 0°C thì khe phải để giữa hai thanh ray là bao nhiêu để ở nhiệt độ 42°C chúng khít với nhau. Mỗi thanh ray có chiều dài $12,0\text{ m}$.

Giải : Từ bảng 19.3 ta có hệ số nở dài vì nhiệt của sắt là $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Từ phương trình 19.9 ta có:

$$\Delta L = L\alpha\Delta T = 12,0\text{m} \times 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \times 42^{\circ}\text{C} = 5,5 \times 10^{-3}\text{m} = 5,5\text{ mm} \quad (\text{Đáp số}).$$

Bài toán mẫu 19.4

Một dây thép có độ dài $L = 130\text{ cm}$, có đường kính $d = 1,1\text{ mm}$, được nung tới nhiệt độ 830°C và được căng chặt giữa hai trụ cứng. Hồi sức căng xuất hiện trong dây là bao nhiêu khi nó lạnh tới 20°C ?

Giải. Đầu tiên ta tính xem, dây sẽ co lại bao nhiêu nếu nó được để tự do. Từ p.t 19.9, ta có:

$$\Delta L = L\alpha\Delta T = 1,3\text{ m} \times 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \times (830^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 1,16 \times 10^{-2}\text{ m} = 1,16\text{ cm}$$

Tuy nhiên, sợi dây không được co lại. Vì vậy, chúng ta phải tính xem cần một lực bao nhiêu để kéo dài nó ra một lượng như vậy.

$$F = \frac{\Delta L}{L} E \times A = \frac{\Delta L}{L} E \times \frac{\pi}{4} d^2$$

Trong đó, E là suất young của thép (xem bảng 13.1) và A là tiết diện thẳng của sợi dây. Thay vào ta có:

$$F = 1,16 \times 10^{-2}\text{ m} \times 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times \frac{\pi}{4} \times \frac{(1,1 \times 10^{-3}\text{ m})^2}{1,3\text{ m}} = 1700\text{N} \quad (\text{Đáp số})$$

Bạn có thể chứng minh rằng đáp số này độc lập với độ dài của sợi dây.



Nếu đoán cầu không lắp thành nhịp, cách nhau bằng chỗ nối giãn nở như ta thấy trong ảnh, thì lồng đường trên cầu có thể bị oằn do nở trong các ngày rất nóng, hoặc ròi ra do co lại trong những ngày thật lạnh.

Có một thời những bức tường gạch nhô ra của những ngôi nhà cổ được gia cố bằng cách đặt một thanh thép xuyên dọc từ bên ngoài tường này qua suốt ngôi nhà đến bên ngoài tường bên kia. Thanh thép sau đó được nung nóng và bắt êcu chặt ở phía ngoài hai bức tường. Khi thanh thép nguội đi, sức căng được tạo nên trong thanh giúp cho các bức tường khỏi ngả ra bên ngoài.

Bài toán mẫu 19.5

Mùa hè một ngày trời nóng ở Las Vegas một tàu chở dầu chở 9785 galông dầu diesel. Khi đã gần phải thời tiết lạnh trên đường đến Payson, Utah là nơi phải giao toàn bộ hàng. Tại đây nhiệt độ thấp hơn so với Las Vegas 41°F . Hồi tàu đã giao bao nhiêu galông. Hệ số nở khói của dầu Diesel là $9,5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ và hệ số nở dài của thép thùng chứa dầu là $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

Giải. Từ p.t 19.11 ta có:

$$\Delta V = V\beta\Delta T = (9785 \text{ gal}) \times (9,5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}) 41^{\circ}\text{F}(5^{\circ}\text{C}/9^{\circ}\text{F}) = 212 \text{ gal}$$

Vậy số dầu đã giao là:

$$V_{\text{giao}} = V - \Delta V = 9785 \text{ gal} - 212 \text{ gal} \approx 9573 \text{ gal} \approx 9600 \text{ gal}.$$

Chú ý là hệ số nở vì nhiệt của thùng chứa bằng thép không dùng làm gì trong bài toán này.

Câu hỏi: Ai trả tiền cho số dầu Diesel thiếu này?

CÁCH GIẢI BÀI TOÁN

Chiến thuật 2: ĐƠN VỊ CHO ĐỘ BIẾN THIÊN NHIỆT ĐỘ

Hệ số nở dài α được định nghĩa là sự thay đổi tỉ số của chiều dài (số không có thứ nguyên) trên độ biến thiên một đơn vị của nhiệt độ. Trong bảng 19.3 ta thấy độ biến thiên một đơn vị của nhiệt độ được biểu thị bằng độ celsi ($^{\circ}\text{C}$). Từ đó ta thấy, bất kì một sự biến thiên nhiệt độ nào tính theo độ celsi cũng có cùng giá trị bằng số như tính theo Kelvin, và những giá trị của α trong bảng 19.13 cũng có thể tính theo Kelvin.

Thí dụ: Giá trị của α với thép có thể được viết hoặc $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ hoặc $11 \times 10^{-6}/\text{K}$. Điều đó có nghĩa là có thể thay thế một trong hai biểu thức của α trong bài toán mẫu 19.3 và 19.4. Ta có thể làm một sự thay thế tương tự cho β trong bài mẫu 19.5.

Bạn đọc sẽ thấy những tình trạng tương tự trong một vài chương tiếp sau. Các đại lượng bao hàm độ biến thiên một đơn vị nhiệt độ có thể biểu diễn theo các kí hiệu tương đương của $^{\circ}\text{C}$ hoặc K .

ÔN TẬP VÀ TÓM TẮT

Nhiệt độ; nhiệt kế

Nhiệt độ là đại lượng vĩ mô, liên hệ tới cảm giác nóng lạnh của chúng ta. Nó được đo bằng một nhiệt kế chứa một tác nhân có một tính chất đo được, chẳng hạn độ dài, áp suất, và biến thiên một cách đều đặn khi tác nhân nóng lên hay lạnh đi.

Định luật thứ không của nhiệt động lực học

Khi một nhiệt kế và một vật nào đó được đặt tiếp xúc với nhau chúng sẽ tiến tới cân bằng nhiệt. Số đọc của nhiệt kế khi đó được lấy làm nhiệt độ của vật kia. Quá trình đó cho ta một phép đo nhiệt độ hợp lý và tiện dụng vì theo **định luật thứ không**

của nhiệt động lực học: nếu hai vật A và B mỗi vật cân bằng nhiệt với một vật thứ ba (nhiệt kế) thì A và B cân bằng nhiệt với nhau.

Nhiệt giao Kelvin

Nhiệt độ đo được trong hệ SI theo nhiệt giao Kelvin. Nhiệt giao này được thiết lập như sau: đầu tiên định nghĩa giá trị bằng số của nhiệt độ tại đó nước tồn tại cân bằng ở cả ba pha (điểm ba) là 273,16K. Sau đó các nhiệt độ khác được xác định bằng nhiệt kế khí thể tích không đổi. Vì các khí khác nhau chỉ cho ta cùng một giá trị khi khí có khối lượng riêng rất nhỏ, nên *nhiệt độ khí lí tưởng* được đo bằng nhiệt kế khí được định nghĩa là:

$$T = (273,16\text{K}) \left(\lim_{m \rightarrow 0} \frac{p}{p_3} \right) \quad (19.6)$$

Ở đây: T là nhiệt độ Kelvin đo được, p_3 và p lần lượt là áp suất khí ở điểm ba và ở nhiệt độ muốn đo, m là khối lượng khí trong nhiệt kế.

Nhiệt giao quốc tế

Một số điểm cố định trong nhiệt giao Kelvin được đo làm cơ sở cho *nhiệt giao quốc tế*. Các giá trị này được ghi trong bảng 19.1.

Nhiệt giao Celsius và Fahrenheit

Ngoài nhiệt giao Kelvin còn có hai nhiệt giao thường dùng khác là nhiệt giao Celsius được định nghĩa bằng

$$T_C = T - 273,15^\circ \quad (19.7)$$

và nhiệt giao Fahrenheit được định nghĩa bằng:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32^\circ \quad (19.8)$$

Sự nở vì nhiệt

Mọi vật sẽ thay đổi kích thước của nó khi nhiệt độ thay đổi. Độ thay đổi ΔL của độ dài L bất kì được tính theo công thức:

$$\Delta L = L \alpha \Delta T, \quad (19.9)$$

Trong đó α là hệ số nở dài.

Độ biến thiên thể tích ΔV của một vật rắn hay lỏng có thể tích V là:

$$\Delta V = V \beta \Delta T$$

Ở đây $\beta = 3\alpha$ là hệ số nở khối của chất.

CÂU HỎI

1. Nhiệt độ là khái niệm vi mô hay vĩ mô?
2. Ngoài nhiệt độ ra còn có những đại lượng vật lí nào khác có xu hướng cân bằng. Nếu hai hệ khác nhau được nối với nhau?
3. Một miếng nước đá và một nhiệt kế ấm được treo trong một bình kín đã hút

chân không sao cho chúng không tiếp xúc với nhau. Tại sao giá trị đọc được của nhiệt kế lại giảm dần theo thời gian?

4. Gọi p_3 là áp suất trong bầu của một nhiệt kế khí thể tích không đổi khi bầu đặt tại điểm ba có nhiệt độ 273,16K và p là áp suất khi bầu để ở nhiệt độ phòng. Cho ba nhiệt kế khí thể tích không đổi: với A khí là oxy và $p_3 = 20 \text{ cmHg}$; với B là khí cũng là oxy nhưng $p_3 = 40 \text{ cmHg}$, và với C là hidro và $p_3 = 30 \text{ cmHg}$. Giá trị đo p của ba nhiệt kế này lần lượt là p_A , p_B và p_C

a) Giá trị gần đúng của nhiệt độ phòng T có thể nhận được theo mỗi nhiệt kế là

$$T_A = 273,16 \frac{p_A}{20 \text{ cmHg}} ; \quad T_B = 273,16 \frac{p_B}{40 \text{ cmHg}} ; \quad T_B = 273,16 \frac{p_C}{30 \text{ cmHg}}$$

Chỉ rõ các cách phát biểu sau đây là đúng hay sai:

Với phương pháp như trên, cả ba nhiệt kế cho cùng một giá trị của T .

Hai nhiệt kế oxy cho cùng một giá trị, nhưng khác với nhiệt kế hidro.

Mỗi nhiệt kế cho một giá trị T khác nhau.

b) Với sự kiện ba nhiệt kế cho các giá trị khác nhau, hãy giải thích xem phải thay đổi cách dùng các nhiệt kế này như thế nào để chúng chỉ cùng một giá trị T .

5. Một sinh viên khi nói rằng nhiệt độ ở tâm Mặt Trời là vào khoảng $1,5 \cdot 10^7$ độ, hỏi rằng đó là nhiệt độ celsius hay kelvin. Bạn sẽ trả lời thế nào? Bạn sẽ trả lời thế nào nếu bạn đó hỏi, đó là theo nhiệt giao celsius hay fahrenheit.

6. Chủ bút một tạp chí thương mại nổi tiếng khi thảo luận về khả năng của các hiệu ứng ám lên liên quan tới sự tăng nồng độ khí các bon dioxit trong bầu khí quyển Trái Đất đã viết: "Các vùng cực có thể ám hơn hiện nay ba lần". Bạn nghĩ điều đó có nghĩa là như thế nào? (Trích từ "Sự ám áp và nhiệt độ"- Những sai lầm buồn cười của Albert.A.Bartlett- The Physits Teacher- Tháng 11/1984).

7. Dẫu rằng không độ tuyệt đối có vẻ như không thể đạt tới bằng thực nghiệm, nhưng nhiệt độ thấp như $0,00000002\text{K}$ đã đạt được trong phòng thí nghiệm. Nhiệt độ đó có thể còn là đủ thấp với mọi mục đích thực tế chưa? Tại sao các nhà vật lí (thực tế họ làm như vậy) luôn cố gắng để thu được nhiệt độ thấp hơn nữa?

8. Nhiệt độ có thể được gán cho chân không được không?

9. Có phải cảm giác nhiệt độ của chúng ta có một cảm giác gắn liền với chiều hướng và nhất thiết nóng hơn, có nghĩa là nhiệt độ cao hơn, hay đó chỉ là một quy ước vô đoán nào? Anders Celci (mà nhiệt giao mang tên ông, ban đầu chọn điểm sôi của nước là 0°C và điểm băng của nước 100°C).

10. Nhiều nhãn hiệu thuốc thông báo cho người dùng phải đảm bảo ở nhiệt độ thấp hơn 86°F ? Tại sao lại là 86° ? (Gợi ý: đổi sang độ Celsius).

11. Hãy gợi ý xem đo như thế nào nhiệt độ của :

- a) Mặt trời
- b) Lớp trên bầu khí quyển Trái Đất
- c) Một con côn trùng nào đó

- d) Mặt trăng
- e) Thềm lục địa
- f) Heli lỏng?

12. Với mục đích làm nhiệt kế khí thể tích không đổi tiêu chuẩn thì liệu có chất khí này tốt hơn chất khí kia không? Tính chất nào của chất khí là cần thiết cho mục đích đó?

13. Hãy trình bày một vài trở ngại khi dùng nhiệt kế nước trong thủy tinh. Có phải nhiệt kế thủy ngân trong thủy tinh là một cải tiến không?

14. Hãy giải thích tại sao cột thủy ngân lúc đầu hạ xuống sau đó dâng lên khi một nhiệt kế thủy ngân trong thủy tinh được để vào ngọn lửa.

15. Nhiệt giao Celsius và Fahrenheit có gì là giống nhau?

16. Thứ nguyên của α hệ số nở dài vì nhiệt là gì? Giá trị của α có phụ thuộc vào đơn vị độ dài không?

Khi độ Fahrenheit được dùng thay cho độ Celsius là đơn vị đo độ biến thiên nhiệt độ, thì giá trị bằng số của α thay đổi như thế nào?

17. Một quả bóng bằng kim loại có thể lọt qua một vòng kim loại. Khi nung quả bóng, nó bị mắc trong vòng. Điều gì sẽ xảy ra nếu là vòng chứ không phải quả bóng bị nung nóng.

18. Hai thanh, một bằng thép, một bằng kẽm, được tán rivet chặt với nhau tạo thành một thanh thẳng. Thanh này cong lên khi bị nung nóng. Giải thích tại sao sắt lại ở mặt trong của đường cong.

19. Giải thích tại sao chu kỳ dao động của đồng hồ quả lắc có thể không đổi với nhiệt độ bằng cách gắn những ống thủy ngân thẳng đứng ở đầu dưới quả lắc?

20. Tại sao một ống khói lại phải đứng riêng lẻ, nghĩa là không phải là một phần của khung cấu trúc ngôi nhà?

21. Nước nở ra khi đóng băng. Bạn có thể định nghĩa hệ số nở khối cho quá trình đóng băng được không?

22. Giải thích tại sao độ nở biểu kiến khi nung nóng một chất lỏng trong một bầu thủy tinh lại không cho ta biết độ nở thực của chất lỏng?

BÀI TẬP VÀ BÀI TOÁN

Mục 19-4. ĐO NHIỆT ĐỘ

1E. Để đo các nhiệt độ, các nhà vật lí và thiên văn học thường dùng độ biến thiên cường độ bức xạ điện từ phát ra từ một vật.

Bước sóng ứng với cường độ lớn nhất tính theo phương trình

$$\lambda_{\max} T = 0,2898 \text{ cm.K};$$

trong đó λ_{\max} là bước sóng ứng với cường độ lớn nhất, T nhiệt độ của vật tính bằng

kelvin. Năm 1965, đỉnh của sóng bức xạ có $\lambda_{\max} = 0.107$ cm đã được phát hiện từ mọi phía của vũ trụ tối. Nó ứng với nhiệt độ bao nhiêu? Sự giải thích về *phông của bức xạ* này là: đó là bức xạ phát ra từ "big-bang" từ 15 tỷ năm trước đây, khi vũ trụ bắt đầu dần nở nhanh và lạnh đi.

2E. Một cặp nhiệt điện làm bằng hai kim loại khác nhau, hàn với nhau tại hai điểm sao cho chúng tạo nên một hiệu điện thế nhỏ khi nhiệt độ của hai mối hàn khác nhau. Ở cặp nhiệt điện sắt-constantin, khi một mối hàn được giữ ở $0,000^{\circ}\text{C}$, hiệu điện thế lối ra biến thiên tuyến tính từ $0,000$ tới $28,0$ mV khi nhiệt độ của mối hàn thứ hai biến thiên từ $0,000$ tới 510°C . Tìm nhiệt độ của mối hàn này khi lối ra của cặp nhiệt điện có giá trị $10,2$ mV.

3E. Hệ số khuếch đại hay *độ tăng ích* của một máy khuếch đại dùng tranzistor có thể phụ thuộc vào nhiệt độ. Độ tăng ích cả một máy khuếch đại nào đó ở nhiệt độ phòng (20°C) là $30,0$ và $35,2$ ở $55,0^{\circ}\text{C}$. Vậy, hệ số tăng ích của máy là bao nhiêu ở 30°C nếu hệ số tăng ích phụ thuộc tuyến tính vào nhiệt độ trong phạm vi đó.

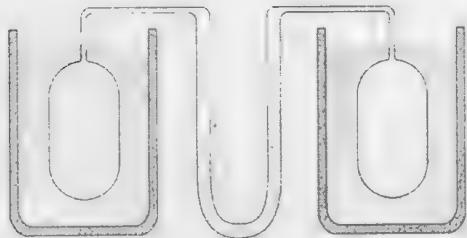
4E. Nếu nhiệt độ của một chất khí tại điểm hóa hơi là $373,15\text{K}$ thì giá trị giới hạn của tỉ số giữa áp suất của khí tại điểm hóa hơi và áp suất tại điểm ba của nước là bao nhiêu? (Giả thiết rằng thể tích của khí là như nhau ở cả hai nhiệt độ).

5E. Một nhiệt kế điện trở là nhiệt kế mà điện trở của nó thay đổi theo nhiệt độ. Chúng ta hoàn toàn tự do khi định nghĩa nhiệt độ đo theo một nhiệt kế như vậy theo nhiệt độ kelvin (K) là tỉ lệ với điện trở R đo bằng ôm (Ω). Một nhiệt kế điện trở nào đó có điện trở R là $90,35 \Omega$ khi bầu của nó ở trong nước ở nhiệt độ của điểm ba ($273,16\text{K}$). Nhiệt kế sẽ chỉ nhiệt độ bao nhiêu nếu bầu nhiệt kế đặt ở nơi mà điện trở của nó là $96,28 \Omega$?

6P. Hai nhiệt kế khí có thể tích không đổi được đặt cạnh nhau, một dùng khí nitơ, một dùng khí hidro. Cả hai chứa một lượng khí thích hợp để $p_3 = 80 \text{ mmHg}$. Sự khác nhau giữa áp suất của hai nhiệt kế là bao nhiêu, nếu cả hai đều đặt trong một bình nước ở điểm sôi. Trong hai áp suất, áp suất của nhiệt kế nào lớn hơn?

7P. Một nhiệt kế khí đặc biệt làm bằng hai bầu chứa khí mỗi bầu đặt trong một bồn nước như Hình vẽ 19.14.

Hiệu áp suất giữa hai bầu được đo bằng áp kế thủy ngân như hình vẽ.



Những bình chứa thích hợp, không vẽ trên hình, giữ thể tích khí trong hai bầu không đổi. Không có hiệu áp suất khi cả hai bầu đều ở điểm ba của nước. Hiệu áp suất là 120 mmHg khi một bồn ở điểm ba của nước, còn bồn kia ở điểm sôi. Cuối cùng, hiệu áp suất là $90,0 \text{ mmHg}$ khi một bồn ở điểm ba còn bồn kia ở điểm muốn đo. Hỏi nhiệt độ muốn đo là bao nhiêu?

HÌNH 19.14. Bài toán 7

8P. Một tecmisto (điện trở nhiệt) là một thiết bị bán dẫn có điện trở phụ thuộc nhiệt độ. Nó thường được dùng trong nhiệt kế y học và để báo sự nung nóng quá mức trong thiết bị điện tử. Trong một giới hạn đo nào đó, điện trở được tính theo công thức:

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

trong đó R là điện tử của tecmisto ở nhiệt độ T , R_a là điện trở ở nhiệt độ T_a . B là một hằng số phụ thuộc vào chất bán dẫn sử dụng. Với một điện trở nhiệt $B = 4689K$, và điện trở ở $273K$ là $1,00 \times 10^4\Omega$. Hỏi nhiệt độ của tecmisto là bao nhiêu, khi điện trở của nó là 100Ω ?

Mục 19.6. NHIỆT GIAI CELSI VÀ FAHRENHEIT

9E. Trong ngày lễ mừng sinh nhật lần thứ 44 của mình, ca sĩ Tom Rush nhận xét: "Tôi thích gọi nó là 5 celsi". Tom làm thế có đúng không? Nếu không, tuổi của ông ấy tính theo Celsi là bao nhiêu?

10E. Tại nhiệt độ bao nhiêu thì số đọc trên nhiệt gai Fahrenheit

- a) Gấp 2 lần số đọc trên nhiệt gai Celsi?
- b) Bằng $1/2$ số đọc trên nhiệt gai Celsi?

11E. Nếu bác sĩ của bạn nói với bạn rằng nhiệt độ của bạn là 310 độ trên không độ tuyệt đối thì bạn có lo lắng không? Giải thích câu trả lời của bạn.

12E. a) Năm 1964, nhiệt độ ở một làng Sibéri thuộc Omyakon đạt tới giá trị $-71^\circ C$. Tính theo nhiệt gai Fahrenheit, nhiệt độ đó là bao nhiêu? b) Nhiệt độ kỉ lục cao nhất ghi được chính thức trong lục địa Hoa Kì là $134^\circ F$ ở Death Valley (thung lũng chết) bang California- Tính theo nhiệt gai Celsi nhiệt độ đó là bao nhiêu?

13E. a) Nhiệt độ bề mặt của Mặt Trời khoảng $6000K$, biểu thị nhiệt độ này theo nhiệt gai Fahrenheit. b) Biểu thị nhiệt độ cơ thể con người $98,6^\circ F$ theo nhiệt gai Celsi. c) Trong lục địa Hoa Kì, nhiệt độ thấp nhất ghi được chính thức là $-70^\circ F$ tại Rogers Pass, Montana. Biểu thị nhiệt độ này theo nhiệt gai celsi. d) Biểu thị điểm sôi bình thường của oxy $-183^\circ C$ theo nhiệt gai Fahrenheit. e) Tại nhiệt độ Celsi bằng bao nhiêu bạn cảm thấy phòng ở là nóng không chịu nổi?

14E. Tại nhiệt độ bằng bao nhiêu số chỉ sẽ như nhau trên từng cặp nhiệt gai sau đây:

- a) Fahrenheit và Celsi (thử lại bằng số trong bảng 19.2).
- b) Fahrenheit và Kelvin?
- c) Celsi và Kelvin?

15P. Giả thiết rằng trên nhiệt gai X, nước sôi ở nhiệt độ $-53,5^\circ X$ và đóng băng tại $-170^\circ X$. Vậy nhiệt độ $340K$ sẽ là bao nhiêu trên nhiệt gai X.

16P. Trong khoảng giữa băng điểm của nước và $700,0^\circ C$ một nhiệt kế điện trở platin có các đặc điểm kĩ thuật nhất định dùng cho việc nội suy nhiệt độ trên nhiệt gai quốc tế. Nhiệt độ Celsi T_c liên hệ với độ biến thiên của điện trở theo công thức:

$$R = R_o(1+AT_c+BT_c^2)$$

R_o , A, B là các hằng số xác định bằng cách đo tại băng điểm, điểm sôi và điểm nóng chảy của kẽm.

a) Nếu $R = 10.000\Omega$ tại băng điểm, 13.946Ω tại điểm sôi và $24,172\Omega$ tại điểm nóng chảy của kẽm, tìm R_o , A, B.

b) Vẽ đồ thị R theo T_C trong khoảng nhiệt độ từ 0 tới $700,0^\circ C$.

17P. Quan sát hàng ngày ta đều thấy một vật nóng thì lạnh đi và vật lạnh thì nóng lên tới nhiệt độ xung quanh. Nếu hiệu nhiệt độ giữa vật và môi trường xung quanh không quá lớn ($\Delta T = T_{vật} - T_{môi trường}$) thì tốc độ lạnh đi hay nóng lên của vật sẽ gần đúng tỉ lệ với hiệu nhiệt độ, tức là:

$$\frac{d\Delta T}{dt} = -A(\Delta T)$$

trong đó A là một hằng số. Phải đặt dấu trừ vì ΔT giảm dần theo thời gian, nếu $\Delta T > 0$, và tăng theo thời gian nếu $\Delta T < 0$.

Đó chính là định luật Newton về sự lạnh đi.

a) A phụ thuộc vào gì? Thứ nguyên của nó là gì?

b) Nếu tại một thời điểm nào đó $t = 0$, hiệu nhiệt độ là ΔT_0 , chứng tỏ rằng:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-At} \text{ tại thời điểm } t \text{ sau đó.}$$

18P. Lò sưởi của một ngôi nhà bị hỏng vào một ngày mà nhiệt độ bên ngoài là $7,0^\circ C$. Kết quả là nhiệt độ trong nhà giảm từ 22 xuống $18^\circ C$ trong $1,0h$. Bà chủ nhà cho chửa lò sưởi và tăng thêm cách nhiệt cho ngôi nhà. Bây giờ bà ta thấy, vào một ngày tương tự ngày trên, nhiệt độ ngôi nhà giảm từ 22 xuống $18^\circ C$ sau một thời gian lâu gấp đôi khi lò sưởi không làm việc. Hỏi tỉ số của hằng số A trong định luật Newton về làm lạnh (xem bài toán 17P) sau khi tăng thêm cách nhiệt và trước đó là bao nhiêu?

19P. Một nhiệt kế thủy ngân trong thủy tinh được đặt vào trong nước sôi một vài phút, sau đó bỏ ra. Nhiệt độ đọc được tại các thời điểm khác nhau, sau khi bỏ ra được ghi ở bảng dưới đây. Vẽ A là một hàm số của thời gian, khi sử dụng định luật Newton về sự làm lạnh (xem bài toán 17P).

Việc áp dụng định luật Newton về sự làm lạnh ở đây đúng tới mức nào?

T(1)	T($^\circ C$)	T(1)	T($^\circ C$)
0,0	98,4	100	50,3
5,0	76,1	150	43,7
10	71,1	200	38,8
15	67,7	300	32,7
20	66,4	500	27,8
25	65,1	700	26,5
30	63,9	1000	26,1
40	61,6	1400	26,0
50	59,4	2000	26,0
70	55,4	3000	26,0

MỤC 19.7. SỰ NỔ VÌ NHIỆT

20E. Một thanh thép có chiều dài chính xác 20cm tại 30°C . Nó dài thêm bao nhiêu khi nhiệt độ là 50°C ?

21E. Một cột cờ bằng nhôm cao 33m. Chiều cao tăng thêm bao nhiêu khi nhiệt độ tăng thêm 15°C ?

22E. Một gương bằng thuỷ tinh pyrex của một kính viễn vọng tại đài thiên văn Mount Palomar có đường kính 200 in. Trong khoảng nhiệt độ từ -10 đến 50°C trên Mount Palomar, độ biến thiên của đường kính gương cực đại là bao nhiêu?

23E. Một lỗ tròn trên một tấm gương có đường kính 2,725 cm tại $0,000^{\circ}\text{C}$. Hỏi đường kính của lỗ là bao nhiêu khi nhiệt độ của tấm tăng lên $100,0^{\circ}\text{C}$.

24E. Một thanh hợp kim nhôm có độ dài 10,000 cm ở nhiệt độ 20°C và có độ dài 10,015 cm ở điểm sôi của nước.

a) Hỏi độ dài của nó ở băng điểm của nước.

b) Nhiệt độ của nó là bao nhiêu, nếu độ dài là 10,009 cm?

25E. a) Biểu thị hệ số nở dài của nhôm khi dùng nhiệt giao Fahrenheit.

b) Sử dụng đáp số của bạn hãy tính độ biến thiên độ dài của thanh nhôm dài 20 ft nếu nó được nung nóng từ 40 tới 95°F .

26E. Khi Trái Đất hình thành, nhiệt lượng giải phóng ra do sự phân rã cả các chất phóng xạ đã làm tăng nhiệt độ trung bình bên trong nó từ 300 tới 3000K , gần đúng giá trị nó có ngày nay. Giả thiết hệ số ở khói trung bình của nó là $3,0 \times 10^{-5}\text{K}^{-1}$, hỏi bán kính của Trái Đất tăng lên bao nhiêu kể từ khi nó hình thành.

27E. Một thanh khi dùng thước thép đo tại 20°C có độ dài chính xác 20,05cm. Cả thanh và thước được đặt trong lò ở nhiệt độ 270°C ; khi đó cũng đo bằng thước trên, thanh có độ dài 20,11cm. Hỏi hệ số nở dài vì nhiệt của vật liệu làm thanh trên là bao nhiêu?

28E. Máy gia tốc tuyến tính Standford chứa hàng trăm dĩa đồng gắn khít trong ống bằng thép. Hệ thống được lắp ghép bằng cách làm lạnh dĩa ở băng khô ($-57,00^{\circ}\text{C}$) để chúng có thể trượt bên trong ống khít. Nếu đường kính dĩa là 80,00 mm ở $43,00^{\circ}\text{C}$, hỏi đường kính của nó bằng bao nhiêu trong băng khô?

29E. Một cửa sổ thủy tinh có kích thước chính xác 20×30 cm ở nhiệt độ 10°C . Diện tích của nó tăng lên bao nhiêu khi nhiệt độ của nó là 40°C .

30E. Một khối lập phương bằng đồng cạnh 30cm. Hỏi diện tích bề mặt tăng lên bao nhiêu khi nó được nung nóng từ 20 đến 75°C .

31E. Tìm độ biến thiên thể tích của một hình cầu nhôm bán kính 10 cm khi nó được nung nóng từ 0°C đến 100°C .

32E. Thể tích cả một khối cầu bằng chì ở 30°C là bao nhiêu nếu thể tích của nó ở 60°C là 50cm^3 ?

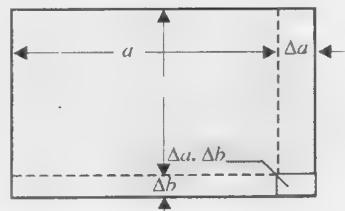
33E. Thể tích của một hình lập phương cạnh 5cm tăng thêm bao nhiêu khi nó được nung nóng từ $10,0$ tới $60,0^{\circ}\text{C}$?

34E. Hãy hình dung một cốc dung tích 100cm^3 chứa đầy glyxêrin ở 20°C . Hỏi có bao nhiêu glyxêrin tràn ra khỏi cốc nếu nhiệt độ của cốc và glyxêrin tăng tới 28°C ? (Hệ số nở khối của glyxêrin là $5,1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$).

35E. Một thanh thép được xiết chặt hai đầu sau đó làm lạnh. Hỏi ở nhiệt độ nào thanh trên bị dứt (xem bảng 13.1).

36P. Một thanh thép có đường kính 3cm ở 25°C . Một vòng băng đồng có đường kính trong $2,992\text{cm}$ ở 25°C . Hỏi tại nhiệt độ chung là bao nhiêu vòng có thể trượt khít trên thanh?

37P. Diện tích A của một hình chữ nhật phẳng là $a.b$. Hệ số nở dài của nó là α . Khi nhiệt độ tăng ΔT , cạnh a dài thêm Δa , cạnh b dài thêm Δb . Chứng minh rằng, nếu ta bỏ qua lượng bé $\Delta a.\Delta b/ab$ (xem hình 19.15) thì ta có: $\Delta A = 2\alpha A\Delta T$.



Hình 19.15
Bài toán 37P

38P. Chứng minh rằng nếu ta bỏ qua những lượng vô cùng bé, thì độ biến thiên thể tích của một vật rắn do nở vì nhiệt khi nhiệt độ biến thiên một lượng ΔT là $\Delta V = 3\alpha V\Delta T$ (Xem các hình 19.11 và 19.12).

39P. Khối lượng riêng là khối lượng chia cho thể tích. Nếu thể tích phụ thuộc vào nhiệt độ thì khối lượng riêng ρ cũng phụ thuộc vào nhiệt độ. Chứng minh rằng, một độ biến thiên nhỏ về khối lượng riêng $\Delta\rho$ khi nhiệt độ thay đổi ΔT là $\Delta\rho = -\beta\rho\Delta T$.

Ở đây β là hệ số nở khối, giải thích nghĩa của dấu trừ.

40P. Khi nhiệt độ của một hình trụ kim loại tăng từ $0,0^{\circ}\text{C}$ tới 100°C , độ dài của nó tăng $0,23\%$.

a) Tìm độ biến thiên theo phần trăm của khối lượng riêng?

b) Kim loại đó là gì?

41P. Chứng minh rằng khi nhiệt độ của chất lỏng trong một khí quyển áp kế biến thiên ΔT và áp suất không đổi thì chiều cao h biến đổi một lượng $\Delta h = \beta h\Delta T$, trong đó β là hệ số nở khối, bỏ qua sự nở của ống thủy tinh.

42P. Khi nhiệt độ của một đồng xu bằng đồng tăng 100°C , đường kính của nó tăng thêm $0,18\%$. Từ hai số liệu đó cho biết sự tăng thêm theo phần trăm: a) diện tích của một mặt? b) độ dày? c) thể tích? và d) khối lượng riêng của đồng xu? e) Tính hệ số nở dài của nó?

43P. Một quả lắc đồng hồ làm bằng invar (Xem bảng 19.3) có chu kỳ $0,50\text{s}$ và chỉ giờ đúng ở 20°C , nếu đồng hồ được dùng ở nơi khí hậu có nhiệt độ trung bình 30°C thì phải hiệu chỉnh (một cách gần đúng) thời gian chỉ của đồng hồ một lượng là bao nhiêu sau thời gian 30 ngày?

44P. Một đồng hồ quả lắc có con lắc làm bằng đồng thau được thiết kế để chỉ giờ đúng ở 20°C . Sẽ có sai số bao nhiêu giây trong một giờ nếu đồng hồ chạy ở $0,0^{\circ}\text{C}$?

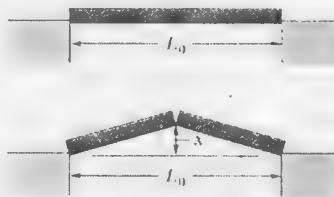
45P. Sự di chuyển của một đồng hồ điện được điều khiển bằng một âm thanh nhỏ. Tần số âm thanh tỉ lệ nghịch với căn bậc hai của chiều dài âm thanh. Hỏi phần tăng thêm hay giảm đi về thời gian của một âm thanh bằng thạch anh dài 8,00 mm tại a) - 40,0°F và b) +120°F nếu nó chỉ thời gian chính xác ở nhiệt độ 25,0°F.

46P. a) Chứng minh rằng, nếu độ dài của hai thanh làm bằng vật liệu rắn khác nhau tỉ lệ nghịch với hệ số nở dài tương ứng tại cùng một nhiệt độ ban đầu thì hiệu chiêu dài của chúng là một số không đổi tại mọi nhiệt độ.

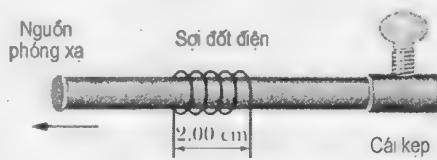
b) Độ dài của một thanh thép và một thanh đồng thau tại 0,00°C là bao nhiêu để hiệu độ dài của chúng tại mọi nhiệt độ là 0,30m?

47P. Do nhiệt độ tăng lên 32°C, một thanh có vết nứt ở giữa bị cong lên như ta thấy trên hình 19.16. Nếu khoảng cách giữa các điểm cố định là $L_0 = 3,77$ m và hệ số nở dài là $25 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, tìm khoảng cách x tới điểm mà tâm nhô lên.

48P. Trong một thí nghiệm, người ta phải di chuyển một nguồn phóng xạ nhỏ với một tốc độ chọn trước hết sức chậm. Điều này thực hiện bằng cách buộc nguồn phóng xạ vào đầu một thanh nhôm và nung nóng phần giữa thanh theo ý muốn. Nếu phần nung nóng cần thiết của thanh trên hình 19.17 là 2,00 cm thì nung nóng thanh với tốc độ không đổi là bao nhiêu để làm dịch chuyển nguồn phóng xạ với vận tốc không đổi là 100 nm/s.



HÌNH 19.16. Bài toán 47



HÌNH 19.17. Bài toán 48

49P. Một ống thuỷ tinh thẳng đứng, dài 1,28 m chứa một chất lỏng tới một nửa ở nhiệt độ 20°C. Chiều cao của cột chất lỏng thay đổi bao nhiêu khi ống bị nung nóng tới 30°C. Cho $\alpha_{\text{thuỷ tinh}} = 1,0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ và $\beta_{\text{lỏng}} = 4,0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

50P. Một thanh composite độ dài $L = L_1 + L_2$ làm từ một thanh vật liệu 1, dài L_1 gắn với thanh vật liệu 2 dài L_2 như hình 19.18.

a) Chứng minh rằng hệ số nở dài hiệu dụng α của thanh được tính theo công thức:

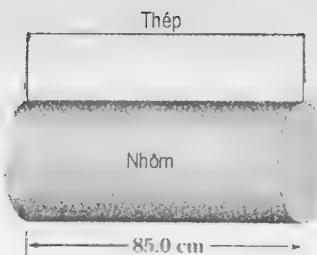
$$\alpha = \frac{(\alpha_1 L_1 - \alpha_2 L_2)}{L}$$

b) Dùng thép và đồng hãy thiết kế một thanh hỗn hợp như vậy có độ dài 52,4 cm và hệ số nở dài hiệu dụng là $13,0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.



HÌNH 19.18. Bài toán 50

51P. Một thanh nhôm dày và một sợi dây thép mảnh gắn song song với nhau như ở hình 19.19. Nhiệt độ của chúng là $10,0^{\circ}\text{C}$. Cả thanh nhôm và dây thép đều có độ dài $85,0\text{ cm}$ và đều không bị căng. Hệ được nung nóng tới 120°C . Tính sức căng tổng cộng của dây thép, giả thiết rằng thanh nhôm dãn nở tự do.



HÌNH 19.19. Bài toán 51.

52P*. Ba thanh thẳng có chiều dài bằng nhau làm bằng nhôm, inva và thép đều ở 20°C , tạo thành một tam giác đều có danh bản lề tại đỉnh. Tại nhiệt độ bao nhiêu góc đối diện với thanh inva là $59,95^{\circ}\text{C}$? Xem phụ lục để tìm các công thức lượng giác cần thiết.

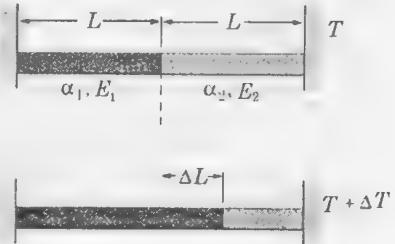
53P*. Hai thanh vật liệu khác nhau nhưng có cùng một dài L và tiết diện ngang A được ghép hai đầu với nhau còn hai đầu kia cố định bằng các giá đỡ như hình 19.20a. Nhiệt độ của chúng là T và thanh không có sức căng ban đầu. Nung nóng chúng lên để nhiệt độ tăng là ΔT .

a) Chứng minh rằng mặt tiếp giáp giữa hai thanh di chuyển một đoạn

$$\Delta L = \left(\frac{\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2}{E_1 + E_2} \right) L \cdot \Delta T$$

(Xem Hình 19.20) trong đó α_1, α_2 là hệ số nở dài và E_1, E_2 là suất Young của các vật liệu. Bỏ qua độ biến thiên của tiết diện ngang.

b) Tính sức căng tại mặt tiếp xúc hai mặt sau khi đốt nóng.



HÌNH 19.20. Bài toán 53

54P. Một khối lập phương bằng nhôm cạnh $20,0\text{cm}$ nổi trên thủy ngân^(*). Hỏi khối nhôm sẽ chìm xuống bao nhiêu khi nhiệt độ tăng từ 270 tới 320K (Hệ số nở khối của thủy ngân là $1,80 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$).

(*) Khối nhôm phải được sơn, hoặc mạ bằng vật liệu không tạo hồn hống với thủy ngân (ND).

NHIỆT VÀ ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

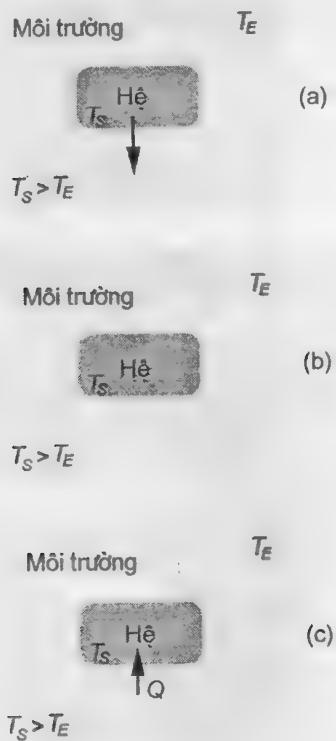
20



Một vật có bề mặt màu đen thường nóng lên nhiều hơn so với một vật có bề mặt màu trắng khi cả hai cùng đặt dưới ánh nắng Mặt Trời. Điều đó cũng đúng với các áo choàng mà người du cư Á rập mặc trên sa mạc Sinai: áo choàng màu đen nóng hơn so với áo choàng màu trắng. Tại sao người du cư Á rập lại luôn mặc áo màu đen? Liệu điều đó có thực sự giảm cơ may tồn tại trong môi trường sa mạc khắc nghiệt?

20.1. NHIỆT LƯỢNG

Nếu bạn lấy một lon coca từ tủ lạnh ra và đặt lên bàn ăn thì nhiệt độ của nó sẽ tăng lên - lúc đầu nhanh, sau chậm dần tới khi nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ phòng. Cũng như vậy, nhiệt độ của một tách cà phê nóng đặt trên đĩa sẽ hạ dần tới khi bằng nhiệt độ phòng.



HÌNH 20.1. a) Nếu nhiệt độ của hệ cao hơn của môi trường thì nhiệt bị mất đi từ hệ sang môi trường đến khi cân bằng nhiệt được thiết lập như b).

c) Nếu nhiệt độ của hệ thấp hơn của môi trường, thì hệ hấp thụ nhiệt tới khi cân bằng nhiệt được thiết lập.

Khái quát hoá điều đó, ta coi coca hay cà phê như một hệ (nhiệt độ T_s) và phần liên quan của nhà bếp là môi trường của hệ (nhiệt độ T_e). Ta nhận thấy rằng nếu T_s khác T_e , thì T_s phải thay đổi tới khi hệ nhiệt độ bằng nhau. (hình 20.1). Một sự thay đổi về nhiệt độ như vậy là do có sự truyền một dạng năng lượng giữa hệ và môi trường. Năng lượng này là nội năng (hay nhiệt năng) nó là động năng tập thể và thế năng liên kết với chuyển động hỗn độn của các nguyên tử, phân tử và các vật vi mô khác bên trong vật. Nội năng truyền đi được gọi là **NHIỆT LƯỢNG** và kí hiệu là Q . Nhiệt lượng là dương khi nội năng được chuyển từ môi trường xung quanh nó sang hệ (ta nói rằng nhiệt được hấp thụ). Nhiệt lượng là âm khi nội năng được chuyển từ hệ sang môi trường quanh nó (ta nói rằng nhiệt được giải phóng hay bị mất).

Trong tình trạng ở hình 20-1a, trong đó $T_s > T_e$, nội năng được chuyển từ hệ sang môi trường, như vậy Q âm. Trong Hình 20.1b, trong đó $T_s = T_e$ không có sự chuyển đó, Q bằng không chẳng được giải phóng, cũng chẳng bị hấp thụ. Còn trong Hình 20.1c, trong đó $T_s < T_e$ có sự chuyển nhiệt từ môi trường sang hệ, như vậy Q là dương.

Chúng ta đi đến định nghĩa sau đây về nhiệt lượng:

"Nhiệt lượng là năng lượng chuyển giữa một hệ và môi trường quanh nó vì có một sự chênh lệch nhiệt độ giữa chúng".

Nếu bạn nghĩ rằng nhiệt lượng được hấp thụ hay giải phóng bởi một hệ thì câu hỏi then chốt của bạn là: đâu là sự chênh lệch nhiệt độ?

Năng lượng cũng có thể được chuyển giữa một hệ và môi trường quanh nó nhờ

công (kí hiệu W), nó luôn luôn liên kết với lực tác dụng lên hệ trong một chuyển dời của hệ. Nếu bạn nghi ngờ công đang thực hiện trên hệ hay bởi hệ thì câu hỏi then chốt của bạn là: "Đâu là lực và điểm đặt của lực chuyển động như thế nào?".

Cả nhiệt lượng và công đều là năng lượng chuyển giữa hệ và môi trường quanh nó. Nhiệt lượng và công, khác với nhiệt độ, áp suất, thể tích không phải là tính chất nội tại của một hệ. Chúng chỉ có nghĩa khi mô tả một sự chuyển năng lượng vào hệ hay khỏi hệ, thêm vào hay bớt đi từ dự trữ *nội năng* của hệ. Vì vậy hoàn toàn đúng đắn khi nói "trong 3 phút cuối cùng, 15J nhiệt lượng đã được chuyển từ môi trường sang hệ" hoặc "trong phút cuối cùng 12J công đã được thực hiện trên hệ bởi môi trường quanh nó". Sẽ là không có nghĩa khi nói "Hệ này chứa 450J nhiệt lượng" hoặc "Hệ này chứa 385J công". Mỗi quan hệ định lượng giữa nhiệt lượng, công và nội năng (hay nhiệt năng) được tổng kết lại thành định luật thứ nhất của nhiệt động lực học là chủ đề của chương này.

Trong sử dụng dân dã từ "nhiệt" thường được dùng khi định nói nhiệt độ. Chẳng hạn khi ta nói "Thật là một ngày nóng", chúng ta nhằm nói tới nhiệt độ chứ không phải nhiệt lượng. Đừng nhầm lẫn những đại lượng hoàn toàn khác nhau này.

20.2. ĐO NHIỆT LƯỢNG: CÁC ĐƠN VỊ

Trước khi các nhà khoa học nhận thức được nhiệt lượng là năng lượng được chuyển, nhiệt lượng được đo thông qua khả năng làm tăng nhiệt độ của nước. Chính vì vậy, calo (cal) được định nghĩa là nhiệt lượng cần thiết cho 1g nước tăng nhiệt độ 14,5 lên 15,5°C. Trong hệ đo lường của Anh, đơn vị nhiệt lượng tương ứng là **ĐƠN VỊ NHIỆT LUỢNG CỦA ANH** (Btu) được định nghĩa là lượng nhiệt có thể làm tăng 1Lb nước từ 63 lên 64°F.

Năm 1948, cộng đồng khoa học quyết định vì rằng, nhiệt lượng cũng như công, là năng lượng được chuyển, nên đơn vị SI cho nhiệt lượng phải cùng là đơn vị cho năng lượng đó là Jun. Calo bây giờ được định nghĩa là 4,1860J (chính xác) và không có liên quan gì tới sự làm nóng của nước cả. Cal dùng trong dinh dưỡng, một đôi khi gọi là Calo (Cal) thực tế là kilô calo.

Mối liên hệ giữa các đơn vị đo nhiệt lượng là:

$$1\text{J} = 0,2389 \text{ calo} = 9,481 \cdot 10^{-4} \text{ Btu}.$$

$$1\text{Btu} = 1055\text{J} = 252,0 \text{ calo}.$$

$$1 \text{ Cal} = 3,96 \cdot 10^{-3} \text{ Btu} = 4,186\text{J}.$$

$$1\text{Cal} = 10^3 \text{ cal} = 3,969 \text{ Btu} = 4186\text{J}.$$

Trong các công trình khoa học, nhiệt lượng ngày càng được nhiều người tính ra jun hơn là được tính ra calo hay Btu. Tuy nhiên, calo vẫn tiếp tục được dùng trong một số lĩnh vực hoá học và Btu dùng trong một số ứng dụng kỹ thuật.

20.3 SỰ HẤP THU NHIỆT CỦA CHẤT RẮN VÀ CHẤT LỎNG. NHIỆT DUNG

NHIỆT DUNG C của một vật (chẳng hạn một bình cà phê bằng pyrex, một cái chảo bằng sắt, một phiến đá) là hằng số tỉ lệ giữa nhiệt lượng và độ biến thiên nhiệt độ mà nhiệt lượng này tạo ra trong vật. Vì vậy:

$$Q = C (T_f - T_i), \quad (20.2)$$

trong đó, T_f , T_i là nhiệt độ cuối và đầu của vật. Nhiệt dung C của phiến đá trong lò sưởi chẳng hạn có thể là $179 \text{ cal}^\circ\text{C}$, số này có thể viết $179\text{cal}/\text{K}$ hoặc $747\text{J}/\text{K}$.

Từ "dung" trong ngữ cảnh này quả thật dễ gây nhầm lẫn vì gợi cho ta một sự tương tự với dung tích của một thùng đựng nước. *Sự tương tự này là sai* và không được nghĩ về một vật như một cái "chứa" nhiệt lượng hay là bị hạn chế trong khả năng tiếp thụ nhiệt. Sự chuyển nhiệt lượng có thể xảy ra không có giới hạn chừng nào hiệu nhiệt độ cần thiết còn được duy trì. Vật, dĩ nhiên, có thể nóng chảy, bay hơi trong suốt quá trình.

Nhiệt dung riêng

Hai vật làm bằng cùng một vật liệu, chẳng hạn bằng đá, sẽ có nhiệt dung tỉ lệ với khối lượng của chúng. Vì vậy, sẽ là thuận lợi khi định nghĩa nhiệt dung của một đơn vị khối lượng hay NHIỆT DUNG RIÊNG c không phải cho vật mà cho một đơn vị khối lượng cả chất cấu tạo nên vật. Phương trình 20.2 bây giờ thành:

$$Q = cm (T_f - T_i) \quad (20.3)$$

Qua thí nghiệm ta có thể tìm thấy, dầu rằng nhiệt dung của phiến đá đặc biệt nói ở trên là $179\text{cal}^\circ\text{C}$ (hay $747\text{J}/\text{K}$) nhưng nhiệt dung riêng của đá (trong chính phiến đá đó hay trong bất kỳ cấu trúc khác của nó) là $0,21 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ (hay 880J/kg.K).

Theo cách mà ban đầu calo hoặc đơn vị nhiệt của Anh được định nghĩa thì nhiệt dung riêng của nước là:

$$c = 1\text{cal/g.}^\circ\text{C} = 1\text{Btu/lb.}^\circ\text{F} = 4190 \text{ J/kg.K.} \quad (20.4)$$

Bảng 20.1 cho ta nhiệt dung riêng của một số chất ở nhiệt độ phòng.

Bảng 20.1

NHIỆT DUNG CỦA MỘT SỐ CHẤT Ở NHIỆT ĐỘ PHÒNG

Chất	Nhiệt dung riêng		Nhiệt dung phân tử J/mol.K
	cal/g.K	J/kg.K	
Chất rắn cơ bản Chì	0,0305	128	26,5

Vonfram	0,0321	134	24,8
Bạc	0,0564	236	25,5
Đồng	0,0923	386	24,5
Nhôm	0,0215	900	24,4
Các chất rắn khác			
Đồng thau	0,092	380	
Đá granit	0,19	790	
Thủy tinh	0,20	840	
Băng (-10°C)	0,530	2220	
Chất lỏng			
Thủy ngân	0,033	140	
Rượu	0,58	2430	
Nước biển	0,93	3900	
Nước	1,00	4190	

Hãy chú ý rằng, giá trị đối với nước là tương đối cao. Nhiệt dung riêng của bất kỳ chất nào, đúng ra, đều phụ thuộc nhiệt độ, nhưng các giá trị trong bảng 20.1 vẫn coi được một cách hợp lý là đúng, trong khoảng nhiệt độ gần với nhiệt độ phòng.

Nhiệt dung riêng phân tử gam

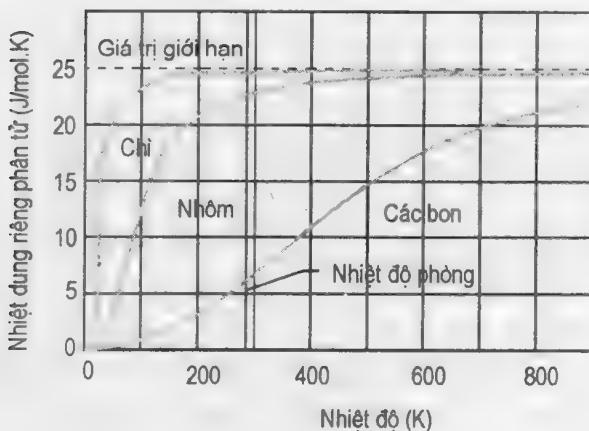
Trong nhiều trường hợp, đơn vị thuận tiện nhất để định rõ tổng lượng vật chất là mol, với:

1 mol = $6,02 \cdot 10^{23}$ đơn vị cơ bản của chất (hay của một chất bất kỳ).

Vậy một mol nhôm nghĩa là $6,02 \cdot 10^{23}$ nguyên tử (nguyên tử là đơn vị cơ bản) và 1 mol oxyt nhôm nghĩa là $6,02 \cdot 10^{23}$ phân tử (vì phân tử là đơn vị cơ bản của một hợp chất).

Khi các lượng vật chất tính ra mol, nhiệt dung riêng cũng phải tính theo mol (hơn là tính với một đơn vị khối lượng). Khi đó nó được gọi là *nhiệt dung (riêng) phân tử gam*.

Bảng 20.1 cho ta giá trị đối với một vài vật rắn cơ bản (mỗi chất chỉ gồm các nguyên tố đơn chất) ở nhiệt độ phòng.



HÌNH 20.2. Nhiệt dung riêng phân tử gam của ba nguyên tố như là hàm của nhiệt độ. Tại nhiệt độ khá cao, tất cả các chất rắn tiến tới cùng một giá trị giới hạn. Với chì và nhôm, giá trị đó hầu như đạt được ở nhiệt độ phòng, còn với cacbon thì không.



Chú ý rằng, nhiệt dung riêng phân tử gam của tất cả các nguyên tố kẽ trên bảng 20.1 có gần như cùng một giá trị đó là 25J/mol.K . Như hình 20.2 cho ta thấy nhiệt dung riêng phân tử gam của tất cả các vật rắn thay đổi theo nhiệt độ, tiến gần tới 25J/mol.K khi nhiệt độ đủ cao. Một vài chất như cacbon, beri không đạt tới giá trị giới hạn này cho tới khi nhiệt độ cao hơn nhiệt độ phòng rất nhiều. Một số chất khác có thể nóng chảy hoặc bay hơi trước khi đạt tới giới hạn này.

Trên tấm ảnh này ta thấy rõ ba pha của nước. Những khối nước đã làm lạnh nước ở thể lỏng trong cốc nước chè đá và cũng làm lạnh thủy tinh- Thủy tinh lạnh lại làm ngưng tụ hơi nước trong không khí xung quanh tạo nên những giọt nước ở mặt ngoài của thủy tinh.

Khi chúng ta so sánh hai chất trên cơ sở một mol tức là chúng ta đang so sánh những mẫu chứa cùng một số các phân tử cơ bản. Sự việc là ở nhiệt độ đủ cao tất cả các nguyên tố rắn có cùng một nhiệt dung riêng phân tử gam cho ta thấy là tất cả các loại nguyên tử, dù chúng là nhôm, đồng, uran hay chất nào khác, đều hấp thụ nhiệt theo cùng một cách.

MỘT ĐIỂM QUAN TRỌNG

Khi gán một nhiệt dung riêng cho một chất nào đó, điều quan trọng là biết, không chỉ bao nhiêu nhiệt đã được hấp thụ mà còn cần biết trong điều kiện nào đã xảy ra sự chuyển nhiệt. Với các chất lỏng và rắn, thường giả định rằng mẫu vật trao đổi nhiệt khi áp suất không đổi (thường là áp suất khí quyển). Đồng thời ta cũng quan niệm rằng mẫu hấp thụ nhiệt khi thể tích không đổi. Điều đó cũng có nghĩa là sự nở vì nhiệt của mẫu bị ngăn cản do tác dụng của ngoại lực. Với các chất rắn và chất lỏng, thật khó bố trí thí nghiệm, nhưng hiệu ứng có thể tính được và hoá ra là nhiệt dung riêng khi áp suất không đổi và khi thể tích không đổi thường khác nhau không quá một vài phần trăm. Chất khí, như bạn sẽ thấy, có các giá trị hoàn toàn khác nhau về nhiệt dung riêng khi áp suất không đổi và khi thể tích không đổi.

Nhiệt chuyển pha (Nhiệt biến đổi)

Khi một vật rắn hay lỏng hấp thụ nhiệt, nhiệt độ của nó không nhất thiết tăng lên. Thực vậy, mẫu vật có thể thay đổi từ một pha hay trạng thái (đó là lỏng, rắn, khí) này sang pha hay trạng thái khác. Chẳng hạn, băng có thể nóng chảy và nước có thể sôi khi hấp thụ nhiệt mà nhiệt độ không thay đổi. Trong các quá trình ngược lại (nước đóng băng, hơi nước ngưng tụ) nhiệt được giải phóng ra từ mẫu vật cũng lại ở nhiệt độ không thay đổi.

Lượng nhiệt chuyển bởi một đơn vị khối lượng khi mẫu vật bị chuyển pha hoàn toàn, gọi là **nhiệt chuyển pha** (nhiệt biến đổi). Vậy nếu vật có khối lượng m hoàn toàn bị chuyển pha thì tổng nhiệt lượng được chuyển đổi là:

$$Q = Lm \quad (20.5)$$

Khi chuyển pha từ pha lỏng sang pha khí (mẫu vật phải thu nhiệt) hoặc từ khí sang lỏng (mẫu vật tỏa nhiệt) thì nhiệt lượng của quá trình biến đổi này được gọi là **nhiệt hoá hơi**. Với nước ở nhiệt độ ngưng tụ hoặc hoá hơi bình thường.

$$L_v = 539 \text{ cal/g} = 40,7 \text{ kJ/mol} = 2260 \text{ kJ/kg} \quad (20.6)$$

Khi chuyển pha từ pha rắn sang pha lỏng (mẫu vật phải thu nhiệt) hoặc từ lỏng sang rắn (mẫu vật tỏa nhiệt) thì nhiệt lượng của quá trình biến đổi này gọi là **nhiệt nóng chảy**. Với nước ở nhiệt độ đóng đặc hoặc nóng chảy bình thường

$$L_f = 79,5 \text{ cal/g} = 6,01 \text{ kJ/mol} = 333 \text{ kJ/kg} \quad (20.7)$$

Bảng 20.2 cho ta nhiệt chuyển pha của một số chất.

Bảng 20.2

MỘT VÀI NHIỆT CHUYỂN PHA

Chất	Nóng chảy		Sôi	
	Điểm nóng chảy (K)	Nhiệt nóng chảy L_f (kJ/kg)	Điểm sôi (K)	Nhiệt hoá hơi L_v (kJ/kg)
Hidro	14,0	58,0	20,3	455
Oxi	54,8	13,9	90,2	213
Thủy ngân	234	11,4	630	296
Nước	273	333	373	2256
Chì	601	23,2	2017	858
Bạc	1235	105	2323	2336
Đồng	1356	207	2868	4730

Bài toán mẫu 20.1

Một thanh kẹo được ghi giá trị dinh dưỡng là 350 Cal. Hỏi thanh kẹo cung cấp cho cơ thể bao nhiêu năng lượng tính theo kWh khi tiêu hoá nó?

Giải. Calo trong trường hợp này là kilô calo. Vì vậy năng lượng tiêu hoá bằng:

$$\begin{aligned} & (350 \times 10^3 \text{cal}) \times (4,19 \text{J/cal}) \\ & = (1,466 \times 10^6 \text{J}) \times (1 \text{W s/J}) \times (1 \text{h}/3600 \text{s}) (1 \text{kW}/1000 \text{W}) \\ & = 0,407 \text{ kWh} \quad (\text{Đáp số}) \end{aligned}$$

Lượng năng lượng này có thể làm cho một bóng đèn 100W sáng trong 4,1h. Để tiêu hao một năng lượng như vậy trong tập luyện, một người phải đi lại từ 3 đến 4 dặm.

Khẩu phần phong phú hàng ngày cho một người ứng với chừng 3,5 kWh trong một ngày. Nó là giá trị cực đại của công mà một người có thể làm trong một ngày. Trong một nước công nghiệp, lượng năng lượng này có thể mua với giá khoảng 35 xu.

Bài toán mẫu 20.2

a) Cân bao nhiêu nhiệt lượng để đưa một miếng băng có khối lượng $m = 720\text{g}$ ở -10°C sang trạng thái lỏng ở 15°C .

Giải. Để trả lời, ta phải xét ba bước:

Bước 1 là năng lượng nhiệt độ của băng từ -10°C tới điểm nóng chảy 0°C . Chúng ta sử dụng p.t 20.3, với nhiệt dung riêng của băng $c_{\text{băng}}$ ghi trong bảng 20.1. Với bước này, nhiệt độ ban đầu $T_i = -10^\circ\text{C}$, và nhiệt độ cuối $T_f = 0^\circ\text{C}$. Ta có:

$$\begin{aligned} Q_1 &= c_{\text{băng}} m (T_f - T_i) \\ &= (2220 \text{J/kgK})(0,720 \text{kg})[0^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})] = 15984 \text{ J} \\ &\approx 15,98 \text{ kJ.} \end{aligned}$$

Bước 2 là làm băng tan (không có sự thay đổi nhiệt độ đến khi bước này hoàn tất). Vậy giờ chúng ta sử dụng phương trình 20.5 và 20.7 ta có:

$$Q_2 = L_F m = (330 \text{ kJ/kg})(0,720 \text{ kg}) \approx 239,8 \text{ kJ}$$

Bước 3 là nâng nhiệt độ nước từ 0°C đến 15°C . Chúng ta lại sử dụng p.t 20.3, nhưng với nhiệt dung riêng của nước ở thể lỏng $c_{\text{lỏng}}$ ghi trong bảng 20.1. Trong bước này, nhiệt độ ban đầu $T_i = 0^\circ\text{C}$ và nhiệt độ cuối $T_f = 15^\circ\text{C}$. Ta có:

$$\begin{aligned} Q_3 &= c_{\text{lỏng}} m (T_f - T_i) = (4190 \text{J/kgK})(0,720 \text{kg})(15^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \\ &= 45252 \text{ J} \approx 45,25 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Nhiệt lượng tổng cộng cần thiết là tổng nhiệt lượng trong ba bước:

$$\begin{aligned} Q_{\text{tổng}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= 15,98 \text{kJ} + 239,8 \text{kJ} + 45,25 \text{ kJ} = 300 \text{ kJ} \quad (\text{Đáp số}). \end{aligned}$$

Chú ý rằng, nhiệt lượng cần thiết để làm băng tan lớn hơn nhiệt lượng cần thiết để tăng nhiệt độ cả băng lẫn nước nhiều.

b) Giả thiết rằng, ta cung cấp cho băng một nhiệt lượng tổng cộng chỉ có 210 kJ. Hỏi trạng thái cuối và nhiệt độ của nước là bao nhiêu?

Giải. Từ bước 1 ta biết rằng cần 15,89 kJ để nâng nhiệt độ của băng tới điểm nóng chảy. Nhiệt lượng còn lại là $Q_{\text{còn}} = 210 \text{ kJ} - 15,98 \text{ kJ}$ hay là chừng 194 kJ. Từ bước 2 ta có thể thấy rằng, lượng nhiệt này chưa đủ để làm băng tan hoàn toàn. Khối lượng của băng bị tan tính từ p.t 20.5 và p.t 20.7:

$$m = Q_{\text{còn}} / L_F = 194 \text{ kJ} / 333 \text{ kJ/kg} = 0,583 \approx 580 \text{ g.}$$

Vậy khối lượng băng còn lại là: $720 \text{ g} - 580 \text{ g} = 140 \text{ g.}$

Vì băng không tan hết, nên nhiệt độ của băng-nước phải là 0°C . Vì vậy ta có:

580 g nước, 140 g băng tại 0°C (Đáp số).

Bài toán mẫu 20.3

Một thỏi đồng khối lượng $m_c = 75 \text{ g}$ được nung nóng trong lò nung phòng thí nghiệm tới nhiệt độ $T = 320^\circ\text{C}$. Thỏi đồng sau đó được thả vào một bình thuỷ tinh, chứa một khối lượng nước $m_w = 220 \text{ g}$. Nhiệt dung hiệu dụng của bình là 45 cal/K. Nhiệt độ đầu T_i của nước và của bình là 12°C . Hỏi nhiệt độ cuối T_f của thỏi đồng, bình chứa nước và nước?

Giải: Xét hệ của ta gồm nước + bình + thỏi đồng. Không có nhiệt lượng vào và ra khỏi hệ, vậy tổng đại số của sự trao đổi nhiệt bên trong phải bằng 0. Có ba quá trình trao đổi nhiệt sau đây:

$$\text{với nước: } Q_w = m_w c_w (T_f - T_i)$$

$$\text{với bình: } Q_b = c_b (T_f - T_i)$$

$$\text{với đồng: } Q_c = m_c c_c (T_f - T_i)$$

Hiệu nhiệt độ viết trong cả ba trường hợp là nhiệt độ cuối trừ đi nhiệt độ đầu. Chúng ta làm như vậy dù chúng ta biết rằng Q_w và Q_b là dương (chứng tỏ nhiệt thêm vào nước lạnh và bình) và Q_c là âm (chứng tỏ nhiệt tỏa ra từ thỏi đồng nóng ban đầu).

Từ điều đã nói ở trên ta phải có:

$$Q_w + Q_b + Q_c = 0 \quad (20.8)$$

Thế các biểu thức của nhiệt lượng trao đổi trên vào p.t 20.8 ta suy được:

$$m_w c_w (T_f - T_i) + C_b (T_f - T_i) + m_c c_c (T_f - T_i) = 0 \quad (20.9)$$

Chúng ta thấy, các nhiệt độ có mặt trong (20.9) chỉ dưới dạng hiệu số vì các khoảng cách nhiệt độ trong nhiệt giao Celsius và Kelvin như nhau, nên ta có thể dùng bất cứ nhiệt giao nào trong phương trình trên. Giải p.t. (20.9) để tìm T_f ta có:

$$T_f = \frac{m_c c_c T + c_b T_i + m_w c_w T_i}{m_w c_w + c_b + m_c c_c}$$

Tử số là:

$$(75\text{g})(0,092\text{cal/g.K})(312^\circ\text{C}) + (45\text{cal/K})(12^\circ\text{C}) + \\ + (220\text{g})(1,00\text{cal/gK})(12^\circ\text{C}) = 5332,8 \text{ cal}$$

và mẫu số là:

$$(220\text{g})(1,00 \text{ cal/gK}) + 45\text{cal/K} + (75\text{g})(0,092\text{cal/gK}) = 271,9\text{cal/}^\circ\text{C}.$$

Vậy chúng ta có:

$$T_f = 5332,8 \text{ cal}/271,9 \text{ cal/}^\circ\text{C} = 19,6^\circ\text{C} \approx 20^\circ\text{C} \quad (\text{Đáp số}).$$

Từ những số liệu đã cho bạn có thể chứng minh rằng:

$$Q_w \approx 1670 \text{ cal} ; \quad Q_b \approx 342 \text{ cal} ; \quad Q_c \approx -2020 \text{ cal}$$

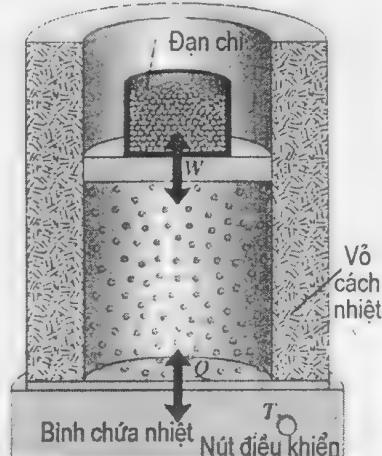
Ngoài phần sai số tính toán do làm tròn, tổng đại số của ba nhiệt lượng trao đổi này quả thật bằng 0 như đòi hỏi của p.t 20.8.

20.4. ĐI SÂU THÊM MỘT CHÚT VỀ NHIỆT LƯỢNG VÀ CÔNG

Trong mục này chúng ta xét chi tiết thêm nhiệt lượng và công được chuyển đổi như thế nào giữa một hệ và môi trường của nó. Xét hệ gồm một chất khí chứa trong một xilanh có pít tông chuyển động được như ở hình 20.3.

Áp suất khí chứa trong bình được cân bằng với tải trọng của các hạt đạn chì trên pít tông. Thành của xi lanh làm bằng vật liệu cách nhiệt, không cho nhiệt truyền qua, nhưng đáy xi lanh lại đặt trên một bình điều nhiệt (là một tấm nồng chẳng hạn) nhiệt độ T của nó có thể điều khiển bằng cách vặn một nút.

Hệ bắt đầu từ một *trạng thái đầu* xác định bởi áp suất p_i , thể tích V_i , và nhiệt độ T_i . Bạn muốn thay đổi hệ sang trạng thái cuối f xác định bằng áp suất p_f , thể tích V_f , và nhiệt độ T_f . Cách thức để bạn thay đổi hệ từ trạng thái đầu tới trạng thái cuối được gọi là một *quá trình nhiệt động lực học*. Trong một quá trình như vậy, nhiệt lượng có thể được chuyển vào hệ từ bình nhiệt hoặc ngược lại và công thực hiện bởi hệ để nâng lên hay hạ xuống pít tông tải trọng. Công này là dương nếu khí làm pít tông nâng lên; và âm nếu khí cho phép pít tông hạ xuống. Chúng ta giả thiết rằng, những



HÌNH 20.3. Một chất khí chứa trong một xi lanh có pít tông chuyển động. Có thể thêm hay bớt nhiệt lượng bằng cách điều chỉnh nhiệt độ T của bình điều nhiệt.

sự thay đổi như thế xảy ra chậm chạp, kết quả là hệ luôn luôn (gần đúng) ở trạng thái cân bằng nhiệt động lực học.

Giả thiết rằng bạn bỏ một ít viên đạn chì ra khỏi pít tông ở hình 20.3 để cho khí đẩy pít tông và những viên đạn chì còn lại lên phía trên một đoạn dịch chuyển vi phân $d\vec{s}$ với lực đẩy lên phía trên \vec{F} . Vì độ dịch chuyển là nhỏ, ta có thể giả thiết \vec{F} là không đổi trong quá trình dịch chuyển. Khi đó \vec{F} có cường độ pA , trong đó p là áp suất chất khí, A là diện tích bề mặt của pít tông. Công vi phân dW thực hiện bởi chất khí trong quá trình dịch chuyển là:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = (p A) (ds) = (p) (Ads) = pdV \quad (20.10)$$

trong đó dV là độ biến thiên vi phân của thể tích khí do chuyển động của pít tông. Khi bạn đã bỏ đủ số đạn chì để thay đổi thể tích khí từ V_i tới V_f , thì công tổng cộng thực hiện bởi chất khí là:

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} pdV \quad (20.11)$$

Để xác định trực tiếp tích phân trong 20.11, ta cần phải biết áp suất đã thay đổi như thế nào khi thể tích thay đổi với quá trình thực tế để đưa hệ từ trạng thái i tới trạng thái f.

Có rất nhiều cách thực tế để đưa khí từ trạng thái i đến trạng thái f. Một cách được mô tả trên hình 20.4a, đó là đồ thị phụ thuộc của áp suất khí vào thể tích, được gọi là giản đồ pV . Đường cong cho ta sự biến thiên của p theo V . Tích phân phương trình 20.11 (và đó là công W thực hiện do chất khí, là diện tích nằm dưới đường cong giữa điểm i và f. Công này là dương vì thể tích khí tăng khi đẩy pít tông lên trên.

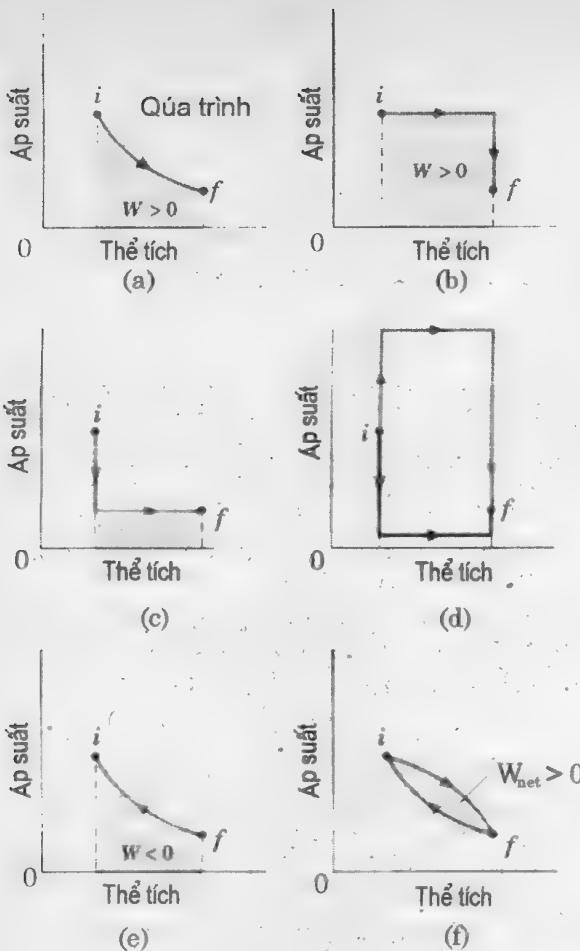
Một cách khác để đi từ trạng thái i đến trạng thái f được trình bày trên hình 20.4b. ở đây sự thay đổi xảy ra theo 2 bước: bước thứ nhất từ trạng thái i đến trạng thái a và bước thứ hai từ trạng thái a đến trạng thái f.

Bước ia của quá trình này được thực hiện ở áp suất không đổi, có nghĩa là bạn không bỏ đạn chì từ trên pít tông ra ngoài nữa (Hình 20.3). Bạn làm tăng thể tích (từ V_i đến V_a) bằng cách tăng chậm chạp nút điều khiển nhiệt độ, làm tăng nhiệt độ chất khí tới một nhiệt độ nào đó cao hơn T_a . Trong quá trình này, công thực hiện bởi chất khí dân nở (nâng pít tông tải lên) và nhiệt lượng được tăng thêm cho hệ từ bình nhiệt (ứng với một hiệu nhiệt độ vi phân nhỏ nào đó do bạn tạo nên khi bạn làm tăng nhiệt độ). Nhiệt lượng này là dương vì nó tăng thêm cho hệ.

Bước af của quá trình ở hình 20.4b được thực hiện khi thể tích không đổi, như vậy bạn phải chèn pít tông lại, không cho nó chuyển động, và bạn phải dùng nút điều khiển để hạ nhiệt độ từ T_a tới giá trị T_f thấp hơn. Vì bình chứa bây giờ lạnh hơn khí, nên nhiệt lượng mất đi từ khí cho bình. Do vậy mà nhiệt lượng trong bước này là âm.

Trong quá trình toàn phần iaf, công thực hiện W là dương và thực hiện chỉ trong bước ia, được biểu diễn bằng diện tích nằm dưới đường cong. Nhiệt được chuyển trong cả hai bước ia và af, là dương trong bước thứ nhất và âm trong bước thứ hai (nhưng nhỏ hơn về độ lớn).

HÌNH 20.4



a) Hệ của Hình 20.3 di từ trạng thái đầu *i* tới trạng thái cuối *f* bằng một quá trình nhiệt động lực học. Diện tích kí hiệu W biểu diễn công thực hiện bởi hệ trong quá trình. Công này dương vì quá trình tiến diễn về phía phải của đồ thị.

b) Một quá trình chuyển động khác cũng giữa hai trạng thái, công bây giờ lớn hơn trong quá trình a.

c) Một quá trình khác nữa đòi hỏi ít công (dương) hơn.

d) Công có thể thực hiện nhỏ hơn bao nhiêu tùy ý bạn (dường icdf) hay lớn hơn bao nhiêu tùy ý bạn (dường ighf)

e) Khi thể tích giảm (do một ngoại lực nào đó), công thực hiện bởi hệ là âm.

f) Công thực hiện bởi hệ trong một chu trình (kín) được biểu diễn bằng diện tích khép kín là hiệu của hai diện tích phía dưới của hai đường cong tạo thành chu trình.

Hình 20.4c trình bày một quá trình trong đó hai bước nêu trên được tiến hành theo chiều ngược lại. Công W trong trường hợp này nhỏ hơn với hình 20.4b, vì nhiệt lượng toàn phần bị hấp thụ.

Hình 20.4d gợi ý bạn có thể làm cho công thực hiện nhỏ bao nhiêu tùy ý bạn (theo đường giống như icdf) hoặc lớn bao nhiêu tùy ý bạn (theo đường giống như ighf).

Tóm lại: Một hệ có thể chuyển từ một trạng thái ban đầu cho trước bằng một số vô hạn quá trình. Nói chung công W và nhiệt lượng Q sẽ có những giá trị khác nhau cho mỗi quá trình này. Ta nói rằng, nhiệt lượng và công là những đại lượng *phụ thuộc vào đường đi*.

Hình 20.4e biểu diễn một ví dụ trong đó hệ thực hiện công âm vì một vài ngoại lực nào đó nén hệ, làm giảm thể tích của nó. Giá trị tuyệt đối của công thực hiện vẫn là diện tích dưới đường cong, nhưng vì thể tích bị nén, nên công là âm.

Hình 20.4f biểu diễn một *chu trình* nhiệt động lực học, trong đó hệ được chuyển từ một trạng thái ban đầu *i*. Công toàn phần thực hiện bởi hệ trong chu trình là tổng của công dương thực hiện khi dãn và của công âm thực hiện khi nén. Trong h.20.4f công thực là dương vì diện tích dưới đường cong dãn lớn hơn diện tích dưới đường cong nén.

20.5. ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Bạn vừa thấy rằng, khi một hệ chuyển từ một trạng thái đầu cho trước tới một trạng thái cuối cho trước thì cả W lẫn Q đều phụ thuộc vào bản chất của quá trình. Tuy nhiên, bằng thực nghiệm ta tìm thấy một điều rất đáng ngạc nhiên "Đại lượng $W - Q$ là như nhau với mọi quá trình". Nó chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối mà không phụ thuộc chút nào vào cách mà hệ chuyển từ trạng thái này sang trạng thái kia. Mọi sự tổ hợp khác của W và Q , bao gồm W riêng rẽ, Q riêng rẽ, $W + Q$, $Q - 2W\dots$ đều phụ thuộc vào đường đi, chỉ có $Q - W$ là không.

Vậy $Q - W$ phải biểu diễn sự thay đổi trong tính chất nội tại nào đó của hệ.

Chúng ta gọi tính chất này là *nội năng* E_{int} và ta viết

$$\Delta E_{int} = E_{intf} - E_{inti} = Q - W \quad (\text{định luật thứ nhất}) \quad (20.12)$$

Phương trình 20.12 là *định luật thứ nhất của nhiệt động lực học*. Nếu hệ nhiệt động lực học chỉ chịu một biến đổi vi phân, thì ta có thể viết định luật thứ nhất như sau^(*)

$$dE_{int} = dQ - dW \quad (\text{định luật thứ nhất}) \quad (20.13)$$

Trong chương 19 chúng ta thấy nội dung chủ yếu của định luật thứ không là "Mỗi hệ nhiệt động lực ở trạng thái cân bằng nhiệt có một tính chất vật lí quan trọng gọi là *nhiệt độ* T ". Còn nội dung chủ yếu của định luật thứ nhất của nhiệt động lực học là "Mỗi hệ nhiệt động học ở trạng thái cân bằng nhiệt có một tính chất vật lí quan trọng được gọi là *nội năng* E_{int} ".

Trong chương 8, chúng ta đã thảo luận nguyên lý bảo toàn năng lượng khi nó áp dụng cho một hệ cô lập, là những hệ không có năng lượng đi vào hay đi ra khỏi hệ. Định luật thứ nhất của nhiệt động lực học là một sự mở rộng cho những hệ không cô lập. Trong những trường hợp như vậy, năng lượng có thể chuyển qua biên giới của hệ như nhiệt lượng Q hoặc công W . Khi phát biểu định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, chúng ta giả thiết rằng không có sự thay đổi động năng hay thế năng của hệ. Xét toàn bộ, có nghĩa là $\Delta K = \Delta U = 0$.

Trước chương này, thuật ngữ *công* và ký hiệu W luôn có nghĩa là công thực hiện trên hệ. Nhưng bắt đầu từ p.t 20.10 và tiếp theo những chương sau về nhiệt động lực học, chúng ta tập trung vào công thực hiện bởi hệ, chẳng hạn như chất khí trên hình 20.3.

Công thực hiện trên hệ luôn luôn là giá trị đối dấu của công thực hiện bởi hệ. Như vậy, nếu ta viết lại p.t 20.12 dưới dạng công thực hiện trên hệ thì ta có:

^(*) Ở đây dQ và dW khác với dE_{int} , chúng không phải là vi phân thực. Điều đó có nghĩa là không có hàm số như $Q(p,V)$ và $W(p,V)$ chỉ phụ thuộc vào trạng thái của hệ, dQ và dW được gọi là các vi phân không hoàn chỉnh và thường được biểu diễn bằng kí hiệu δQ và δW . Với mục đích của chúng ta, chúng ta coi chúng đơn giản là những độ chuyển vô cùng nhỏ của năng lượng.

$\Delta E_{int} = Q + W$. Điều này cho ta biết điều sau đây. Nội năng có xu hướng tăng lên nếu nhiệt bị hấp thụ bởi hệ hay là nếu công dương được thực hiện trên hệ. Ngược lại, nội năng có chiều hướng giảm nếu nhiệt lượng bị mất đi từ hệ hay là nếu công âm được thực hiện trên hệ.

20.6. MỘT VÀI TRƯỜNG HỢP ĐẶC BIỆT CỦA ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Sau đây ta sẽ xét bốn quá trình nhiệt động lực học khác nhau, trong đó mỗi quá trình có một hạn chế nào đó với hệ. Ta xét xem hệ quả sẽ như thế nào khi ta áp dụng định luật thứ nhất của nhiệt động lực học cho quá trình đó.

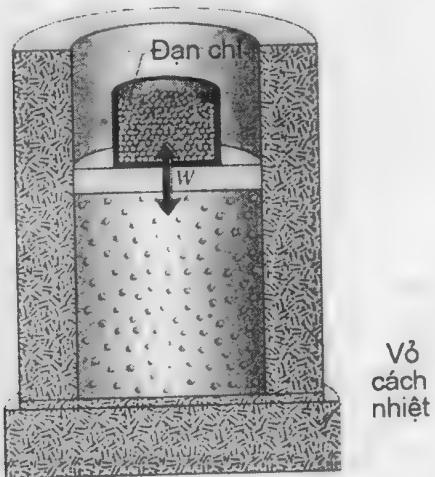
1. Quá trình đoạn nhiệt

Trong quá trình đoạn nhiệt hệ được cách nhiệt tốt tới mức không có một sự trao đổi nhiệt xảy ra giữa hệ và môi trường quanh hệ. Đặt $Q = 0$ vào định luật thứ nhất (pt 20.12), ta có:

$$\Delta E_{int} = -W \quad (\text{quá trình đoạn nhiệt}) \quad (20.14)$$

Điều này nói lên rằng, nếu công thực hiện bởi hệ (nghĩa là nếu W dương) thì phải có một sự giảm nội năng của hệ. Ngược lại, nếu công thực hiện trên hệ (nghĩa là nếu W âm) thì phải có một sự tăng nội năng của hệ.

Với một chất khí, tăng nội năng có nghĩa tăng nhiệt độ và ngược lại. Nhiệt độ của cái bơm xe đạp tăng lên khi dùng nó là do nén đoạn nhiệt không khí bên trong bơm.



HÌNH 20.5. Sự giãn đoạn nhiệt có thể diễn ra do bắt dần các viên đan chì khỏi mặt pít tông. Thêm đan chì làm đảo ngược quá trình ở bất cứ giai đoạn nào.

Hình 20.5 - Trình bày quá trình đoạn nhiệt lí tưởng. Nhiệt không thể vào hoặc ra hệ vì sự cách nhiệt. Vì vậy cho nên tương tác duy nhất được phép giữa hệ và môi trường xung quanh nó là sự thực hiện công. Nếu chúng ta bỏ các viên đan chì khỏi pít tông và cho phép khí dãn ra thì công thực hiện bởi hệ (khí) là dương và nhiệt độ của khí giảm. Nếu chúng ta tăng thêm các viên đan chì lên pít tông và nén khí thì công thực hiện bởi hệ là âm và nhiệt độ của khí tăng.

Có một cách thứ hai đảm bảo sự trao đổi nhiệt không xảy ra trong một quá trình nhiệt động lực học: thực hiện rất nhanh sao cho không đủ thời gian để chuyển nhiệt đáng kể. Chẳng hạn sự

nén và dãn không khí khi sóng âm truyền qua là đoạn nhiệt. Đơn giản là không có đủ thời gian để nhiệt truyền đi và về đồng bộ, kịp thời với sóng âm dao động nhanh. Sự nén và dãn của hơi nước trong xy lanh của một máy hơi nước, hay của khí nóng trong xi lanh của một động cơ đốt trong cũng chủ yếu là đoạn nhiệt cũng với lý do như trên.

2. Quá trình đẳng tích

Nếu thể tích của hệ (chẳng hạn một chất khí) được giữ không đổi thì hệ không thể thực hiện công. Đặt $W = 0$ vào định luật thứ nhất (p.t 20.12) ta suy được:

$$\Delta E_{int} = Q \text{ (quá trình đẳng tích)} \quad (20.15)$$

Như vậy, nếu nhiệt lượng tăng thêm cho hệ (nghĩa là nếu Q dương) thì nội năng cả hệ tăng. Ngược lại, nếu nhiệt lượng toả ra trong quá trình (có nghĩa là nếu Q âm), thì nội năng của hệ phải giảm.

3. Quá trình kín- Chu trình

Có những quá trình, trong đó sau một số trao đổi nhiệt và công trung gian nào đó hệ lại trở lại trạng thái ban đầu. Trong trường hợp này không có tính chất nội tại nào của hệ - bao gồm cả nội năng của nó có thể thay đổi. Đặt $\Delta E_{int} = 0$ vào định luật thứ nhất, (p.t 20.12) ta được:

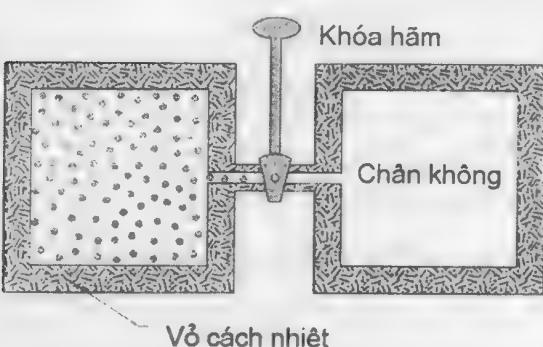
$$Q = W \text{ (chu trình)} \quad (20.16)$$

Như vậy, công toàn phần thực hiện trong quá trình phải chính xác bằng tổng nhiệt lượng được chuyển, dự trữ nội năng của hệ được giữ không đổi. Chu trình tạo nên một vòng kín trên giản đồ áp suất-thể tích như trên hình 20-4f. Chúng ta sẽ thảo luận chi tiết hơn những quá trình như vậy ở chương 22.

4. Quá trình giãn tự do

Có những quá trình đoạn nhiệt trong đó không có công thực hiện trên hệ hay bởi hệ. Do đó $Q = W = 0$ và định luật thứ nhất đòi hỏi

$$\Delta E_{int} = 0 \text{ (giãn tự do)} \quad (20.17)$$



HÌNH 20.6. Giai đoạn đầu của một quá trình giãn tự do. Sau khi khóa hâm được mở, kết cục khí đạt tới trạng thái cuối cân bằng, chứa đầy cả hai buồng.

Hình 20.6 cho thấy một quá trình như vậy được thực hiện như thế nào? Khí được giam trong nửa bình kép bằng một khoá kín, nửa còn lại là chân không. Quá trình gồm việc mở khoá và chờ đến khi cân bằng được thiết lập, khi khí chứa đầy ở cả hai nửa bình kép. Không có trao đổi nhiệt vì cách nhiệt. Không có công nào được thực hiện vì khí giãn vào chân không chuyển động của nó không bị chống lại bởi bất kì áp suất đối kháng nào.

Bảng 20.3.

ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC: BỐN TRƯỜNG HỢP RIÊNG

Định luật $\Delta E_{int} = Q - W$		(p.t 20.12)
Quá trình	Hạn chế	Hệ quả
Đoạn nhiệt	$Q = 0$	$\Delta E_{int} = -W$
Đảng tích	$W = 0$	$\Delta E_{int} = Q$
Chu trình	$\Delta E_{int} = 0$	$Q = W$
Dẫn tự do	$Q = W = 0$	$\Delta E_{int} = 0$

Bảng 20.3 tóm tắt các đặc tính của các quá trình trong phần này.

Bài toán mẫu 20.4

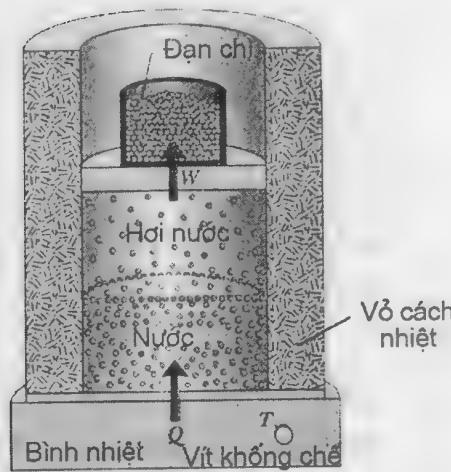
Cho 1 kg nước thể lỏng ở 100°C bằng cách cho bay hơi ở áp suất khí quyển (xem hình 20.7). Thể tích thay đổi từ giá trị ban đầu $1,00 \times 10^{-3}\text{m}^3$ khi ở thể lỏng tới $1,671\text{m}^3$ khi ở thể hơi.

a) Công thực hiện bởi hệ trong quá trình là bao nhiêu?

Giải : Công được tính theo p.t 20.11. Vì áp suất không đổi (tại 1,00 atm hay $1,07 \times 10^5\text{Pa}$) trong quá trình sôi, ta có thể đưa p ra ngoài dấu tích phân, ta có:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} pdV = p \int_{V_i}^{V_f} dV = p(V_f - V_i) = (1,01 \times 10^5 \text{ Pa})(1,671\text{m}^3 - 1,00 \times 10^{-3}\text{m}^3)$$

$$= 1,69 \cdot 10^5 \text{ J} = 169 \text{ kJ. (Đáp số)}.$$



HÌNH 20.7. Bài toán mẫu 20.4. Nước sôi ở áp suất không đổi. Nhiệt lượng được lấy từ bình điều nhiệt đến khi nước biến hoàn toàn thành hơi. Công thực hiện do khí giãn khi nâng pít tông tải trọng.

Sự giãn tự do khác với tất cả các quá trình khác đã nghiên cứu tối giờ là ở chỗ không có cách thực hiện chúng chậm chạp được.

Vì vậy, mà dầu hệ ở trạng thái cân bằng lúc đầu và cuối nhưng nó không cân bằng trong suốt quá trình. Ở các trạng thái trung gian, nhiệt độ, áp suất và thể tích không có các giá trị duy nhất. Cũng vì vậy nên ta không thể vẽ quá trình dẫn này trên giản đồ áp suất-thể tích. Điều duy nhất có thể làm được là vẽ trạng thái đầu và cuối mà thôi!

Kết quả là dương chứng tỏ công thực hiện bởi hệ lên môi trường quanh nó khi nâng pít tông tải trọng ở hình 20.7 lên.

b) Nhiệt lượng phải thêm cho hệ là bao nhiêu trong quá trình?

Giải : Vì không có thay đổi nhiệt độ, mà chỉ có thay đổi pha nên ta dùng các p.t 20.5 và 20.6.

$$Q = L_v m = (2260 \text{ kJ/kg})(1,00 \text{ kg}) =$$

$$= 2260 \text{ kJ (Đáp số)}.$$

Kết quả dương cho ta thấy nhiệt được thêm vào hệ như chúng ta mong đợi.

c) Độ biến thiên nội năng của hệ trong quá trình sôi là bao nhiêu?

Giải: Ta tìm điều này từ định luật thứ nhất (p.t 20.12)

$$\Delta E_{int} = Q - W = 2260 \text{ kJ} - 169 \text{ kJ} \approx 209 \text{ kJ} \approx 2,09 \text{ MJ} \quad (\text{Đáp số})$$

Lượng này là dương chứng tỏ nội năng của hệ tăng trong quá trình sôi. Năng lượng này biểu diễn công trong đã thực hiện để thắng lực hút rất mạnh giữa các phân tử H₂O khi chúng ở thể lỏng.

Chúng ta thấy rằng, khi nước sôi, khoảng 7,5% (= 169 kJ/2260 kJ) của nhiệt lượng thêm vào trở thành công ngoài để đẩy lùi khí quyển. Phần còn lại trở thành nội năng tăng thêm cho hệ.

20.7. SỰ CHUYỂN NHIỆT LƯỢNG

Chúng ta đã thảo luận sự chuyển nhiệt lượng giữa một hệ và môi trường quanh nó, nhưng chúng ta hãy còn chưa mô tả sự chuyển đó xảy ra như thế nào? Có ba cơ chế chuyển nhiệt: dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ.

Sự dẫn nhiệt

Nếu chúng ta để một cái que cời than lên ngọn lửa thì sau một thời gian tay cầm nó sẽ nóng. Năng lượng được truyền từ ngọn lửa tới tay cầm bởi sự *dẫn nhiệt* dọc theo chiều dài của thanh kim loại. Các biến độ dao động của nguyên tử và electron của kim loại tại đầu nóng của tay cầm có giá trị tương đối lớn, phản ánh nhiệt độ được nâng cao của môi trường xung quanh chúng. Những biến độ dao động tăng cường này được chuyển dọc theo tay cầm từ nguyên tử này sang nguyên tử khác trong quá trình va chạm giữa các nguyên tử kế tiếp nhau. Bằng cách đó, vùng có nhiệt độ cao mở rộng ra dọc thanh kim loại tới tay bạn.

Xét một tấm có diện tích bề mặt A, độ dày L, nhiệt độ ở các mặt của nó được giữ ở T_H và T_C như trên hình 20.8. Gọi Q là nhiệt lượng truyền qua tấm này từ mặt nóng tới mặt lạnh trong thời gian t. Thực nghiệm chứng tỏ rằng tốc độ truyền nhiệt H (số lượng trong thời gian t) được tính theo phương trình:

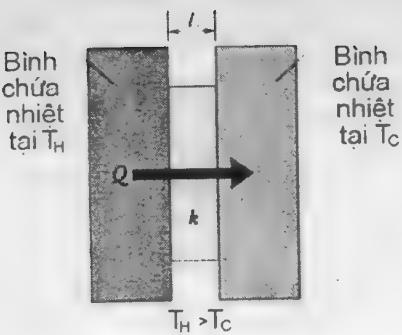
$$H = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_H - T_C}{L} \quad (28.18)$$

trong đó k gọi là *độ dẫn nhiệt*, là một hằng số tùy thuộc vào vật liệu làm tấm ta xét. Giá trị lớn của k xác định vật dẫn nhiệt tốt và ngược lại.

Nhiệt trở của sự dẫn nhiệt (giá trị R)

Nếu bạn chú ý tới việc cách nhiệt ngôi nhà của bạn hoặc tới việc giữ lon côca lạnh trong buổi picnic (đi chơi ngoài trời), bạn sẽ quan tâm nhiều tới vật dẫn nhiệt tồi hơn là tới vật dẫn nhiệt tốt. Vì lí do đó mà khái niệm về *nhiệt trở* R được đưa vào trong thực tế kỹ thuật. Giá trị R của một tấm chiều dày L được định nghĩa là:

$$R = \frac{L}{k} \quad (20.19)$$



HÌNH 20.8. Sự dẫn nhiệt - Nhiệt được truyền từ một bình điều nhiệt ở nhiệt độ T_H tới một bình điều nhiệt lạnh hơn ở nhiệt độ T_C qua một tấm dẫn có độ dày L và độ dẫn nhiệt k .

Từ đó ta thấy, độ dẫn nhiệt của vật liệu làm tấm càng thấp thì giá trị R của tấm càng cao. Chú ý rằng R là tính chất thuộc về một tấm có độ dày định trước chứ không phải cho vật liệu. Đơn vị thường dùng của R (đơn vị này, ít ra là trên đất nước này hâu như chẳng bao giờ được nói tới) là foot bình phương độ Fahrenheit- giờ trên đơn vị nhiệt của Anh ($ft^{20}F.h/Btu$) (Bây giờ bạn hiểu tại sao lại hiếm khi nói tới).

Kết hợp các phương trình 20.18 và 20.19 ta có:

$$H = A \frac{T_H - T_C}{R} \quad (20.20)$$

Nó cho phép ta tính tốc độ thông lượng nhiệt qua một tấm nếu biết giá trị R , diện tích và hiệu nhiệt độ giữa hai mặt của nó.

Bảng 20.4

MỘT VÀI ĐỘ DẪN NHIỆT VÀ GIÁ TRỊ $R^{(*)}$

	Độ dẫn nhiệt (W/m.K)	Giá trị R $ft^{20}F.h/Btu$
Kim loại		
Thép không rỉ	14	0,010
Chì	35	0,0041
Nhôm	235	0,00061
Đồng	401	0,00036
Bạc	428	0,00034
Khí		
Không khí	0,026	5,5
Heli	0,15	0,96
Hydrô	0,18	0,80
Vật liệu xây dựng		
Poly urêtan	0,024	5,9
Sợi khoáng	0,043	3,3
Thuỷ tinh sợi	0,048	3,0
Gỗ thông trắng	0,11	1,3
Thuỷ tinh làm cửa sổ	1,0	0,14

Trong vùng khí hậu khá khắc nghiệt, người ta khuyên rèn trần các nhà của các gia đình đơn nếu cách nhiệt ở mức $R30$. Từ p.t 20.20 chúng ta thấy điều đó có nghĩa là tính trung bình một fut vuông của trần nhà như vậy sẽ mất nhiệt do dẫn nhiệt với tốc độ $1/30$ Btu/h với mỗi hiệu nhiệt độ là $1^{\circ}F$ giữa hai mặt của trần.

Bảng 20.4 trình bày độ dẫn nhiệt của các vật liệu khác nhau và giá trị R tính cho các tấm dày 1ins ϕ của các vật liệu đó. Việc sử dụng các giá trị R thường chỉ hạn chế trong các vật liệu cách nhiệt thương mại, nhưng các giá trị của một số lớn vật liệu cũng được nêu để so sánh.

Xem xét kĩ bảng trên ta thấy tại sao câu lạc bộ Sierra khuyên người đi bộ đường dài nên dùng cốc bằng thép không rỉ (hơn bằng nhôm) cho cà phê nóng. Không

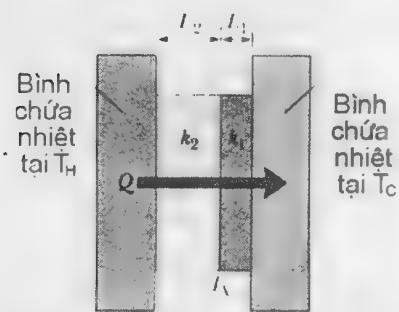
^(*) Độ dẫn nhiệt thay đổi một cách nào đó theo nhiệt độ. Những giá trị ghi ở bảng là ở nhiệt độ phòng. Chú ý, giá trị của k là theo hệ SI và của R là theo đơn vị quen dùng của Anh. Giá trị R ứng với một tấm có bề dày là 1 ins ϕ .

khí tù hâm cũng có giá trị R lớn như của các vật liệu xây dựng thương mại. Thực vậy, nhiều vật liệu có tính cách nhiệt là nhờ chúng có khả năng giữ các túi không khí cô lập.

Ở vùng khí hậu lạnh, người ta dùng các kính cửa sổ đôi hay ba để giảm sự mất nhiệt.

Kính, bản thân nó không phải là chất cách nhiệt thật tốt. Không khí (hay các khí khác) giữa các tấm kính sẽ cách nhiệt tốt nếu nó bị tù hâm. (Điều này không xảy ra vì hiệu nhiệt độ qua bề dày lớp khí tạo nên sự tuần hoàn của khí và do đó có sự truyền nhiệt từ tấm kính nóng hơn sang tấm kính lạnh hơn). Giá trị cách nhiệt của một cửa sổ hầu như hoàn toàn do lớp biên mỏng (xem phần 16.12) của không khí tù hâm bám vào mỗi mặt của tấm kính. Tăng gấp đôi số tấm kính sẽ làm tăng gấp đôi số lớp biên cách nhiệt này. Từ bảng bạn còn có thể suy thêm rằng để có một tấm cách nhiệt có R=30 bạn có thể dùng hoặc một tấm 5,1 ins bề dày bằng bọt poly urêtan, hoặc 23 ins bề dày bằng gỗ thông trắng, 18 ft bề dày kính cửa sổ hay 1,4 mi (dặm Anh) bề dày bạc.

Sự dẫn nhiệt qua một tấm phức hợp



HÌNH 20.9. Nhiệt được chuyển qua một tấm phức hợp gồm hai vật liệu khác nhau, độ dày khác nhau, độ dẫn nhiệt khác nhau. Nhiệt độ tại mặt tiếp xúc hai vật liệu là T_x .

Hình 20.9 trình bày một phức hợp gồm hai vật liệu có độ dày L_1 và L_2 khác nhau, có độ dẫn k_1 , k_2 khác nhau. Nhiệt độ của các mặt bên ngoài của các tấm phức hợp là T_H và T_C . Mỗi mặt của tấm có diện tích A. Ta hãy tìm hiểu biểu thức cho tốc độ truyền nhiệt qua tấm với giả thuyết rằng sự truyền nhiệt là quá trình dừng, nghĩa là nhiệt độ tại một chỗ nào đó trong tấm và tốc độ truyền nhiệt đã được ổn định và không thay đổi đáng kể theo thời gian.

Ở trạng thái dừng, tốc độ truyền nhiệt qua một vật liệu là như nhau. Ta khẳng định được như vậy là vì nhiệt lượng truyền qua một vật trong một thời gian nào đó cũng là nhiệt lượng truyền qua vật liệu kia cùng trong khoảng thời gian đó. Nếu đó không đúng thì nhiệt độ trong tấm thay đổi và ta sẽ không có trạng thái dừng.

Gọi T_x là nhiệt độ ở mặt tiếp xúc giữa hai vật liệu, ta có thể sử dụng phương trình 20.18 để viết:

$$H = \frac{k_2 A(T_H - T_x)}{L_2} = \frac{k_1 A(T_x - T_C)}{L_1} \quad (20.21)$$

Giải phương trình 20.21 đối với T_x , sau một vài biến đổi đại số nhỏ ta được:

$$T_x = \frac{k_1 L_2 T_C + k_2 L_1 T_H}{k_1 L_2 + k_2 L_1} \quad (20.22)$$

Thay giá trị T_x vào một trong hai biểu thức của phương trình 20.21 ta suy ra:

$$H = \frac{A(T_H - T_C)}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} \quad (20.23)$$

Phương trình 20.19 nhắc cho chúng ta $L/k = R$

Ta có thể mở rộng 20.23 một số lượng bất kỳ của vật liệu dưới dạng:

$$H = \frac{A(T_H - T_C)}{\sum \frac{L}{k}} = \frac{A(T_H - T_C)}{\sum R} \quad (20.24)$$

Kí hiệu tổng ở mẫu số cho ta biết, phải cộng các giá trị của tất cả các vật liệu.

Đối lưu



Các mô hình đối lưu thay đổi không ngừng có thể nhìn thấy trong cốc cà phê đen nóng. Các vật mù, nhỏ làm tán xạ ánh sáng và hiện thành trắng nám ngay trên vùng chất lỏng nóng dâng lên. Các đường đèn hẹp, không có sương mù cho ta thấy chỗ chất lỏng bị lạnh và đi xuống.

(xem h.20.10). Chất lưu lạnh hơn ở xung quanh rơi xuống để chiếm chỗ chất lưu nóng vừa dâng lên và dòng đối lưu hình thành.

Đối lưu là một phần của nhiều quá trình trong tự nhiên. Đối lưu của khí quyển đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định các mô hình khí hậu toàn cầu và sự thay đổi thời tiết hàng ngày.

Khi bạn nhìn ngọn lửa của cây nến hay que diêm là bạn đang xem năng lượng nhiệt được truyền lên trên do đối lưu. Nhiệt lượng chuyển do đối lưu xảy ra khi một chất lưu, chẳng hạn không khí hay nước, đang tiếp xúc với một vật có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ của chất lưu. Nhiệt độ của chất lưu tiếp xúc với vật nóng tăng lên và (trong đa số các trường hợp) chất lưu dãn nở-Vì nhẹ hơn chất lưu lạnh ở xung quanh, sẽ bị dâng lên do lực đẩy thủy tĩnh



HÌNH 20.10. Mitting mừng chiến thắng bóng đá ở Dartmouth được chiếu sáng bằng lửa trại dữ dội. Khi không khí bị nung nóng và khí nóng từ ngọn lửa dâng lên, không khí lạnh hơn thổi vào chân của đồng lửa trại.

Những phi công lái tàu lượn và chim cùng tìm dòng nhiệt (dòng không khí ấm) dâng lên từ đất ấm hơn ở dưới giữ họ ở trên cao. Một sự truyền năng lượng khổng lồ xảy ra bên trong đại dương cũng nhờ một quá trình tương tự. Cuối cùng, năng lượng được chuyển tới bề mặt của Mặt Trời từ những lò hạt nhân tại tâm của nó bởi các vùng đối lưu khổng lồ mà đỉnh của nó có thể nhìn thấy dưới dạng sự tạo hạch của bề mặt Mặt Trời.

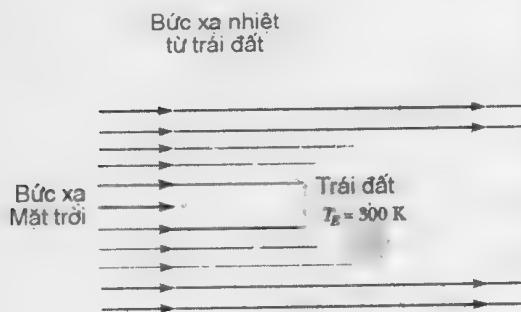
Bức xạ



HÌNH 20.11. Một nhiệt độ màu sắc giả cho thấy tốc độ mà năng lượng bị bức xạ từ các ngôi nhà dọc theo một đường phố. Tốc độ đó từ nhanh nhất đến nhở nhất đã được mã hoá theo màu: trắng, đỏ, hồng, lam và đen. Hãy ghi ra, làm sao bạn có thể biết nơi có cách nhiệt ở những bức tường, những rèm cửa lớn trên những cửa sổ và nhiệt độ cao hơn ở trần nhà trên tầng hai.

Năng lượng từ Mặt Trời được trao đến chúng ta nhờ sóng điện từ truyền qua khoảng không gian vũ trụ gần như chân không. Nếu bạn đứng gần một ngọn lửa trại hay một lò sưởi mở, bạn cảm thấy ấm cung do quá trình như vậy. Tất cả các vật phát ra bức xạ điện từ ấy vì một điều đơn giản là nhiệt độ của nó cao hơn không độ tuyệt đối (xem hình 20.11) và tất cả các vật liệu đều hấp thụ một số bức xạ nào đó từ các vật khác rơi vào nó. Nhiệt độ trung bình của Trái Đất chúng ta chẳng hạn vào khoảng

300K là do tại nhiệt độ đó Trái Đất bức xạ năng lượng vào không gian với cùng một tốc độ như năng lượng bức xạ mà nó nhận được từ Mặt Trời. Nếu nhiệt độ của Trái Đất thay đổi dột ngột do một điều kì diệu nào đó từ 300K tới 280K hay 320K thì nó sẽ nhanh chóng nóng lên hay lạnh xuống tới 300K, để khôi phục lại sự cân bằng đáng yêu này của nó.



HÌNH 20.12. Bức xạ Mặt Trời bị chấn bởi Trái Đất và bị hấp thụ (phần lớn). Nhiệt độ T_E của Trái Đất tự điều chỉnh tối giá trị, tại đó sự mất nhiệt của Trái Đất đúng bằng nhiệt nó hấp thụ từ Mặt Trời.



HÌNH 20.13. Đổi lưu lén qua áo khoác đen nóng hơn thì mạnh hơn so với qua áo khoác màu trắng. (Theo bài báo "Tại sao người du cư Á rập mặc áo màu đen trong các sa mạc nóng?" của A.Sh Koluit, CR.Taylor, V.Finch and A.Borut. Nature, Vol. 283, 24 tháng giêng, 1980. tr 373-374).

Khi bạn đứng dưới ánh sáng chói chang của Mặt Trời, Mặt Trời sưởi ấm bạn vì da và quần áo bạn hấp thụ ánh sáng. Các nghiên cứu chứng tỏ rằng áo khoác màu đen của người Bedorin hấp thụ nhiều ánh sáng Mặt Trời hơn áo màu trắng, tới mức nhiệt độ của nó cao hơn tới 6°C so với nhiệt độ áo màu trắng. Vậy thì tại sao, một số người muốn tránh sự nung nóng để có thể tồn tại ở những vùng xa mạc khắc nghiệt lại mặc áo màu đen?

Câu trả lời là như sau: áo khoác đen nóng hơn làm ấm không khí bên trong áo. Không khí này dâng lên cao và ra ngoài qua các lỗ của vải, trong khi không khí bên ngoài bị hút vào qua lỗ hổng ở dưới áo khoác (hình 20.13). Vì thế áo vải đen làm tăng thêm luồng không khí lưu thông dưới áo khoác làm cho người Bedorin không nóng hơn người mặc áo trắng chút nào. Trên thực tế, điều đó có lẽ làm cho họ cảm thấy dễ chịu hơn: họ có một luồng gió liên tục qua thân thể.

Bài toán mẫu 20.5

Một tấm phức hợp (xem hình 20.9) diện tích A là 26 ft^2 được làm từ sợi khoáng dày 2,0 in và gỗ thông trắng dày 0,75 in. Hiệu nhiệt độ giữa các mặt của tấm là 65°F .
Tìm tốc độ truyền nhiệt qua tấm.

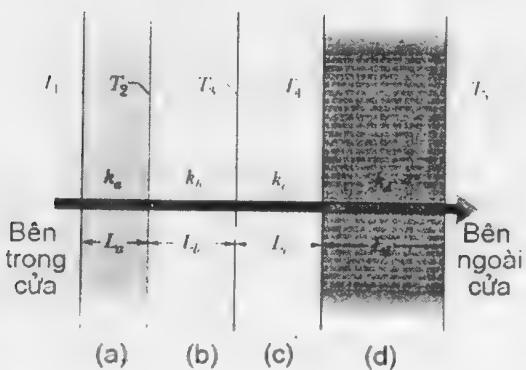
Giải. Các giá trị R trong bảng 20.4 là với tấm dày 1in vậy giá trị R với sợi khoáng là $3,3 \times 2$ hay $6,6 \text{ ft}^2 \text{ }^\circ\text{F.h/Btu}$; với gỗ nó là $1,3 \times 0,75$ hay $0,98$ cùng đơn vị như trên. Vậy tấm phức hợp có giá trị R là $6,6 + 0,98 = 7,58 \text{ ft}^2 \text{ }^\circ\text{F.h/Btu}$. Thay vào phương trình 20.24 ta được:

$$H = \frac{A(T_H - T_c)}{\sum R} = \frac{26\text{ft}^2 \cdot 65^\circ\text{F}}{7,58\text{ft}^2 \text{ }^\circ\text{F.h / Btu}} = 223 \text{ Btu/h}$$

$$\approx 220 \text{ Btu/h} \approx 65 \text{ W} \quad (\text{Đáp số})$$

Như vậy, với hiệu nhiệt độ này, mỗi tấn cách nhiệt như thế sẽ truyền nhiệt liên tục ra ngoài với tốc độ 65 W.

Bài toán mẫu 20.6



HÌNH 20.14. Bài toán mẫu 20.6. Một bức tường có 4 lớp, qua đó có sự truyền nhiệt ở trạng thái dừng.

Hình 20.14 trình bày tiết diện ngang của một bức tường làm bằng gỗ thông trắng độ dày L_a và bằng gạch độ dày L_d ($= 2,0L_a$) ở giữa kẹp hai lớp vật liệu chưa biết với cùng độ dày và hệ số dẫn nhiệt. Hệ số dẫn nhiệt của gỗ thông trắng là k_a và của gạch là k_d ($= 0,5 k_a$). Diện tích A của tường chưa biết. Sự dẫn nhiệt qua tường đạt tới trạng thái dừng và chỉ biết nhiệt độ của các mặt tiếp xúc là $T_1 = 25^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$, $T_5 = -10^\circ\text{C}$.

a) Nhiệt độ mặt tiếp xúc T_4 là bao nhiêu?

Giải: Chúng ta không thể tìm T_4 đơn giản bằng cách áp dụng phương trình 20.18 từ lớp này qua lớp khác, bắt đầu từ lớp gỗ thông tiếp tục tiến theo tay phải, vì chúng ta không biết dày đủ về các lớp trung gian. Tuy nhiên, vì sự truyền nhiệt đã đạt tới trạng thái dừng, nên ta biết rằng tốc độ truyền nhiệt qua gỗ thông H_a phải bằng tốc độ truyền nhiệt qua gạch H_d . Từ p.t 20.8 và hình 20.4, ta có thể viết các tốc độ đó là:

$$H_a = k_a A \frac{T_1 - T_2}{L_a}; \quad H_d = k_d A \frac{T_4 - T_5}{L_d}$$

Cho $H_a = H_d$ và giải theo T_4 ta được:

$$T_4 = \frac{k_a L_d}{k_d L_a} (T_1 - T_2) + T_5$$

Thay $L_d = 2,0L_a$, $k_d = 5,0 k_a$, và các giá trị đã biết của nhiệt độ ta tìm được:

$$T_4 = \frac{k_a (2,0L_a)}{5,0 k_a L_a} (25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + (-10^\circ\text{C}) = -8^\circ\text{C} \quad (\text{Đáp số}).$$

b) Nhiệt độ của mặt tiếp xúc T_3 là bao nhiêu?

Giải. Bây giờ ta biết T_4 , ta có thể tìm T_3 , ngay cả khi ta biết ít về các lớp trung gian. (Thực tế, đến đây bạn có thể đoán được đáp số), vì quá trình dẫn nhiệt là ở trạng thái dừng, nên tốc độ truyền nhiệt H_b qua lớp b, bằng tốc độ lan truyền nhiệt H_c qua lớp c.

Vậy, từ 20.18 ta có:

$$k_b A \frac{T_2 - T_3}{L_b} = k_c A \frac{T_3 - T_4}{L_c}$$

Vì độ dẫn nhiệt $k_b = k_c$ và độ dày các lớp bằng nhau $L_b = L_c$ nên ta có:

$$T_2 - T_3 = T_3 - T_4$$

$$\text{Từ đó ta có: } T_3 = \frac{T_2 - T_4}{2} = \frac{20^\circ\text{C} + (-8^\circ\text{C})}{2} = 6^\circ\text{C} \quad (\text{Đáp số}).$$

Từ đó ta thấy vì các lớp trung gian có cùng hệ số dẫn nhiệt, nên trung điểm của chúng sẽ có nhiệt độ trung bình của các mặt ngoài.

ÔN TẬP VÀ TÓM TẮT

Nhiệt lượng

Nhiệt lượng Q là năng lượng chuyển giữa một hệ và môi trường quanh nó vì có hiệu nhiệt độ giữa chúng. Nhiệt lượng có thể đo bằng *jun* (J), *calo* (cal), *kilocalo* (Cal hay Kcal) hoặc đơn vị *đo lường nhiệt của Anh* (Btu) với

$$1\text{Cal} = 10^3\text{cal} = 3,969 \text{ Btu} = 4168 \text{ J} \quad (20.1)$$

Nhiệt dung và nhiệt dung riêng

Nếu cung cấp một nhiệt lượng Q cho một vật khối lượng m , thì độ biến thiên nhiệt độ $T_f - T_i$ liên hệ với Q bằng công thức:

$$Q = C(T_f - T_i), \quad (20.2)$$

trong đó C là *nhiệt dung của vật*. *Nhiệt dung riêng* c của một chất (là nhiệt dung ứng với một đơn vị khối lượng (xem bảng 20.1) được định nghĩa bởi:

$$Q = cm(T_f - T_i) \quad (20.3)$$

Nhiệt dung riêng phân tử gam (nhiệt dung ứng với một mol hay $6,02 \cdot 10^{23}$ phân tử cơ bản của một chất) cho ta một quy tắc đáng chú ý giúp chúng ta hiểu những cơ chế tham gia trong sự hấp thụ nhiệt. Nhiệt dung riêng đo được tùy thuộc vào điều kiện của phép đo (dưới áp suất không đổi, hoặc thể tích không đổi chẳng hạn) và phải được xác định rõ ràng.

Nhiệt lượng của quá trình biến đổi (nhiệt chuyển pha)

Nhiệt lượng cung cấp cho một chất có thể làm thay đổi trạng thái vật lí của chất đó, thí dụ từ rắn sang lỏng hay từ lỏng sang khí. Lượng nhiệt cần thiết làm biến đổi một đơn vị khối lượng của một chất là nhiệt biến đổi của quá trình đó; xem bảng 20.2. Vì vậy:

$$Q = Lm \quad (20.5)$$

Nhiệt hoá hơi L_v là năng lượng cần phải cung cấp cho một đơn vị khối lượng chất lỏng để nó bay hơi hay là năng lượng cần phải lấy ra để làm cho một chất ngưng tụ.

Nhiệt nóng chảy L_f là năng lượng cần phải cung cấp cho một đơn vị khối lượng chất rắn để nó nóng chảy hay là năng lượng cần phải lấy ra để làm chất lỏng đông đặc.

Công liên hệ với sự thay đổi thể tích

Một hệ cũng có thể trao đổi năng lượng với môi trường xung quanh nó qua công. Công W thực hiện bởi hệ khi nó dãn ra hay co lại từ một thể tích ban đầu V_i tới một thể tích cuối V_f được tính theo công thức:

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} pdV \quad (20.11)$$

Lấy tích phân là cần thiết vì áp suất p có thể biến thiên trong khi thể tích biến thiên. Công W cũng có thể được tính theo diện tích dưới đường cong p theo V biểu diễn sự biến thiên đó. (xem hình 20.4).

Định luật thứ nhất của nhiệt động lực học

Nguyên lý bảo toàn năng lượng cho một mẫu vật trao đổi năng lượng với môi trường xung quanh bằng công và nhiệt được phát biểu trong định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, có thể tóm tắt dưới dạng:

$$\Delta E_{int} = E_{intf} - E_{inti} = Q - W \text{ (định luật thứ nhất)} \quad (20.12)$$

$$\text{hoặc } dE_{inti} = dQ - dW \text{ (định luật thứ nhất)} \quad (20.13)$$

E_{inti} là nội năng của một vật chỉ phụ thuộc vào trạng thái của nó (nhiệt độ, áp suất, thể tích). Q là nhiệt lượng trao đổi của hệ với môi trường xung quanh. Q là dương nếu hệ nhận nhiệt và làm âm nếu hệ mất nhiệt. W là công thực hiện bởi hệ. W là dương nếu hệ dãn ra chống lại ngoại lực tác dụng bởi môi trường xung quanh và là âm nếu hệ co lại vì lực nào đó bên ngoài tác dụng.

Q và W phụ thuộc vào đường đi; còn E_{int} thì không.

Trong một quá trình nhiệt động lực, nhiệt lượng trao đổi giữa hệ và môi trường quanh nó và công thực hiện bởi hệ, phụ thuộc vào chi tiết của quá trình đó: Chúng phụ thuộc vào đường đi. Tuy nhiên độ biến thiên nội năng của hệ lại không phụ thuộc vào quá trình. Nó chỉ phụ thuộc vào các trạng thái đầu và cuối của hệ.

Áp dụng của định luật thứ nhất

Định luật thứ nhất của nhiệt động lực áp dụng cho một số trường hợp đặc biệt:

- Quá trình đoạn nhiệt: $Q = 0, \Delta E_{int} = -W$
- Quá trình đẳng tích: $W = 0, \Delta E_{int} = Q$
- Chu trình: $\Delta E_{int} = 0, Q = W$
- Quá trình dãn tự do: $Q = W = \Delta E_{int} = 0$.

Dẫn nhiệt- Đổi lưu và bức xạ

Tốc độ H mà nhiệt lượng được dẫn qua một tấm có các mặt được giữ ở nhiệt độ T_H và T_C là:

$$H = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_H - T_C}{L} \quad (20.18)$$

trong đó A và L là diện tích của một mặt và độ dày của tấm, k là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu (xem hình 20.8). Với các vật liệu xây dựng và cách nhiệt thương mại có dạng các tấm độ dày L , ta thường dùng nhiệt trở R (giá trị R với $R = L/k$).

Đổi lưu xảy ra khi sự chênh lệch nhiệt độ gây ra sự chuyển động bên trong một chất lưu chuyển nhiệt.

Bức xạ là nhiệt lượng được chuyển thông qua sự bức xạ năng lượng điện từ. Tất cả các vật đều bức xạ năng lượng và lượng này tăng lên khi nhiệt độ tăng.

CÂU HỎI

1. Nhiệt độ và nhiệt lượng thường lẩn lộn như trong câu: "bánh trong lò ở nhiệt vừa phải". Bằng các ví dụ hãy phân biệt hai khái niệm này càng kĩ càng tốt.
2. Cho một thí dụ về một quá trình trong đó không có nhiệt truyền cho hệ hay lấy đi từ hệ nhưng nhiệt độ của hệ vẫn có thể thay đổi.
3. Nhiệt lượng có thể coi như một dạng của năng lượng tích trữ như thế năng được không? Phải chăng một lời giải thích như thế là trái với quan niệm cho rằng nhiệt lượng là năng lượng trong quá trình truyền vì có độ chênh lệch nhiệt độ?
4. Nhiệt lượng có thể cung cấp cho hệ mà không làm cho nhiệt độ của vật liệu tăng lên. Điều đó có trái với quan niệm cho rằng nhiệt lượng là năng lượng của quá trình truyền vì có chênh lệch nhiệt độ?
5. Tại sao phải cung cấp nhiệt lượng cho băng đang tan khi mà rút cục, nhiệt độ của nó chẳng thay đổi chút nào?
6. Giải thích sự kiện là khi có một lượng nước lớn ở gần chảng hạn biển hay đại dương, thì nó có tác dụng giảm các cực trị nhiệt độ của khí hậu các vùng đất đó.
7. Một chiếc quạt điện không những không làm lạnh không khí, nó làm lưu thông mà còn nung nóng nó chút ít. Vậy tại sao quạt làm mát bạn?
8. Cả dẫn nhiệt đến truyền sóng đều bao hàm sự truyền năng lượng. Vậy có sự khác nhau nào về nguyên tắc giữa hai hiện tượng này. Giải thích.
9. Khi một vật nóng làm ấm một vật lạnh phải chăng độ biến thiên nhiệt độ của chúng có cùng một độ lớn? Cho thí dụ.
10. Một khối gỗ và một khối kim loại ở cùng một nhiệt độ. Khi những khối đó lạnh, kim loại cảm thấy lạnh hơn gỗ khi các khối đó nóng, kim loại cảm thấy nóng hơn gỗ. Giải thích? Tại nhiệt độ nào những khối đó cảm thấy nóng hay lạnh như nhau?
11. Bạn sử dụng một chiếc thia như thế nào cho tốt nhất để làm lạnh một cốc cà phê? Khuấy, đó là thực hiện công, đường như làm nóng cà phê hơn là làm lạnh nó đi.

12. Một lớp tuyết bảo vệ cây cối trong mùa đông như thế nào? Khi sự đóng băng có khả năng xảy ra, những người trồng chanh ở Florida thường vẩy nước lên quả, hi vọng rằng nước sẽ đóng băng? Làm như thế giúp ích như thế nào?

13. Giải thích hiệu ứng gió lạnh mà trên Radio và TV các nhà khí tượng học nói đến trong mùa lạnh.

14. Bạn đặt tay vào trong lò nóng để lấy chiếc xoong ra, ngón tay của bạn bị bỏng trên đĩa nóng. Tuy nhiên, không khí trong lò có cùng nhiệt độ như đáy xoong, nhưng lại không gây cháy tay bạn. Tại sao không?

15. Tại sao ta dùng một lớp cách nhiệt dày hơn ở gác lửng so với các bức tường của ngôi nhà?

16. Có phải băng luôn ở 0°C không? Nó có thể ấm hơn không? Bạn có thể nói gì về hỗn hợp băng-nước?

17. Giải thích tại sao tay bạn dính vào khay đựng đá bằng kim loại ngay khi bạn lấy nó từ tủ lạnh.

18. Nước trong ấm tạo nên các tiếng reo do bọt trong khi đun nóng tới sôi. Tuy nhiên, khi đã sôi thì lại yên lặng. Giải thích điều đó ra sao? (Gợi ý: Nghĩ tới số phận của bọt hơi nổi lên từ đáy ấm trước khi nước bị nung nóng đều).

19. Trong một ngày mùa đông nhiệt độ bên trong của tường nhà thấp hơn nhiệt độ phòng, còn mặt ngoài của tường nhà thì cao hơn nhiệt độ bên ngoài. Giải thích.

20. Cơ chế sinh lí duy trì nhiệt độ trong người trong một phạm vi giới hạn của nhiệt độ bên ngoài. Giải thích phạm vi đó được mở rộng về hai phía như thế nào khi dùng quần áo.

21. Những yêu cầu gì về độ dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng, hệ số nở mà các vật liệu dùng để chế tạo dụng cụ nấu ăn phải thỏa mãn?

22. Giải thiết rằng, do một lí do lạ lùng nào đó, các tấm thủy tinh cửa sổ một ngôi nhà được thay thế bằng những tấm nhôm có cùng độ dày như tấm thủy tinh. Tốc độ truyền nhiệt qua các cửa sổ đó đã bị ảnh hưởng như thế nào?

23. Nhiệt độ của một hệ cô lập (không tương tác với môi trường bên ngoài) có được bảo toàn không? Giải thích.

24. Phải chăng nhiệt lượng cũng giống như nội năng? Hãy cho một ví dụ trong đó nội năng của hệ thay đổi mà không có nhiệt lượng truyền qua biên giới của hệ.

25. Bạn có thể nói là nội năng mà hệ nhận được hoặc do truyền nhiệt hoặc do thực hiện công được không?

26. Nếu chỉ cho áp suất và nhiệt độ của một hệ thì nhiệt độ có luôn được xác định một cách đơn trị không?

27. Thảo luận quá trình nước đóng băng, theo quan điểm của định luật thứ nhất của nhiệt động lực học. Nhớ rằng, băng chiếm một thể tích lớn hơn so với nước có cùng một khối lượng.

28. Một phích chứa cà phê. Lắc mạnh phích. Coi cà phê là một hệ.

- a) Nhiệt độ của nó có tăng lên không?
- b) Có nhiệt lượng đã cung cấp cho hệ không?
- c) Có công thực hiện trên hệ không?
- d) Nội năng của hệ có thay đổi không?

29. Ta đã thấy rằng “bảo toàn năng lượng” là định luật phổ biến của tự nhiên. Cùng một lúc, các nhà lãnh đạo quốc gia nhiều nước khuyến nghị chúng ta bảo toàn (tiết kiệm) năng lượng. Chẳng hạn lái xe chậm hơn. Giải thích hai nghĩa hoàn toàn khác nhau của những từ đó.

30. Nhiệt lượng có thể truyền qua vật chất nhờ bức xạ không? Nếu có, hãy cho ví dụ. Nếu không hãy giải thích tại sao?

31. Tại sao đồ nấu bếp bằng thép không rỉ thường có một lớp băng đồng hay nhôm ở đáy?

32. Chú ý rằng, nhiệt có thể được truyền do đối lưu và bức xạ cũng như băng dẫn nhiệt, hãy giải thích tại sao phích nước lại có hai vỏ được làm chân không và mạ bạc (như một cái gương).

33. Một hồ đóng băng đầu tiên từ mặt trên của hồ. Đối lưu có tham gia không. Còn dẫn nhiệt và bức xạ thì sao?

34. Bạn đặt hai xô hở, một chứa nước nóng, một chứa cùng một khối lượng nước ấm, ngoài trời có nhiệt độ dưới 0°C . Xô nước nóng thực tế có thể sẽ đóng băng trước, tại sao? Điều gì xảy ra nếu ta đậy 2 xô lại?

BÀI TẬP VÀ BÀI TOÁN

Mục 20.3. SỰ HẤP THỤ NHIỆT CỦA CHẤT LỎNG VÀ CHẤT RẮN

1E. Có thể làm băng tan bằng cách mài khối này với khối khác. Hỏi phải tốn một công bao nhiêu jun nếu bạn muốn làm tan $1,00\text{ g}$ băng.

2E. Một chất nào đó có khối lượng mỗi mol là 50 g/mol . Khi cung cấp 314 J nhiệt lượng cho 300 g chất này thì nhiệt độ của nó tăng từ $25,0^{\circ}\text{C}$ đến $45,0^{\circ}\text{C}$.

a) Nhiệt dung riêng của chất đó là bao nhiêu?

b) Có bao nhiêu mol của chất đó?

c) Nhiệt dung riêng phân tử gam của chất đó là bao nhiêu?

3E. Trong một ngôi nhà Mặt Trời, năng lượng của Mặt Trời được trữ trong các thùng chứa nước. Trong thời gian năm ngày đầy mây của mùa đông cần $1,00 \cdot 10^6\text{ kcal}$ để duy trì nhiệt độ trong nhà ở 22°C . Giả thiết rằng, nước trong thùng là 50°C và nước có khối lượng riêng $1,00 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$, hỏi cần dùng bao nhiêu nước?

4E. Một bác sĩ dinh dưỡng khuyến khích ăn kiêng bằng cách uống nước đá. Thuyết của ông là cơ thể cần phải đốt cháy năng lượng mỡ đủ để nâng nhiệt độ của nước từ 0°C đến nhiệt độ của người là 37°C . Hỏi phải tiêu thụ bao nhiêu lít nước đá để

dốt cháy 454g (khoảng 1 Lb)mõ, giả thiết rằng thực hiện điều này cần có 3500 Cal? Tại sao không nên làm theo cách kiêng này? 1 lít = 10^3 cm³ Khối lượng riêng của nước là 1,00 g/cm³.

5E. Các tảng băng trôi trên Bắc băng dương là những mối nguy hiểm cho tàu bè (xem hình 20.15) làm tàu phải tăng đường đi thêm khoảng 30% trong mùa băng trôi. Có nhiều cách phá băng như: đặt chất nổ, thả bom, bắn ngư lôi, dùng đạn phá, khoan và phủ lên mặt các chất màu đen. Giả thiết rằng, trực tiếp làm băng tan băng cách đặt một nguồn nhiệt trên băng. Cần bao nhiêu nhiệt lượng để làm nóng chảy 10% của một tảng băng 200.000 tấn.



HÌNH 20.15. Bài tập 5 tảng băng sinh ra từ một khối băng trôi tạo ra mối nguy hiểm cho tàu thủy

6E. Có bao nhiêu nước còn lại không đóng băng sau khi 50,2 kJ nhiệt lượng được lấy đi từ 260 g nước ban đầu ở nhiệt độ đóng băng?

7E. Tính nhiệt lượng tối thiểu theo jun cần thiết để làm nóng chảy toàn toàn 130g bạc ban đầu ở 15,0°C. Giả thiết rằng, nhiệt dung riêng nhiệt nóng chảy trong suốt quá trình đốt nóng được cho ở bảng 20.1.

8E. Một buồng được chiếu bằng 4 bóng đèn 100W (công suất 100W là tốc độ mà bóng đèn biến năng lượng điện thành nhiệt lượng và ánh sáng nhìn thấy). Giả thiết rằng, 90% năng lượng biến thành nhiệt lượng. Hỏi có bao nhiêu nhiệt lượng tăng thêm cho căn buồng trong 1,00h.

9E. Hỏi phải cung cấp một lượng bơ là bao nhiêu (6,0 Cal/g= 6000 cal/g) để có năng lượng cần thiết cho một người khối lượng 160 Lb lén tới đỉnh núi Everest ở độ cao 29.000 ft so với mặt biển?

10E. Một lực sĩ hoạt động tiêu hao toàn bộ năng lượng do ăn 4000 cal/ngày. Nếu anh ta giải phóng năng lượng trên với tốc độ không đổi thì sự biến đổi năng lượng này so với sự biến đổi của năng lượng của một bóng đèn 100W như thế nào? (công suất 100W là tốc độ mà bóng điện biến đổi năng lượng điện thành nhiệt lượng và ánh sáng nhìn thấy).

11E. Nếu nhiệt lượng cần thiết để nâng nhiệt độ một khối lượng m của nước từ 68°F tới 78°F bằng một cách nào đó được biến đổi thành động năng chuyển động tịnh tiến của nước thì tốc độ của nước sẽ là bao nhiêu?

12E. Công suất được cung cấp với tốc độ 0,400 mã lực trong 2 phút để khoan một lỗ trong khối đồng khối lượng 1,60Lb.

a) Nhiệt lượng sinh ra tính theo Btu là bao nhiêu?

b) Nhiệt độ của đồng tăng bao nhiêu, nếu có 75% công suất làm nóng đồng?
(Dùng $1 \text{ ft.Lb} = 1,285 \times 10^{-3} \text{ Btu}$).

13E. Một vật khối lượng 0,00 kg rơi từ độ cao 50,0 m và nhờ một liên kết cơ học làm quay một bánh xe có cánh khuấy 0,6 kg nước. Nước ban đầu ở 15°C . Nhiệt độ cao nhất mà nước lên tới là bao nhiêu?

14E. a) Tính độ tăng nhiệt độ khả dĩ của nước rơi từ độ cao 162 ft của thác Magara?

b) Những nhân tố nào có xu hướng ngăn cản sự tăng này?

15E. Một que đun điện nhúng nước dùng để đun sôi 100g nước cho một tách cà phê tan. Que điện ghi 200W có nghĩa là nó biến năng lượng điện thành nhiệt lượng ở tốc độ này. Tính thời gian cần thiết để đưa nước từ 23°C tới điểm sôi; bỏ qua mọi mất mát nhiệt lượng.

16E. Một xe tải khối lượng 2200 kg chạy trên đường cao tốc với vận tốc 65,0mi/h

a) Nếu bạn có thể dùng toàn bộ động năng đó làm bốc hơi nước ở 100°C thì có thể làm bốc hơi được bao nhiêu nước?

b) Nếu bạn phải mua số năng lượng trên ở Công ty dịch vụ địa phương của bạn với giá 12 xu/kWh, thì bạn phải trả bao nhiêu? Hãy đoán đáp số trước khi bạn tính ra. Bạn có thể ngạc nhiên.

17E. Một bát bằng đồng nặng 150g đựng 220g nước đều ở nhiệt độ $20,0^\circ\text{C}$. Một miếng đồng hình trụ khối lượng 300g ở nhiệt độ cao rơi vào bát nước làm nước sôi và biến 5,00g thành hơi. Nhiệt độ cuối của hệ là 100°C . Hỏi:

a) Bao nhiêu nhiệt lượng đã truyền cho nước?

b) Bao nhiêu nhiệt lượng đã truyền cho bát?

c) Nhiệt độ ban đầu của hình trụ là bao nhiêu?

18P. Tính nhiệt dung riêng của một kim loại từ các dữ liệu sau đây: Một thùng chứa làm bằng kim loại đó có khối lượng 3,6 kg chứa 14 kg nước. Thả một miếng kim loại khối lượng 1,8kg ban đầu ở nhiệt độ 180°C vào nước. Thùng chứa và nước có nhiệt độ ban đầu là 16°C và nhiệt độ cuối của toàn bộ hệ là $18,0^\circ\text{C}$.

19P. Một nhiệt kế khối lượng 0,055kg, nhiệt dung riêng $0,837 \text{ kJ/kgK}$ trả giá trị $15,0^\circ\text{C}$. Sau đó nó được nhúng toàn bộ vào 0,300 kg nước, và nó chỉ cùng một nhiệt độ cuối của nước. Nếu giá trị mà nhiệt kế trả là $44,4^\circ\text{C}$, thì nhiệt độ của nước trước khi nhúng nhiệt kế là bao nhiêu?

20P. Hỏi trong bao nhiêu lâu một que đun nước công suất $2,0 \cdot 10^5 \text{ Btu/h}$ nâng được nhiệt độ 40g nước từ 70 đến 100°F ?

21P. Một lực sĩ cần giảm trọng lượng và quyết định làm điều đó bằng "nâng sắt".

a) Hỏi cần bao nhiêu lần nâng một vật nặng 80,0 kg lên độ cao 1,00 m để đốt cháy 1Lb mỡ, giả thiết rằng khi đốt cháy lượng mỡ đó thì được nhiệt lượng 3500Cal.

b) Nếu cứ 2,00 giây vật nặng được nâng một lần, thì để làm điều nói trên cần bao nhiêu thời gian?

22P. Một ô tô Buick khối lượng 1500 kg chuyển động với vận tốc 90 km/h thì phanh và dừng lại với một gia tốc hâm không đổi và không bị trượt sau một quãng 80m. Hỏi tốc độ trung bình của năng lượng nhiệt sinh ra trong hệ phanh là bao nhiêu?

23P. Một buổi sáng, người chủ khi thức dậy thấy bếp đun bị hỏng bèn quyết định đun sôi nước cho cà phê của vợ mình bằng cách lắc nước trong phích. Giả thiết rằng, ông dùng 500 cm³ nước ở vòi ở nhiệt độ 59°F và nước rơi sau mỗi lần lắc ở độ cao 1,0ft; Người chủ lắc 30 lần trong mỗi phút. Bỏ qua sự mất mát nhiệt năng của phích, hỏi phải mất bao nhiêu thời gian lắc để nước sôi.

24P. Một khối lượng băng ở nhiệt độ tan, có khối lượng ban đầu 50,0 kg trượt dọc theo một mặt phẳng nằm ngang, bắt đầu với vận tốc 5,38 m/s, và cuối cùng dừng lại sau khi đi được quãng đường 28,3m. Tính khối lượng băng tan do ma sát giữa khối băng và mặt trượt (giả thiết tất cả các nhiệt lượng tỏa ra do ma sát đều truyền vào khối băng).

25P. Nhiệt dung riêng của một chất thay đổi theo nhiệt độ theo quy luật $c = 0,20 + 0,14T + 0,023T^2$, với T tính theo °C và c tính theo cal/g.K. Tìm nhiệt lượng cần thiết để nâng nhiệt độ của 2g chất đó từ 5,0 °C tới 15 °C.

26P. Trong một hệ đun nước băng năng lượng Mặt Trời, năng lượng Mặt Trời thu thập từ những mặt ngoài của phần góp, nó làm nước lưu thông qua các ống của phần góp. Bức xạ Mặt Trời đi vào trong phần góp qua các lớp phủ trong suốt, làm nóng nước trong ống. Nước này được bơm vào các bình chứa. Giả thiết rằng hiệu suất của toàn bộ hệ là 20% (nghĩa là 80% năng lượng Mặt Trời bị mất khỏi hệ). Hỏi diện tích của phần góp là bao nhiêu khi cần nâng nhiệt độ của 200 l nước trong bình chứa từ 20 °C đến 40 °C trong 1,0 giờ. Cường độ của ánh sáng Mặt Trời tới là 700W/m².

27P. Một phích cách nhiệt chứa 130 cm³ cà phê nóng ở nhiệt độ 80°C. Bạn bỏ vào 12g đá ở nhiệt độ tan để làm lạnh cà phê. Cà phê sẽ lạnh đi bao nhiêu độ khi nước đã tan hết. Coi cà phê như nước nguyên chất.

28P. Phải trộn một khối lượng hơi nước sôi ở 100°C là bao nhiêu với 150 g nước đá ở nhiệt độ tan trong một bình chứa cách nhiệt để có nước lỏng ở 50°C.

29P. Một người pha một lượng trà đá bằng cách trộn lẩn 500g trà nóng (chủ yếu là nước) với một khối lượng băng nó nước đá đang tan. Nếu nhiệt độ ban đầu của trà là:

- a) 90 °C. b) 70 °C

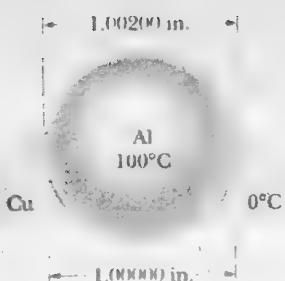
Hỏi nhiệt độ và khối lượng của đá còn lại là bao nhiêu khi trà và đá đạt tới cùng một nhiệt độ.

30P. a) Hai miếng băng lập phương khối lượng 50 gam được bỏ vào 200g nước trong cốc thủy tinh. Nếu nước ban đầu ở nhiệt độ 25°C và nếu băng lấy trực tiếp ở tủ lạnh ra có nhiệt độ -15°C thì nhiệt độ của cốc nước là bao nhiêu khi nước và băng ở cùng một nhiệt độ.

b) Giả thiết rằng, nếu chỉ dùng một miếng băng thì nhiệt độ cuối của cốc nước là bao nhiêu? Bỏ qua nhiệt dung của thủy tinh.

31P. Một vòng băng đồng khối lượng

20,0g có đường kính chính xác là 1,000000 in ở nhiệt độ 0,000°C. Một quả cầu băng nhôm có đường kính chính xác 1,00200 in ở nhiệt độ 100°C. Quả cầu đặt lên trên vòng (hình 20.6) và cả hai tiến tới cân bằng nhiệt mà không mất nhiệt ra bên ngoài. Quả cầu lọt qua vòng đúng khi nhiệt độ cân bằng. Khối lượng quả cầu là bao nhiêu?



HÌNH 20.16. Bài toán 31

32P. Một nhiệt lượng kế lưu lượng là một thiết bị để đo nhiệt dung riêng của chất lỏng. Nhiệt được cung cấp với một tốc độ biết trước cho dòng chất lỏng khi nó qua nhiệt lượng kế với một tốc độ không đổi. Độ hiệu nhiệt độ của dòng chất lỏng ở điểm vào và đầu ra ta có thể tính được nhiệt dung riêng cả chất lỏng. Giả thiết rằng một chất lỏng có khối lượng riêng $0,85\text{g/cm}^3$ thổi qua nhiệt lượng kế với tốc độ $8,0\text{ cm}^3/\text{s}$. Nhiệt lượng cung cấp với tốc độ 250W bởi một cuộn dây điện và hiệu nhiệt độ là 15°C được thiết lập trong điều kiện dừng giữa điểm vào và ra. Tìm nhiệt dung riêng của chất lỏng.

33P. Dùng một cuộn dây nung mà năng lượng được truyền với một tốc độ không đổi cho một chất đặt trong một bình chứa cách nhiệt. Nhiệt độ của chất đó là một hàm số của thời gian.

a) Trình bày bằng cách nào, ta có thể suy ra, từ thông tin nhận được, sự phụ thuộc nhiệt dung của vật vào nhiệt độ?

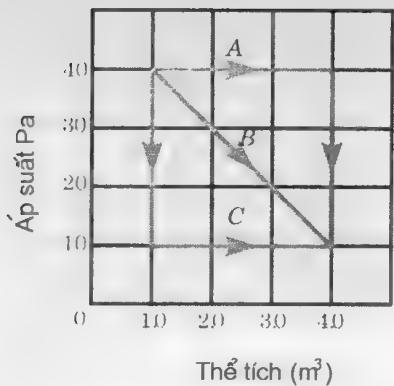
b) Giả thiết rằng, trong một phạm vi nhiệt độ nào đó nhiệt độ T tỷ lệ với t^3 , với t là thời gian. Nhiệt dung của vật phụ thuộc vào T như thế nào trong phạm vi này?

34P*. Hai khối kim loại cách nhiệt với môi trường xung quanh. Khối thứ nhất, khống lượng $m_1 = 3,16\text{ kg}$, ở nhiệt độ $T_1 = 17,0^\circ\text{C}$, có nhiệt dung riêng lớn gấp 4 lần nhiệt dung riêng của khối thứ hai. Khối thứ 2 ở nhiệt độ $T_2 = 47,0^\circ\text{C}$ và hệ số nở dài là $15,0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Khi hai khối ghép với nhau để tiến tới cân bằng nhiệt thì diện tích của một mặt của khối thứ 2 giảm đi 0,0300 %. Tìm khối lượng của khối thứ 2.

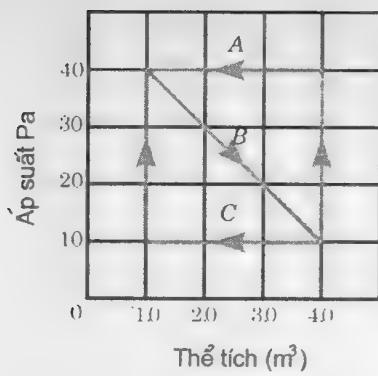
Mục 20.6. MỘT VÀI TRƯỜNG HỢP ĐẶC BIỆT CỦA ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC.

35E. Một mẫu khí giãn từ $1,0$ đến $4,0\text{m}^3$ trong khi áp suất của nó giảm từ 40 tới 10Pa . Khí thực hiện bao nhiêu công nếu áp suất của nó thay đổi theo thể tích theo một trong ba quá trình mô tả trên giản đồ p-V ở hình 20.17.

36E. Giả thiết rằng một mẫu khí giãn từ 1 tới 4m^3 dọc theo đường đi B trong giản đồ p-V trình bày trên 20.18. Sau đó nó được nén trở lại 1m^3 theo hoặc đường A hoặc đường C. Tính công toàn phần thực hiện bởi khí trong cả chu trình cho mỗi trường hợp.



HÌNH 20.17. Bài tập 35



HÌNH 20.18. Bài tập 36

37E. Cho rằng có 200J công thực hiện trên một hệ và 70cal nhiệt lượng thoát ra khỏi hệ. Theo nghĩa của định luật thứ nhất của nhiệt động lực, những giá trị sau đây là bao nhiêu (tính cả dấu đại số) a) W? b) Q ? và c) ΔE_{int} ?

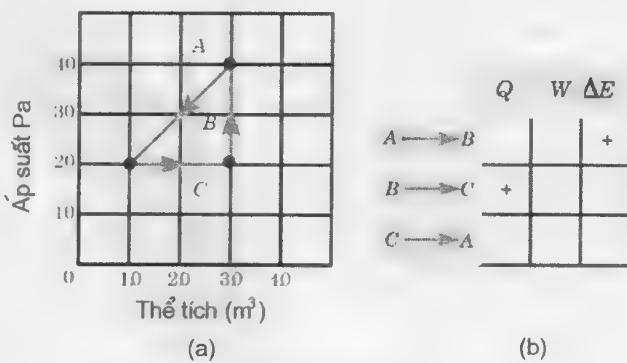
38E. Một hệ nhiệt động lực đi từ một trạng thái đầu A sang một trạng thái khác B và quay trở lại A qua trạng thái C như trình bày theo đường ABCA trên giản đồ p-V của hình 20.19a.

a) Điền vào bảng trên hình 20.19b bằng cách thêm vào hoặc + hoặc - cho mỗi đại lượng nhiệt động lực ứng với quá trình.

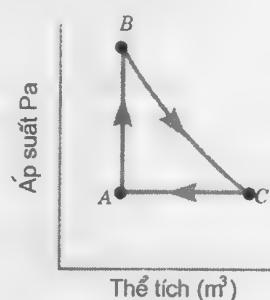
b) Tính giá trị bằng số của công thực hiện bởi hệ cho chu trình ABCA.

39E. Chất khí trong một buồng chứa thực hiện một chu trình như ta thấy trên hình 20.20. Xác định nhiệt lượng toàn phần cần cung cấp cho hệ trong quá trình CA nếu nhiệt lượng cung cấp Q_{AB} trong quá trình AB là 20,0J và không có nhiệt lượng trao đổi trong quá trình BC và công toàn phần thực hiện trong chu trình là 15,0J.

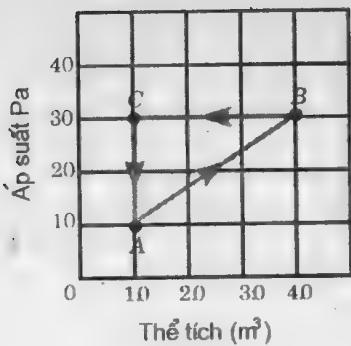
40E. Chất khí trong buồng chứa chịu một quá trình biến đổi trình bày trên giản đồ p-V của hình 20.21. Tính nhiệt lượng toàn phần cần cung cấp cho hệ trong chu trình này.



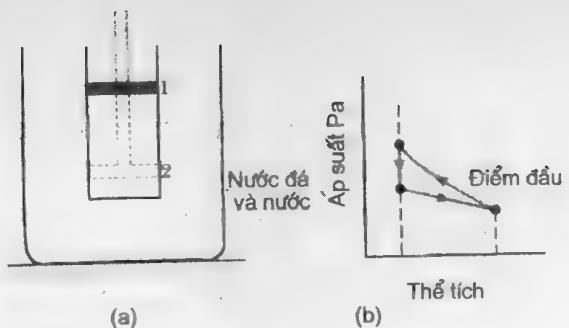
HÌNH 20.19. Bài tập 38



HÌNH 20.20. Bài tập 39



HÌNH 20.21. Bài tập 40



HÌNH 20.22. Bài tập 41

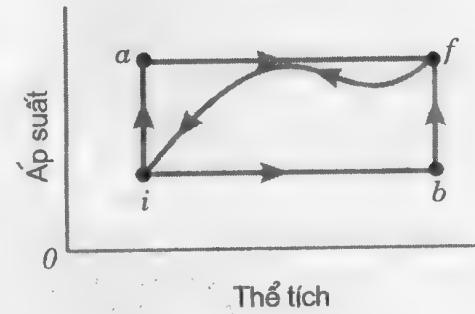
41P. Hình 20.22a trình bày một xilanh chứa chứa khí được đẩy bằng một pítông di chuyển được. Xilanh được giữ trong một hỗn hợp nước-nước đá. Pítông được đẩy nhanh xuống phía dưới từ vị trí 1 đến vị trí 2. Pítông được giữ ở vị trí 2 tới khi khí lại có nhiệt độ của hỗn hợp nước-nước đá sau đó lại được nâng lên chậm về vị trí 1. hình 20.22b là giản đồ p-V của quá trình. Nếu 100g nước đá tan trong chu trình, thì công thực hiện trên hệ là bao nhiêu?

42P. Khi một hệ được chuyển trạng thái i sang trạng thái f theo đường iaf trên hình 20.23 thì $Q = 50 \text{ cal}$ và $W = 20 \text{ cal}$. Theo đường ibf thì $Q = 36 \text{ cal}$.

- W là bao nhiêu theo đường ibf ?
- Nếu $W = -13 \text{ cal}$ cho đường cong quay trở lại fi, thì Q là bao nhiêu?
- Cho $\Delta E_{int,i} = 10 \text{ cal}$, vậy $\Delta E_{int,f}$ là bao nhiêu?
- Nếu $\Delta E_{int,b} = 22 \text{ cal}$, thì Q là bao nhiêu cho các quá trình ib và bf?

43*P. Một xilanh có pítông khít bằng kim loại khối lượng $2,0\text{kg}$, tiết diện ngang là $2,0\text{cm}^2$ (hình 20.24). Xilanh chứa nước và hơi ở nhiệt độ không đổi. Ta quan sát thấy pítông di chuyển chậm xuống dưới với tốc độ $0,30 \text{ cm/s}$ vì nhiệt truyền qua thành ra khỏi xilanh. Khi xảy ra điều này, có một chút hơi ngưng tụ lại trong xilanh. Khối lượng riêng của hơi nước là $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$, áp suất khí quyển là $1,0 \text{ atm}$.

- Tính tốc độ ngưng tụ của hơi nước.
- Nhiệt thoát khỏi xilanh với tốc độ bao nhiêu?
- Tốc độ biến thiên nội năng của hơi nước và nước bên trong xilanh là bao nhiêu?



HÌNH 20.23. Bài toán 42



HÌNH 20.24. Bài toán 43.

Mục 20.7. SỰ TRAO ĐỔI NHIỆT

44E. Tốc độ dẫn nhiệt trung bình qua bề mặt Trái Đất ở Bắc Mĩ là 54 mW/m^2 và độ dẫn nhiệt trung bình của đá ở gần mặt là $2,50 \text{ W/m.K}$. Giả thiết bề mặt có nhiệt độ 10°C , vậy nhiệt độ phải là bao nhiêu ở độ sâu $35,0 \text{ km}$ (gần đáy của lớp vỏ). Bỏ qua nhiệt lượng sinh ra do sự có mặt của các nguyên tố phóng xạ.

45E. Độ dẫn nhiệt của thủy tinh pyrex ở 0°C là $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ cal/cm} \cdot ^\circ\text{C}$

a) Tính giá trị này theo W/m.k và theo $\text{Btu/f}^2 \cdot ^\circ\text{F.h}$.

b) Giá trị R của 1 tấm bằng thủy tinh này dày 1in là bao nhiêu?

46E. a) Tính tốc độ dẫn nhiệt qua quần áo của một người trượt tuyết trong quá trình dừng theo các dữ kiện: diện tích bề mặt của thân thể $1,8 \text{ m}^2$, quần áo dày $1,0 \text{ cm}$, nhiệt độ của da 33°C , trong khi mặt ngoài của quần áo lại ở nhiệt độ $1,0^\circ\text{C}$, độ dẫn nhiệt của quần áo là $0,040 \text{ W/m.K}$.

b) Đáp số câu (a) sẽ thay đổi thế nào nếu sau khi ngã quần áo của người trượt tuyết ướt dẫm vào nước? Giả thiết rằng độ dẫn nhiệt của nước là $0,60 \text{ W/m.K}$.

47E. Xét một tấm như ở hình 20.8. Giả thiết rằng $L = 25,0 \text{ cm}$; $A = 90,0 \text{ cm}^2$ và vật liệu là đồng. Nếu $T_H = 125^\circ\text{C}$, $T_c = 10,0^\circ\text{C}$ và trạng thái là dừng, hãy tìm tốc độ truyền nhiệt qua tấm.

48E. Một thanh đồng hình trụ dài $1,2 \text{ m}$, tiết diện ngang $4,8 \text{ cm}^2$ được cách nhiệt để tránh mất mát nhiệt qua mặt của nó. Ở các đầu của nó được duy trì một hiệu nhiệt độ 100°C bằng cách nhúng một đầu vào hỗn hợp nước - nước đá, còn đầu kia ở hơi nước sôi.

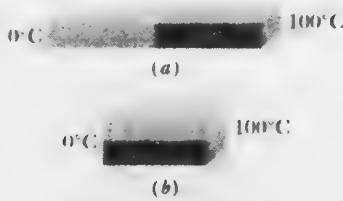
a) Tìm tốc độ dẫn nhiệt dọc theo dây.

b) Tìm tốc độ bằng tan ở đầu lạnh.

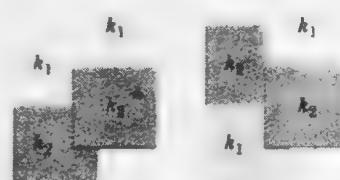
49E. Chứng tỏ rằng nhiệt độ T_x của mặt tiếp giáp của một tấm phức hợp (xem hình 20.10) được tính theo công thức:

$$T_x = \frac{R_1 T_H + R_2 T_c}{R_1 + R_2}$$

50E. Chứng minh rằng trong một tấm phức hợp như ở hình 20.25a độ biến thiên nhiệt độ qua mỗi phần tỉ lệ nghịch với độ dẫn nhiệt.



HÌNH 20.25. Bài tập 50 và Bài toán 52.



HÌNH 20.26. Bài tập 51.

51E. Bốn miếng cách nhiệt hình vuông bằng hai vật liệu khác nhau, cả bốn có cùng độ dày và diện tích A , được dùng để che một lỗ hổng có diện tích $2A$. Điều này có thể thực hiện theo một trong hai cách trình bày ở hình 20.26. Cách bố trí nào (a) hay (b) cho ta mất ít nhiệt hơn nếu $k_2 \neq k_1$?

52P. Hai thanh kim loại hình chữ nhật như nhau được hàn nối đầu với nhau như ở hình 20.25a và 10J nhiệt lượng được dẫn qua dây trong thời gian 2,0 phút khi quá trình là dừng. Hỏi mất bao nhiêu thời gian để 10J nhiệt lượng truyền qua dây, nếu chúng được hàn với nhau như ở hình 20.25b.

53P. Tính tốc độ dẫn nhiệt qua hai cửa ra vào cao 2,0 m rộng 0,75 m.

a) Một cửa làm bằng tấm nhôm dày 1,5 mm và kính dày 3,0 mm phủ 75% diện tích (diện tích của khung bỏ qua).

b) Cửa thứ hai làm hoàn toàn bằng gỗ thông trắng dày trung bình 2,5 cm. Sự giảm của nhiệt độ qua mỗi cửa là 33°C và xem bảng 20-4.

54P. Một cách trình bày lí tưởng hoá nhiệt độ của không khí dưới một dạng hàm của khoảng cách từ một cửa sổ đơn trong một ngày mùa đông lặng gió được trình bày trên hình 20.27. Kích thước của cửa sổ là $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 0,5\text{cm}$. Giả thiết nhiệt lượng được dẫn theo đường vuông góc với cửa sổ, từ điểm cách cửa sổ $8,0\text{ cm}$ ở phía này tới điểm cách cửa sổ $8,0\text{ cm}$ ở phía kia.

a) Tốc độ dẫn nhiệt qua cửa sổ là bao nhiêu?

(gợi ý: Độ giảm nhiệt độ qua cửa sổ thủy tinh là rất nhỏ)

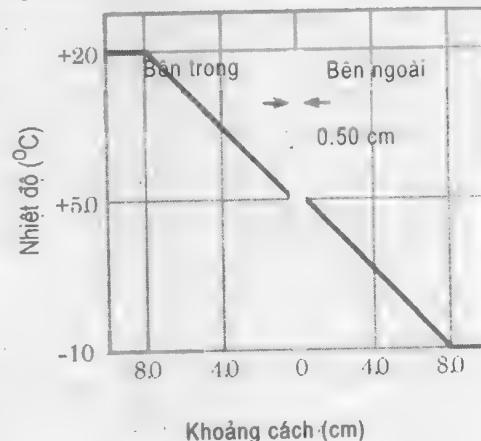
b) Đánh giá hiệu nhiệt độ giữa bên trong và bên ngoài của các mặt thủy tinh.

55P. Một thùng chứa nước lớn hình trụ có đường kính đáy là $1,7\text{m}$ làm bằng sắt nồi hơi dày $5,2\text{mm}$. Khi nước được đun nóng, khí cháy phía dưới có thể duy trì hiệu nhiệt độ là $2,3^{\circ}\text{C}$ giữa mặt trên và dưới của tấm đáy. Có bao nhiêu nhiệt lượng truyền qua tấm đáy trong $5,0\text{ phút}$? (Sắt có độ dẫn nhiệt là 67 W/m.K).

56P. a) Tốc độ mất nhiệt tính ra oát trên mét vuông (W/m^2) qua một tấm kính cửa sổ dày 3mm là bao nhiêu nếu nhiệt độ bên ngoài là -20°F và nhiệt độ bên trong là $+72^{\circ}\text{F}$.

b) Một cửa sổ được lắp có chiều dài các tấm thủy tinh như nhau, nhưng có khe không khí dày $7,5\text{cm}$ giữa chúng. Tốc độ mất nhiệt là bao nhiêu nếu giả thiết rằng dẫn nhiệt là cơ chế mất nhiệt quan trọng nhất.

57P. Một thùng chứa nước để ở ngoài trời trong thời tiết lạnh và một tấm băng dày $5,0\text{ cm}$ được tạo thành trên bề mặt (hình 20-28). Không khí trên lớp băng có nhiệt độ -10°C . Tính tốc độ tạo thành băng (ra centimét trên giờ) từ mặt dưới của lớp băng. Lấy độ dẫn nhiệt và khối lượng riêng của băng là $0,0040\text{ cal/s.cm.}^{\circ}\text{C}$ và $0,92\text{ g/cm}^3$. Giả thiết nhiệt lượng không truyền qua thành và đáy thùng.



HÌNH 20.27. Bài toán 54



HÌNH 20-28. Bài toán 57.

58.P. Băng được tạo thành trên một cái ao nông và trạng thái dừng được thực hiện khi nhiệt độ không khí trên băng là $-5,0^{\circ}\text{C}$ và ở đáy là 4°C . Nếu độ sâu của cả băng và nước là 1,4m thì lớp băng dày bao nhiêu? (Giả thiết rằng độ dẫn nhiệt của băng và của nước lần lượt là 0,40 và $0,12 \text{ cal/m} \cdot \text{C} \cdot \text{s}$).

59.P. Ba thanh kim loại làm bằng đồng, nhôm và đồng thau mỗi thanh có độ dài 6,00 cm và đường kính 1,00 cm. Những thanh này được đặt nối tiếp nhau, thanh nhôm ở giữa. Hai đầu tự do của đồng và đồng thau được duy trì lần lượt ở nhiệt độ sôi và nhiệt độ đóng băng của nước. Tìm nhiệt độ ở trạng thái dừng của chỗ nối đồng-nhôm và nhôm đồng thau. Độ dẫn nhiệt của đồng thau là 109 W/m.K .

60.P*. Một bức tường ghép làm bằng một khung kích thước $20 \text{ ft} \times 12 \text{ ft}$ do 16 nẹp thẳng đứng "hai nhân bốn", dài 12ft được đặt sao cho tâm của nẹp cách nhau 16in. Mặt ngoài của tường được gắn bằng tấm gỗ dán dày $1/4 \text{ in}$ ($R = 0,30$) và các thanh gỗ thông trắng dày $3/4 \text{ in}$ ($R = 0,98$). Mặt trong được gắn bằng các tấm gỗ ép ($R = 0,47$). Khoảng không gian giữa các nẹp được phủ bằng bọt polyurêtan ($R = 5,9$ cho một lớp dày 1 in). Nẹp thẳng đứng "hai nhân bốn" có kích thước $1,75 \text{ in} \times 3,75 \text{ in}$, giả thiết chúng được làm bằng gỗ $R = 1,3$ với một tấm dày 1 in.

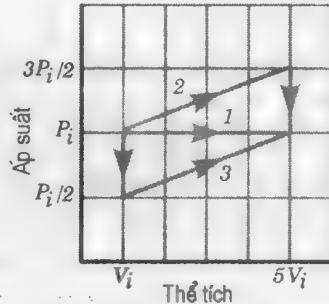
- Tốc độ truyền nhiệt qua bức tường là bao nhiêu khi hiệu nhiệt độ là 30°F ?
- Giá trị R của tường ghép là bao nhiêu?
- Tỉ số của diện tích tường chứa nẹp so với diện tích bọt polyurêtan là bao nhiêu?
- Tỉ số nhiệt lượng truyền qua phần nẹp so với phần bọt polyurêtan là bao nhiêu?

BÀI TOÁN BỔ SUNG

61. Một mẫu chất khí biến đổi từ một trạng thái đầu a tới trạng thái cuối b theo ba đường khác nhau (quá trình) như mô tả trên giản đồ pV, h.20.29. Nhiệt lượng cung cấp cho khí trong quá trình 1 là $10p_i V_i$. Tính theo $p_i V_i$.

a) Nhiệt lượng cung cấp cho khí trong quá trình 2?

b) Độ biến thiên nội năng của khí trong quá trình 3?



HÌNH 20-29. Bài toán 61

62. Cần bao nhiêu cục nước đá 20g, có nhiệt độ ban đầu -10°C cho vào 1,0l nước chè nóng, nhiệt độ ban đầu 90°C để nhiệt độ cuối của hỗn hợp là 10°C . Giả thiết rằng tất cả nước đá tan trong hỗn hợp cuối và nhiệt dung riêng của nước chè bằng nhiệt dung riêng của nước.

63. Một mẫu khí dẫn từ thể tích và áp suất ban đầu là $1,0 \text{ m}^3$ và 10 Pa tới thể tích cuối là $2,0 \text{ m}^3$. Trong quá trình dẫn, áp suất và thể tích liên hệ với nhau theo phương trình $p = aV^2$, trong đó $a = 10 \text{ N/m}^3$. Xác định công thực hiện bởi khí trong quá trình giãn này.

SỰ SÔI VÀ HIỆU ỨNG LEIDENFROST

Jearl Walker

Trường Đại học Quốc gia Cleveland



Jearl Walker là giáo sư vật lí tại trường đại học quốc gia Cleveland. Ông tốt nghiệp cử nhân vật lí ở MIT và tiến sĩ vật lí ở trường đại học tổng hợp Maryland. Từ 1977-1990 ông hướng dẫn "các nhà khoa học nghiệp dư" khoa khoa học Mĩ. Cuốn sách của ông Xiếc bay vật lí với các câu trả lời đã được xuất bản bằng 10 thứ tiếng.

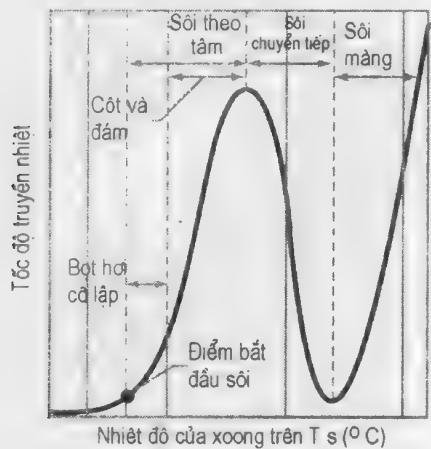
Nước để phô trực tiếp ra áp suất khí quyển sẽ sôi ở một nhiệt độ nào đó mà thỉnh thoảng ta vẫn gọi là nhiệt độ sôi chuẩn T_s . Thí dụ T_s vào khoảng 100°C khi áp suất khí quyển là 1,00 atm. Vì nước ở đáy xoong không trực tiếp tiếp xúc với khí quyển nên nó giữ nguyên ở thể lỏng ngay cả khi nhiệt độ của nó quá nhiệt cao hơn T_s một vài độ. Trong suốt quá trình đó nước liên tục được trộn lẫn do đối lưu làm nước nóng sôi lên, nước lạnh chìm xuống.

Nếu bạn tiếp tục làm tăng nhiệt độ xoong thì lớp nước ở đáy bắt đầu bay hơi, các

Nước sôi như thế nào! Đó là điều thường gặp quá nên có lẽ bạn chẳng hề chú ý chút nào tới những tính chất lạ lùng của nó. Một số tính chất của nó rất quan trọng trong các ứng dụng công nghiệp, trong khi đó một số tính chất khác lại được dùng là cơ sở cho những ảo thuật nguy hiểm thực hiện bởi các người liều lĩnh trong các buổi trình diễn ở các lễ hội hoá trang.

Cho nước vào xoong và đun nóng từ phía dưới bằng một ngọn lửa hay một bếp điện. Khi nước ấm, các phân tử không khí hòa tan trong nước bị đẩy khỏi nước, tụ tập thành các bọt nhỏ theo các đường sước ở đáy xoong. Các bọt khí phồng dần lên, tách khỏi các đường sước ở đáy xoong và nổi lên mặt nước. Chúng vừa tách ra, thì lại có bọt khác được tạo thành ở vết sước và tách ra cho tới khi nào lượng không khí hòa tan trong nước bị rút hết. Sự tạo thành các bọt khí chỉ là dấu hiệu mới bị nung nóng chứ không hề dính dáng gì đến sự sôi.

phân tử nước tập hợp trong những bọt hơi nhỏ trong các đường sôc lúc này khô. giai đoạn này của sự sôi thể hiện ở những tiếng "bục" reo và có thể "sùng sục". Nước hâu như reo lên sự không hài lòng vì bị nung nóng. Mỗi khi bọt hơi nước dâng lên phía trên trong vùng nước lạnh hơn chút xíu, bọt hơi bắt thình lình xẹp xuống vì hơi trong nó bị ngưng tụ. Mỗi lần xẹp lại phát ra âm thanh chính là tiếng réo mà bạn nghe thấy. Khi nhiệt độ cả khối nước tăng lên, những bọt này có thể không xẹp đến khi bứt khỏi đường sôc ở đáy nồi và lên được một phần đường tối mặt nước. Giai đoạn này của sự sôi được đặt tên là "bọt hơi nước cô lập" trong hình 1.



HÌNH 1. Đường cong sôi của nước

Nếu bạn tiếp tục tăng nhiệt độ của xoong lên nữa, tiếng reo của các bọt bị vỡ (xẹp) lúc đầu nghe to hơn sau mất hẳn. Tiếng reo này sẽ bé đi khi cả khối lỏng đủ nóng để những bọt hơi đạt tới mặt nước. ở đây chúng vỡ ra làm tóe nước chút ít. Nước bây giờ hoàn toàn sôi.

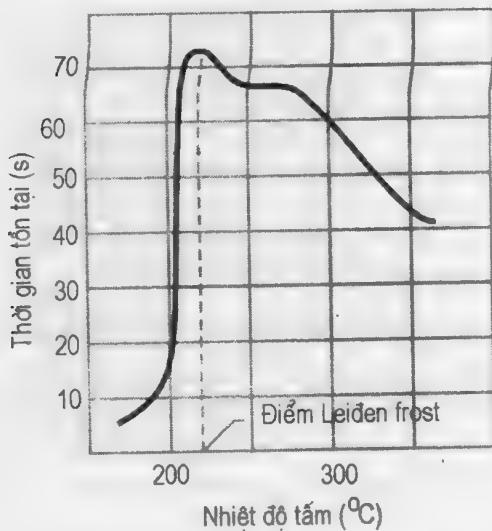
Nếu nguồn nhiệt của bạn là một bếp lò thì câu chuyện có thể dừng ở đây. Tuy nhiên với lò của phòng thí nghiệm, bạn có thể tăng tiếp tục nhiệt độ của xoong. Những bọt hơi tiếp tục

trở nên nhiều và rời khỏi các đường sôc nhiều hơn đến nỗi chúng dính với nhau tạo thành một cột hơi vùng vẫy hỗn độn và mãnh liệt lên phía trên, thỉnh thoảng gấp những "đám" hơi đã thoát ra từ trước.

Sự sản sinh ra các bọt và cột hơi được gọi là *sôi theo tâm* vì việc tạo thành và lớn lên của các bọt khí tuỳ thuộc vào các đường sôc ở đáy xoong dùng làm tâm sôi (nơi hình thành bọt). Khi bạn tăng nhiệt độ của xoong tốc độ truyền nhiệt cho nước tăng. Nếu bạn tiếp tục nâng nhiệt độ của xoong quá giai đoạn tạo thành cột và đám thì sự sôi chuyển sang một giai đoạn mới gọi là chế độ chuyển tiếp. Tiếp theo đó là nếu tăng nhiệt độ của xoong lại làm giảm tốc độ truyền nhiệt cho nước. Sự giảm này không phải là nghịch lí. Trong chế độ chuyển tiếp phần lớn đáy xoong bị bao phủ bởi một lớp hơi. Vì hơi nước dâng nhiệt kém hơn độ dâng nhiệt của nước khoảng một bậc, nên sự truyền nhiệt cho nước bị giảm đi. Xoong càng nóng hơn sự tiếp xúc trực tiếp giữa nước và đáy xoong càng giảm và sự truyền nhiệt lượng càng kém. Tình huống này có thể nguy hiểm trong một bình trao đổi nhiệt, có nhiệm vụ chuyển nhiệt từ một vật nóng. Nếu nước trong bình trao đổi nhiệt này được để chuyển sang chế độ chuyển tiếp thì vật có thể bị đun quá nhiệt tới mức bị phá hủy vì sự truyền nhiệt lượng thoát ra từ nó bị giảm. Giả thiết rằng bạn tiếp tục nâng nhiệt độ của xoong lên nữa. Cuối cùng thì toàn bộ đáy xoong bị phủ bởi một lớp hơi nước - và nhiệt lượng chuyển chậm chạp cho nước phía trên do bức xạ và do dẫn nhiệt dần dần. Giai đoạn này gọi là "sự sôi màng".

Dẫu bạn không thể thu được sự sôi màng trong chiếc xoong đựng nước ở trên bếp

lò nhưng nó rất thường thấy trong bếp. Bà tôi một lần đã trình diễn sử dụng nó như thế nào để biết khi nào chảo của bà đủ nóng để làm bánh sữa. Sau khi người nung nóng cái chảo không một lúc, người vẩy vào chảo vài giọt nước. Những giọt nước này sèo sèo và biến đi trong vài giây. Sự biến mất nhanh của chúng chứng tỏ cho bà tôi biết chảo chưa đủ nóng để làm bánh sữa. Sau khi đun nóng chảo thêm một lúc, người lập lại cách thử trên nhưng cho nhiều nước hơn một chút. lần này các giọt nước gộp lại với nhau, nhảy trên kim loại, kéo dài hàng phút trước khi chúng biến mất. Chảo bây giờ mới đủ nóng để làm bánh sữa.



HÌNH 2. Thời gian tồn tại của giọt nước trên tấm nóng.

Để nghiên cứu sự trình diễn của người, tôi chuẩn bị một tấm kim loại phẳng để nung bằng cái bếp ở phòng thí nghiệm. Trong khi điều khiển nhiệt độ của tấm với một cặp nhiệt điện, tôi cẩn thận nhỏ một giọt nước cát từ một ống tiêm lên trên tấm. Giọt nước rơi vào vết lõm do tôi đã tạo nên trên tấm bằng búa bì. ống tiêm cho phép nhỏ các giọt nước như nhau. Mỗi lần nhỏ một giọt nước, tôi lại đếm thời gian nó tồn tại trên tấm. Sau đó tôi vẽ đồ thị thời gian tồn tại của giọt theo nhiệt độ tấm (hình 2).

Đồ thị có một đỉnh lẹ lùng. Khi nhiệt độ của tấm ở giữa 100°C và 200°C , mỗi giọt nước trải ra trên mặt tấm thành một lớp mỏng và bay hơi nhanh. Khi nhiệt độ khoảng 200°C thì giọt nước nhỏ trên tấm gộp lại và tồn tại tới hàng phút. Khi nhiệt độ tấm cao hơn nữa các giọt nước gộp lại không tồn tại lâu như vậy. Thí nghiệm tương tự với nước máy thì cho một đồ thị có đỉnh tù hơn, có lẽ do những hạt bụi lơ lửng trong giọt nước phá thủng lớp hơi nước, dẫn nhiệt vào trong giọt nước.

Sự kiện giọt nước tồn tại lâu khi nhỏ trên kim loại ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ sôi của nước lần đầu tiên do Hermann Boerhaave phát hiện năm 1732. Nó không được nghiên cứu nhiều cho đến năm 1756, khi Johann Gottlieb Leidenfrot công bố: "Bàn về một vài tính chất của nước thường". Vì công trình của Leidenfrot mãi đến năm 1965 vẫn không được dịch từ tiếng Latinh nên vẫn chưa được nhiều người đọc. Tuy nhiên, tên của ông ngày nay gắn với hiện tượng này. Hơn nữa, nhiệt độ ứng với đỉnh của đồ thị như tôi đã làm gọi là điểm Leidenfrot.

Leidenfrot tiến hành thí nghiệm của mình bằng một thia sắt nung nóng đỏ trên lửa của một lò sưởi. Sau khi nhỏ một giọt nước vào thia ông đếm thời gian tồn tại theo nhịp con lắc. Ông nhận thấy rằng có vẻ như nước hút ánh sáng và nhiệt từ chiếc thia để lại một vết sẫm hơn so với phần còn lại của chiếc thia. Giọt thứ nhất ở trên thia kéo dài

30s, trong khi giọt tiếp theo kéo dài chỉ 10s và những giọt tiếp theo kéo dài chỉ vài giây.

Leidenfrot đã hiểu sai sự chứng minh của mình vì ông không nhận thức được rằng giọt nước kéo dài lâu hơn là sự sôi thực sự. Tôi giải thích theo thí nghiệm của tôi. Khi nhiệt độ của tám kim loại thấp hơn điểm Leidenfrot, nước trải ra trên tám và dẫn nhiệt nhanh ra khỏi nó làm nó bay hơi hoàn toàn trong vài giây. Khi nhiệt độ bằng hoặc cao hơn điểm Leidenfrot, mặt dưới của giọt nước nhỏ trên tám hầu như bị bay hơi tức khắc. áp suất của khí trong lớp hơi này ngăn cản phần còn lại của giọt nước, không cho nó tiếp xúc với tám (hình 3). Lớp này vì vậy che chở và đỡ lấy giọt nước ở phút sau. Lớp này luôn được bổ sung nhờ nước bốc hơi thêm từ mặt dưới của giọt nước do bức xạ và dẫn nhiệt qua lớp đó từ tám kim loại. Tuy lớp có chiều dày bé hơn 0,1mm ở gần biên giới phía ngoài và khoảng 0,2mm ở tám, nó vẫn làm chậm đáng kể quá trình bay hơi của nước.



HÌNH 3. Tiết diện cắt ngang của giọt nước Leidenfrot

Sau khi đọc bản dịch công trình nghiên cứu của Leidenfrot, tôi chợt nhớ tới bài mô tả về xảo thuật kì lạ đã được thực hiện trong quá trình diễn vào dịp hội hoá trang vào đầu thế kỷ. Theo người ta mô tả, người trình diễn có thể nhúng ngón tay ướt của mình vào chì nóng chảy. Giả thiết rằng xảo thuật không có một chút thủ đoạn quý quyết nào, tôi phỏng đoán rằng điều này phải liên quan đến hiệu ứng Leidenfrot. Ngay khi ngón tay ướt của người trình diễn chạm vào kim loại bồng nóng chảy thì một phần hơi nước bốc hơi và bao phủ ngón tay bằng một lớp hơi nước. Nếu nhúng rất nhanh, thì da thịt sẽ không bị nóng đáng kể.

Tôi không thể cưỡng lại ý định thử nghiệm cách giải thích của tôi. Bằng chiếc lò của phòng thí nghiệm tôi đun chảy một thỏi chì trong một chén nung. Tôi đun nóng chì tới nhiệt độ trên 400°C , cao hơn nhiệt độ nóng chảy của nó là 328°C . Sau khi dùng nước máy làm ướt tay, tôi chuẩn bị sờ tay vào mặt trên của chì nóng chảy. Tôi phải thú nhận rằng tôi có một trợ lí đứng sẵn sàng với các dụng cụ sơ cứu. Tôi cũng phải thú nhận rằng trong vài lần đầu thử nghiệm đã thất bại vì óc tôi không cho phép làm thí nghiệm nực cười này nên luôn hướng ngón tay tôi trêch khỏi chì nóng chảy.

Cuối cùng khi tôi đã thăng mọi sự sợ hãi và chạm rất nhanh vào chì, tôi đã kinh ngạc. Tôi cảm thấy không nóng. Đúng như tôi đoán, một phần nước trên ngón tay đã bốc hơi, tạo nên một lớp bảo vệ. Vì sự tiếp xúc ngắn nên sự bức xạ và dẫn nhiệt qua lớp hơi không đủ để nâng nhiệt độ da thịt của tôi lên một cách đáng kể hơn. Sau khi làm ướt bàn tay, tôi nhúng tất cả ngón tay vào trong chì cho chạm đáy nồi đun (xem ảnh). Sự tiếp xúc với chì vẫn còn quá ngắn để có thể làm bồng tay. Rõ ràng là, hiệu ứng Leidenfrot, hay nói chính xác hơn, sự có mặt ngay lập tức của sự sôi màng, bảo vệ ngón tay của tôi.

Tôi hãy còn băn khoăn về sự giải thích của mình. Liệu tôi có thể cho ngón tay khô vào chì mà không bị bồng không? Vứt bỏ mọi suy nghĩ hợp lý, tôi thử luôn, lập

tức nhận ra sự diên rồ của tôi khi vết đau lan nhanh qua ngón tay. Sau đó tôi thử với con Weiner khô nhúng nó vào trong chì nóng chảy trong vài giây. Da của con Weiner bị đen đi rất nhanh. Nó cũng không được bảo vệ bởi sự sôi màng giống như ngón tay khô của tôi.

Tôi phải lưu ý rằng, nhúng ngón tay vào chì nóng chảy có một số nguy hiểm thực sự. Nếu chì chỉ nóng hơi cao hơn nhiệt độ nóng chảy của nó thì khi nước bốc hơi sẽ mất nhiệt do nó sinh ra có thể làm đông đặc chì quanh ngón tay. Nếu tôi kéo tay ra với cái bao tay bằng chì nóng cứng đó từ thùng chứa thì nó sẽ tiếp xúc với ngón tay tôi một thời gian lâu, hoàn toàn làm cho ngón tay của tôi bỏng nặng. Tôi cũng phải đương đầu với khả năng chì bắn lên hoặc đổ ra. Thêm vào đó có một nguy hiểm lớn nữa là có quá nhiều nước trên ngón tay. Khi có quá nhiều nước bốc hơi nhanh chóng, hơi nước có thể thổi chì nóng chảy ra xung quanh và nghiêm trọng nhất là vào mắt. Tôi đã mang trên tay và trên mặt các vết sẹo từ các sự bốc hơi nổ như vậy. Bạn chẳng bao giờ nên lặp lại sự trình diễn đó làm gì. Sự sôi màng cũng có thể thấy khi nitơ lỏng bị đổ ra. Những giọt và quả cầu hợp lại với nhau khi chúng trượt trên sàn, chất lỏng ở nhiệt độ khoảng -200°C . Khi chất lỏng bị đổ ra tiếp xúc với sàn thì mặt dưới của chất lỏng sẽ bay hơi. Lớp hơi tạo ra đỡ lấy phần lỏng còn lại, cho phép chất lỏng tồn tại một thời gian dài đáng kinh ngạc.

Tôi đã được nghe kể về một xảo thuật ở đó người trình diễn rót nitơ lỏng vào mồm mà không bị bỏng vì nhiệt độ quá thấp. Chất lỏng lập tức bị sôi màng trên mặt dưới của nó, và như vậy không trực tiếp tiếp xúc với mồm. Cũng lại diên rồ, tôi lặp lại trình diễn này. Hàng mấy chục lần, xảo thuật tiến hành yên ổn và hấp dẫn. Với một quả cầu lớn nitơ trong mồm, tôi tập trung không nuốt khi tôi thở ra. Độ ẩm trong hơi thở lạnh của tôi ngưng tụ lại tạo thành một đám lông tơ khổng lồ dài tới hàng mét từ mồm tôi. Tuy nhiên trong lần thứ cuối cùng của tôi, chất lỏng đã làm hai trong các răng cửa của tôi co lại vì lạnh, nghiêm trọng tới mức men răng bị nứt như những đường đi trên bản đồ. Nha sĩ của tôi thuyết phục tôi ngừng trình diễn này.

Hiệu ứng Leidenfrost cũng có thể đóng một vai trò trong một trình diễn diên rồ khó khăn khác: đó là đi bộ trên than hồng. Lúc bấy giờ các phương tiện thông tin đại chúng thông báo về một người trình diễn đi bộ qua than hồng với khá nhiều bí ẩn và kích động vô nghĩa, chẳng hạn nói rằng sự bảo vệ khỏi cháy bỏng là do "ý chí thắng vật chất" mang lại. Thực tế chính vật lí bảo vệ bàn chân, khi cuộc chơi có hiệu quả. Sự kiện đặc biệt quan trọng là mặc dầu bề mặt của than là hoàn toàn nóng, nó lại chứa ít năng lượng một cách đáng ngạc nhiên. Nếu người trình diễn đi bộ với các bước đi vừa phải thì thời gian chân tiếp xúc ngắn đến mức chân chỉ được dẫn một lượng nhiệt nhỏ từ than. Dĩ nhiên, đi bộ chậm hơn dễ bị bỏng vì sự tiếp xúc lâu hơn cho phép nhiệt lượng dẫn tới bàn chân cả từ lớp bên trong của than.

Nếu chân được làm ấm từ trước khi đi bộ, chất lỏng có thể cũng giúp bảo vệ chúng. Để làm ướt chân, người trình diễn có thể bước ra cỏ ướt ngay trước khi bước lên than hồng. Cũng có thể chân đẫm mồ hôi do nhiệt lượng của than hoặc do sự kích thích của buổi trình diễn. Khi mà người trình diễn ở trên than, một số nhiệt lượng làm bay hơi chất lỏng trên chân, để nhiệt lượng được dẫn tới da thịt ít hơn. Thêm vào đó, có thể có các điểm tiếp xúc mà tại đó chất lỏng bị sôi màng, vì thế tạo nên sự bảo vệ ngắn khỏi than.

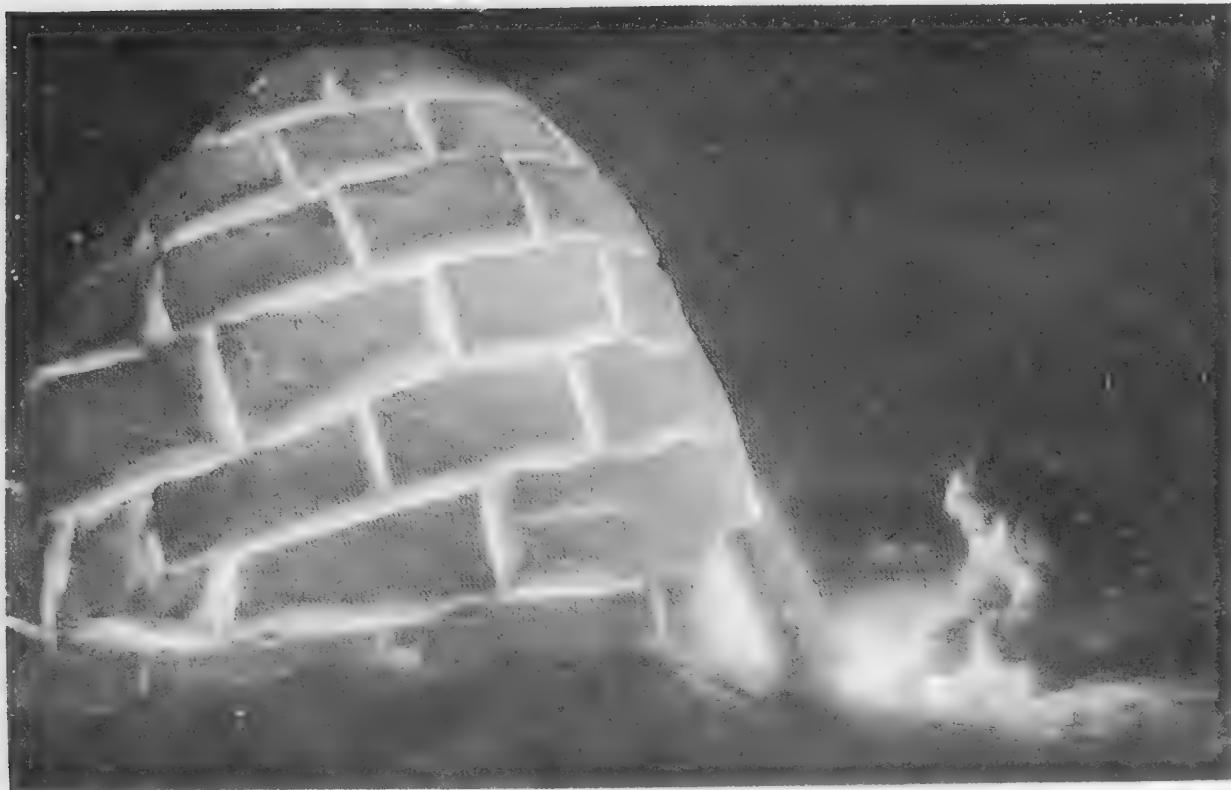
Tôi cũng đã đi bộ trên than hồng năm lần. Trong bốn lần đi như thế tôi khá sợ đến nỗi chân tôi đổ mồ hôi. Tuy nhiên trong lần đi bộ thứ năm, tôi cẩn thận để chắc rằng chân tôi khô. Những vết b榜ng tôi chịu đựng làm đau dữ dội và mạnh mẽ. Chân tôi không lành trong nhiều tuần lễ.

Thất bại của tôi có thể là do không có sôi màng trên chân, nhưng cũng là tôi đã bỏ qua một số yếu tố an toàn phụ. Trong những ngày khác, tôi đã hết sức thận trọng giữ lấy quyển sách này trong lần xuất bản trước trong lồng ngực của tôi khi đi bộ qua than hồng như là chỗ dựa của lòng tin vào vật lí. Hỡi ôi, tôi đã quên cuốn sách đó, trong cái ngày tôi bị b榜ng nặng.

Tôi đã tranh luận rất lâu rằng chương trình "mức độ tin tưởng" phải dùng "đi bộ trên lửa như là cuộc kiểm tra cuối cùng. Người chủ trò của chương trình sẽ chờ ở phía bên kia của một đống than hồng trong khi "thí sinh mức độ" buộc phải đi bộ qua than. Nếu lòng tin của thí sinh vào vật lí đã mạnh, để chân không hề thiệt hại gì, thì người chủ trò trao tay cho thí sinh chứng chỉ tốt nghiệp. Thủ nghiệm sẽ biểu lộ rõ sự thật hơn rất nhiều so với các cuộc thi cuối cùng truyền thống.

THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

21



Giả thiết bạn trở về ngôi nhà lạnh lẽo của mình sau buổi trượt tuyết qua rừng trong một ngày đông giá lạnh. Ý nghĩ đầu tiên của bạn là đốt lò. Nhưng chính xác tại sao bạn làm như vậy? Phải chăng vì lò làm tăng sự dự trữ nội năng (nhiệt năng) của không khí trong phòng tới lúc khi đó có đủ nội năng để làm cho bạn dễ chịu? Lý luận này dẫu có vẻ lô gíc đến đâu, cũng vẫn sai, vì dù trữ nội năng của không khí không thể thay đổi do lò được. Vậy cái đó là như thế nào? Và nếu đúng là như vậy, thì tại sao bạn lại hăm hở đốt lò?

21.1. MỘT CÁCH MỚI ĐỂ XEM XÉT CHẤT KHÍ

Nhiệt động lực học cổ điển - Chủ đề của hai chương vừa qua không nói chút nào về nguyên tử. Khi chúng ta áp dụng các định luật của nó cho chất khí, chúng ta chỉ quan tâm tới các biến số vĩ mô như áp suất, thể tích, nhiệt độ. Mặc dù chúng ta biết chất khí gồm các nguyên tử và phân tử, nhưng các định luật nhiệt động lực cổ điển không chú ý tới điều đó.

Tuy nhiên, áp suất tác dụng bởi chất khí phải liên hệ tới sự va đập không ngừng của các phân tử khí lên thành bình chứa nó. Khả năng của khí chiếm thể tích của bình chứa nó chắc chắn phải liên hệ tới sự tự do trong chuyển động của các phân tử của nó. Còn nhiệt độ và nội năng của khí chắc chắn phải liên hệ với động năng của các phân tử ấy. Có lẽ chúng ta có thể hiểu ra một cái gì đó về chất khí bằng cách tiếp cận vấn đề từ hướng này. Tên chúng ta đặt cho sự tiếp cận phân tử này là: *thuyết động học chất khí*. Nó chính là chủ đề của chương này.

21.2. SỐ AVOGADRO

Khi ý nghĩ của chúng ta nghiêng về các phân tử, sẽ có nghĩa khi đo độ lớn của các mẫu theo mol. Nếu chúng ta làm như vậy, chúng ta có thể chắc chắn rằng chúng ta so sánh các mẫu có chứa cùng một số phân tử. Mol là một trong bẩy đơn vị SI cơ bản và được định nghĩa như sau:

Một mol là số nguyên tử trong mẫu có 12g cacbon 12.

Chúng ta nói "một mol hêli" hay "một mol nước" theo nghĩa là một số đơn vị nguyên tố nào đó của chất. Nhưng chúng ta cũng có thể nói một mol bóng tennit, ở đây dĩ nhiên đơn vị cơ bản phải là bóng tennit.

Một câu hỏi hiển nhiên bây giờ là: "Có bao nhiêu nguyên tử hay phân tử trong một mol"? Câu trả lời được xác định bằng thực nghiệm và như ta đã thấy ở chương 20 là

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad \text{số Avogadro} \quad (21-1)$$

Số này gọi là số Avogadro theo tên nhà khoa học Ý Amedeo Avogadro (1776-1856), người đầu tiên gợi ý rằng tất cả các chất khí trong cùng một điều kiện về áp suất và nhiệt độ đều chứa cùng một số phân tử hay nguyên tử, khi chúng có cùng một thể tích.

Số mol n chứa trong một mẫu bất kì có thể tìm được từ

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (21-2)$$

trong đó N số phân tử chứa trong mẫu đó. Số mol trong một mẫu cũng có thể tìm được từ: khối lượng $M_{\text{mẫu}}$ của mẫu và *khối lượng phân tử M* (khối lượng của một mol chất đó) hoặc khối lượng m của một phân tử:

$$n = \frac{M_{\text{mẫu}}}{M} = \frac{M_{\text{mẫu}}}{m \cdot N_A} \quad (21-3)$$

Giá trị rất lớn của số Avogadro gợi cho ta thấy nguyên tử nhỏ bé thế nào và số lượng chúng lớn làm sao. Thí dụ? một mol không khí có thể dễ dàng chất trong một

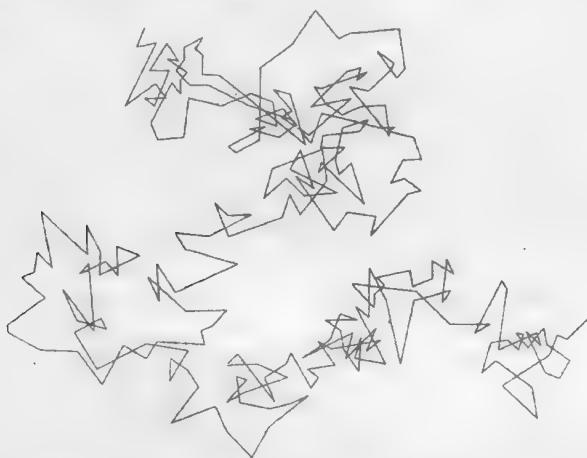
vali. Tuy nhiên, nếu những phân tử này được trải đều trên mặt Trái Đất, thì sẽ có khoảng 120.000 phân tử trên 1cm^2 . Thí dụ 2: một mol bóng tennit có thể lấp đầy một thể tích bằng bảy thể tích của mặt trăng.

Đo Số Avogadro

Chúng ta không thể nhìn thấy các phân tử khí riêng lẻ vì chúng chuyển động nhanh, va chạm với nhau và với thành bình chứa chúng. Tuy nhiên ta có thể nhìn thấy các hiệu ứng trực tiếp của các chuyển động như vậy và ta có thể suy ra giá trị N_A từ những quan sát này.

Năm 1827 nhà thực vật học người Anh Robert Brown khi nhìn qua kính hiển vi các hạt phấn hoa và những vật khác lơ lửng trong nước thì thấy chúng nhảy múa một cách hết sức hỗn độn. Hình 21.1 trình bày một thí dụ về chuyển động Brown như vậy của một hạt riêng biệt chuyển động xảy ra vì các hạt lơ lửng liên tục bắn phá từ mọi phía bởi các phân tử chất lỏng. Số phân tử đập vào các phía đối diện của một hạt trong một khoảng thời gian ngắn, được xác định một cách tình cờ, sẽ không thể đúng bằng nhau. Vì sự thăng giáng này mà một lực không cân bằng hướng một cách ngẫu nhiên sẽ tác dụng lên hạt lơ lửng tạo ra điều "nhảy múa Brown" của nó.

Điều này giống như một quả bóng tròn nào đó lơ lửng trong không gian không có trọng trường bị bắn phá từ mọi phía bằng một nắm các quả bóng bàn chuyển động nhanh theo các hướng ngẫu nhiên. Quả bóng tròn sẽ lúc lắc chung quanh nhẹ nhàng một cách ngẫu nhiên, thể hiện một loại của *chuyển động Brown*. Theo dõi chuyển động lang thang của quả bóng bạn có thể suy ra một vài điều gì đó về các quả bóng bàn ngay cả khi bạn không nhìn thấy chúng.



HÌNH 21.1. Chuyển động của một hạt nhỏ lơ lửng trong nước được nhìn qua kính hiển vi. Các đường ngắn nhỏ nối các vị trí của nó trong khoảng thời gian 30s (Đường đi của các hạt là một thí dụ hay về fractal, đó là một đường cong mà mỗi phần nhỏ của nó giống đường cong thực. Thí dụ: nếu đường đi của hạt tại những đoạn đường ngắn được khảo sát chẳng hạn trong từng khoảng thời gian 0,1s thì đồ thị tổng cộng vẫn sẽ rất giống đường ta cát).

Ta có thể suy ra số Avogadro từ những phép đo trong chuyển động Brown. Cũng có nhiều cách để thu được hằng số quan trọng này. Vào đầu thế kỉ này những hiện tượng từ sự phân rã phóng xạ đến màu xanh lam của bầu trời cũng đều đã được sử dụng. Bản thân Einstein đã đề nghị bốn phương pháp độc lập nhau. Tất cả các phương pháp này đều cho chúng ta gần như cùng một giá trị của số Avogadro. Chính cái nền tảng thực nghiệm rộng rãi và vững chắc này về số N_A mà đã làm được rất nhiều để thuyết phục những người ngờ vực (họ là khá nhiều) về sự hữu ích của quan niệm cho rằng thế giới vật chất quen thuộc với chúng ta là được tạo bởi các nguyên tử.

Chiến thuật 1. Số Avogadro của cái gì ?

Trong 21-1 số được biểu thị theo mol⁻¹, là nghịch đảo của mol, hay 1/mol lẽ ra chúng ta có thể nêu đơn vị cơ bản một cách rõ ràng hơn trong trường hợp đã cho.

Thí dụ: nếu đơn vị cơ bản là một nguyên tử thì ta có thể viết $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ nguyên tử /mol. Còn nếu chúng ta quan tâm tới lượng lớn của bóng tennit, chúng ta có thể viết $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ bóng tennit/mol.

21.3. CHẤT KHÍ LÝ TƯỞNG

Mục đích của chúng ta trong chương này là giải thích các tính chất vĩ mô của chất khí chẳng hạn áp suất, nhiệt độ của nó - theo cách xử xự của các phân tử cấu tạo nên nó. Nhưng có một vấn đề đặt ra tức khắc là: khí gì? Liệu có thể là hydro hay oxy, hay mêtan hay là UF_6 (Uran hexafluorid). Chúng hoàn toàn khác nhau. Tuy nhiên, các nhà thực nghiệm đã tìm thấy rằng, nếu ta chứa 1 mol các mẫu chất khí khác nhau trong những hộp có thể tích giống nhau và giữ chúng ở cùng nhiệt độ thì áp suất đo được của chúng là gần (dẫu không hoàn toàn đúng) bằng nhau. Nếu chúng ta lặp lại các phép đo với khí có khối lượng riêng thấp hơn thì những sự khác nhau nhỏ trong các áp suất đo được sẽ dần dần biến mất. Các thực nghiệm tiếp theo cho ta thấy với khối lượng riêng thấp mọi chất khí thực có xu hướng tuân theo phương trình

$$pV = nRT \text{ (định luật khí lý tưởng)} \quad (21.4)$$

trong đó p là áp suất tuyệt đối (không phải áp suất tương đối), n là số mol khí và R là hằng số khí, có cùng một giá trị với mọi chất khí, cụ thể là:

$$R = 8,31 \text{ J/mol.K.} \quad (21.5)$$

Nhiệt độ T trong p.t (21-4) phải tính theo đơn vị tuyệt đối (kelvin). Phương trình 21-4 gọi là **định luật khí lý tưởng**. Miễn là khối lượng riêng của khí thấp p.t 21-4 đúng cho mọi loại khí bất kì hay cho một hỗn hợp các loại khác nhau, với n là tổng số mol tham gia chất khí. Bạn cũng có thể hỏi: "Khí lý tưởng là gì và cái gì là lí tưởng" cho một chất khí*.

Câu trả lời nằm trong sự đơn giản của định luật (phương trình 21-4) chi phối các tính chất vĩ mô của nó. Khi dùng định luật này-như bạn sẽ thấy ta có thể suy ra nhiều tính chất của khí lý tưởng một cách đơn giản. Dẫu rằng không có những khí như vậy trong tự nhiên, mọi chất khí đều dẫn tới trạng thái lý tưởng khi khối lượng riêng đủ thấp, có nghĩa là khi các phân tử khí ở khá xa nhau. Vì thế nên quan niệm về khí lý tưởng cho phép ta thu được những hiểu biết có ích về tính chất giới hạn của các khí thực.

Công thức hiện bởi khí lý tưởng khi nhiệt độ không đổi.

Giả thiết rằng một mẫu gồm n mol khí lý tưởng, chứa trong một xilanh có pit tông

* Nhiều người thích dùng khí hoàn hảo thay cho "khí lý tưởng". Chúng là như nhau.

chắn sao cho khí có thể dãn từ thể tích ban đầu V_i tới thể tích cuối V_f . Giả thiết thêm rằng nhiệt độ của khí được giữ không đổi trong suốt quá trình. Ta tính công mà khí lí tưởng thực hiện trong quá trình *dãn đẳng nhiệt* này.

Điểm xuất phát của ta là p.t.20.11 hay là:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} pdV$$

Vì là khí lí tưởng, nên ta có thể thế p.t 21-4 vào và thu được

$$W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV \quad (21.6)$$

Nhiệt độ được giữ không đổi, do đó:

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} \quad (21.7)$$

hay $W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ (khí lý tưởng, quá trình đẳng nhiệt) (21.8)

Hãy nhớ lại rằng ở đây \ln là lôga tự nhiên, tức là lôga cơ số e.

Với quá trình dãn $V_f > V_i$, theo định nghĩa, tỉ số V_f/V_i trong phương trình 21-8 lớn hơn đơn vị; Lôga của một đại lượng lớn hơn đơn vị là một số dương. Như vậy, công W do khí thực hiện trong sự giãn đẳng nhiệt là dương như ta mong đợi. Với quá trình nén ta có $V_f < V_i$, tỷ số của các thể tích trong p.t 21-8 bé hơn đơn vị. Lôga trong phương trình đó - và do đó công W - là âm cũng lại như ta mong đợi.

CÁCH GIẢI TOÁN

Chiến thuật 2. Khi nào dùng phương trình 21-8

Một vài sinh viên nghĩ rằng p.t 21-8 sẽ cho ta công thực hiện bởi một chất khí lí tưởng trong quá trình nhiệt động lực bất kì. Điều đó không đúng. Sự thực nó cho ta công chỉ khi nhiệt độ được giữ không đổi. Nếu nhiệt độ thay đổi, kí hiệu trong p.t 21-6 không thể đưa ra ngoài dấu tích phân và như vậy ta không thể kết thúc với p.t 21-8. Chúng ta sẽ thảo luận tình trạng thuộc loại này trong chương này và chương tiếp theo.

Bài toán mẫu 21.1

Một xi lanh chứa 12L ôxy ở 20°C và áp suất 15 atm, khi nhiệt độ tăng lên đến 35°C và thể tích giảm xuống còn 8,5L. Áp suất khí cuối là bao nhiêu? Giả thiết khí là lí tưởng.

Giải: Từ p.t 21-4, ta có thể viết

$$R = \frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{p_f V_f}{T_f}$$

Giải theo p_f ta được:

$$p_f = \frac{p_i T_f V_i}{T_i V_f} \quad (21-9)$$

Trước khi thay bằng số, chúng ta phải nắm cho chắc rằng nhiệt độ T tính theo nhiệt giao Kenvin. Như vậy:

$$T_i = (273 + 20)K = 293K$$

$$\text{và } T_f = (273 + 35)K = 308K$$

Thay các số liệu đó vào p.t 21-9, ta được:

$$p_f = \frac{(15 \text{ atm}) \times (308K) \times (12L)}{(293K) (85L)} = 22 \text{ atm (Đáp số)}$$

Bài toán mẫu 21.2

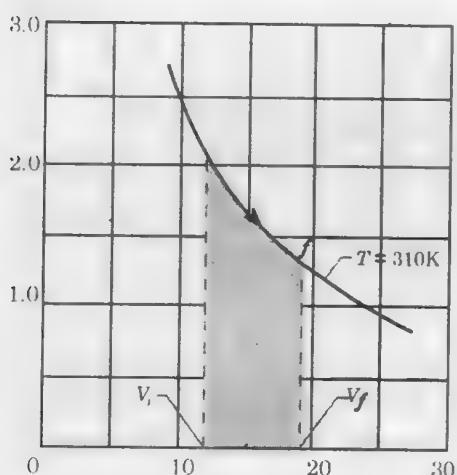
Một mol khí oxy (giả thiết là khí lí tưởng) giãn ở nhiệt độ không đổi $T = 310K$ từ thể tích ban đầu $V_i = 12L$ tới thể tích cuối $V_f = 19L$.

a) Công do khí thực hiện khi giãn là bao nhiêu?

Giải:

Từ p.t 21-8 ta có:

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} = (1 \text{ mol}) (8,31 \text{ J/mol.K}) (310K) \ln \frac{19L}{12L} = 1180 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$



HÌNH 21-2. Bài toán mẫu 21-2. diện tích biểu diễn công thực hiện bởi 1 mol không đổi 310K.

b) Công thực hiện bởi chất khí trong quá trình nén từ $V_i = 19L$ tới $V_f = 12L$ là bao nhiêu?

Giải:

Chúng ta tiến hành như trong (a) và tìm thấy

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} = (1 \text{ mol}) (8,31 \text{ J/mol.K}) (310K) \ln \frac{12L}{19L} = -1180 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

Công thực hiện do khí giãn là dương, hợp với quy ước về dấu cho công ta đã nêu ra trong mục 20.4. Sự giãn được trình bày trong giản đồ p-V của hình 21-2. Đường cong là một *đường đẳng nhiệt*, là đường cho ta mối liên hệ giữa áp suất và thể tích của một chất khí khi nhiệt độ của nó được giữ không đổi tại một giá trị nào đó. Vì thế cho nên đường cong là đồ thị của:

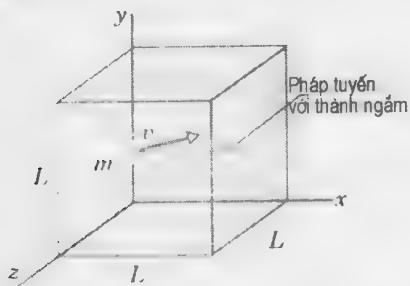
$$p = nRT \frac{1}{V} = (\text{một hằng số}) \frac{1}{V}$$

Công thực hiện bởi chất khí trong quá trình giãn được biểu diễn bằng diện tích vùng dưới đường đẳng nhiệt.

Kết quả này bằng về độ lớn nhưng ngược dấu với kết quả tìm thấy ở câu (a) cho quá trình giãnձang nhiệt. Dấu trừ chứng tỏ tác nhân bên ngoài phải thực hiện công 1180J lên chất khí để nén nó.

21.4. ÁP SUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ : THEO QUAN ĐIỂM PHÂN TỬ

Đây là vấn đề thứ nhất của thuyết động học. Cho n mol khí lý tưởng chứa trong một hình lập phương thể tích V như trên h21-3. Các thành hộp được giữ ở nhiệt độ T . Có mối liên hệ gì giữa áp suất p tác dụng bởi chất khí lên thành và tốc độ của các phân tử?



HÌNH 21-3. Một hộp lập phương cạnh L chứa n mol khí lý tưởng. Một phân tử khối lượng m , vận tốc v sấp súp va vào thành ngang có diện tích L^2 . Một pháp tuyến với thành được trình bày.

thành phần x và thành phần này bị đổi chiều. Điều này có nghĩa là độ biến thiên duy nhất về động lượng của phân tử là theo chiều x và độ biến thiên đó là:

$$(-mv_x) - mv_x = -2mv_x$$

Vậy động lượng Δp nhường cho thành bởi phân tử trong khi va chạm là $+2mv_x$ (vì ký hiệu p đại diện cho cả động lượng và áp suất trong sách này, nên ta phải cẩn thận ghi nhớ rằng p ở đây là động lượng).

Phân tử trên hình 21-3 sẽ đập qua đập lại vào thành đánh bóng. Thời gian Δt giữa các lần va chạm là thời gian phân tử đi tới thành đối diện và lại quay trở lại (khoảng cách $2L$) với vận tốc v_x . Vậy $\Delta t = \frac{2L}{v_x}$ (chú ý là kết quả này vẫn đúng ngay cả khi phân tử

bật từ bất kỳ thành nào khác trên đường đi, vì những thành ấy song song với x không thể làm thay đổi v_x). Vì vậy, tốc độ mà động lượng do một phân tử nhường cho thành ngăn là:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mv_x}{2L/v_x} = \frac{mv_x^2}{L}$$

Từ định luật Newton thứ hai ($\bar{F} = \frac{d\bar{p}}{dt}$), tốc độ biến thiên của động lượng nhường cho thành hộp, chính là lực tác dụng là thành. Để tìm lực này ta phải cộng các phân

Các phân tử trong hộp chuyển động theo mọi phía với tốc độ thay đổi, va chạm với nhau và bật khỏi thành hộp như những quả bóng trong sân chơi quần vợt. Chúng ta bỏ qua (trong lúc này) sự va chạm của các phân tử với nhau mà chỉ xét sự va chạm đàn hồi với thành hộp. Hình 21-3 trình bày một phân tử riêng rẽ, khối lượng m , vận tốc v sấp súp va chạm với thành đánh bóng. Vì chúng ta giả thiết rằng mọi sự va chạm của phân tử với thành đều là đàn hồi nên khi phân tử va vào thành ta đánh bóng, thành phần duy nhất của vận tốc bị thay đổi là

dóng góp của các phân tử khác đập vào thành có tính đến khả năng chúng có vận tốc khác nhau. Chia lực tổng cộng cho diện tích thành (L^2) ta tìm được áp suất p tác dụng lên thành, bây giờ và trong phần còn lại của sự thảo luận này, p lại là áp suất. Từ đó ta có:

$$p = \frac{F}{L^2} = \frac{\cancel{mv_x^2}_{x_1}/\cancel{L} + \cancel{mv_x^2}_{x_2}/\cancel{L} + \dots + \cancel{mv_x^2}_{x_N}/\cancel{L}}{L^2} = \frac{m}{L^3} (v_{x_1}^2 + v_{x_2}^2 + \dots + v_{x_N}^2) \quad (21-10)$$

trong đó N là số phân tử trong hộp.

Vì $N = nN_A$, nên có nN_A số hạng trong dấu ngoặc thứ 2 của p.t 21-10. Có thể thay đại lượng đó bằng $nN_A \bar{v}_x^2$, trong đó \bar{v}_x^2 là giá trị trung bình của bình phương thành phần theo phương x của tất cả các tốc độ phân tử. Phương trình 21-10 bây giờ trở thành:

$$p = \frac{nN_A \bar{v}_x^2}{L^3}$$

Nhưng nN_A là khối lượng M của một mol chất khí, còn L^3 là thể tích của hộp nên:

$$p = \frac{nM \bar{v}_x^2}{V} \quad (21-11)$$

Với một phân tử bất kỳ ta có $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$. Vì số phân tử rất lớn, và vì chúng chuyển động theo các phương hỗn độn nên giá trị trung bình của bình phương các thành phần vận tốc của chúng là bằng nhau, thành thử

$$v_x^2 = \frac{1}{3} v^2. \text{ Từ đó phương trình 21-11 thành } p = \frac{nM \bar{v}^2}{3V} \quad (21-12)$$

Căn bậc hai của \bar{v}^2 là một loại của tốc độ trung bình gọi là *tốc độ căn quân phương* của phân tử ký hiệu là V_{rms} . Tên của nó cho ta thấy rõ: bạn bình phương mỗi tốc độ, bạn lấy *trung bình* của tất cả các tốc độ bình phương, sau đó bạn lấy căn bậc hai. Bây giờ ta có thể viết p.t (21-12) là:

$$p = \frac{n m v_{rms}^2}{3V} \quad (21-13)$$

Phương trình 21-13 là linh hồn trong thuyết động học phân tử. Nó cho ta biết áp suất của khí (một đại lượng hoàn toàn vi mô) phụ thuộc như thế nào vào tốc độ của phân tử (một đại lượng hoàn toàn vi mô).

Chúng ta có thể biến đổi phương trình 21-13 và dùng nó để tính v_{rms} .

Kết hợp p.t 21-13 với định luật khí lý tưởng ($pV = nRT$) sẽ dẫn tới:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (21-14)$$

Bảng 21-1 trình bày một số tốc độ căn quân tính từ p.t 21.14. Những tốc độ này là cao một cách ngạc nhiên. Với phân tử hydrô, ở nhiệt độ phòng (300K), tốc độ căn quân phương là 1920 m/s hay 4300 mi/h, nhanh hơn tốc độ của một viên đạn. Trên bề mặt của Mặt Trời (h.21-14) tại đó nhiệt độ là 2.10^6 K, tốc độ căn quân phương của phân tử hydrô lớn gấp khoảng 82 lần tốc độ của nó ở nhiệt độ phòng, nếu không có sự kiện là ở tốc độ cao như vậy các phân tử không thể tồn tại vì va chạm với nhau. Cũng

cần nhớ là, tốc độ căn quân cũng chỉ là một loại tốc độ trung bình: có nhiều phân tử có tốc độ lớn hơn tốc độ đó nhiều và cũng có một số chậm hơn khá nhiều. Tốc độ truyền âm trong một chất khí liên hệ chặt chẽ với tốc độ căn quân phương của các phân tử trong khí đó. Trong sóng âm, một kích động nào đó truyền từ phân tử này qua phân tử khác là nhờ va chạm. Sóng không thể chuyển động nhanh hơn tốc độ "trung bình" của các phân tử. Thực vậy, tốc độ âm phải bé hơn tốc độ "trung bình" này của các phân tử một chút vì không phải tất cả các phân tử đều chuyển động một cách chính xác theo cùng một hướng như là sóng âm. Thí dụ ở nhiệt độ phòng tốc độ căn quân phương của các phân tử hydrô và nitơ lần lượt là 1920 m/s và 517 m/s. Các tốc độ của âm trong hai loại khí trên cùng tại nhiệt độ này lần lượt là 1350 m/s và 350 m/s.

Bảng 21-1

MỘT SỐ TỐC ĐỘ PHÂN TỬ Ở NHIỆT ĐỘ PHÒNG (T = 300k)

Khí	Khối lượng mol (b) (g/mol)	Vận tốc toàn phương trung bình (m/s)
Hydrô	2,02	1920
Hêli	4,0	1375
Hơi nước	18,0	645
Nitơ	28,0	517
Oxy	32,0	483
Đioxyt cacbon (khí cacbonic)	44,0	412
Khí sulfuarô	64,1	342

a) Để thuận tiện, ta thường đặt nhiệt độ phòng = 300K dẫu rằng (ở 27°C hay 81°F) đó là của một phòng khá ấm nóng.

b) Dẫu rằng khối lượng phân tử thường biểu thị theo g/mol nhưng đơn vị SI chính thức lại là kg/mol.

tế, thời gian để một phân tử "lạ" đi qua không khí của phòng là do dòng đối lưu thường có trong các phòng thông thường xác định.

Một câu hỏi cũng thường được đặt ra: "Nếu các phân tử chuyển động nhanh như vậy thì tại sao lại phải mất hàng phút hay hơn bạn mới ngủ thấy mùi thơm khi một người nào đó mở nút một cái chai ở trong phòng?" "Nhìn lượt trước một chút vào h.21.5 gợi ý cho ta thấy: dẫu rằng các phân tử chuyển động rất nhanh giữa hai va chạm, nhưng một phân tử cho trước sẽ rời xa khỏi vị trí xuất phát rất chậm. Trong thực

Bài toán mẫu 21.3

Đây là 5 con số thuận túy 5,11, 32, 67 và 89.

a) Giá trị trung bình của những con số đó là gì?

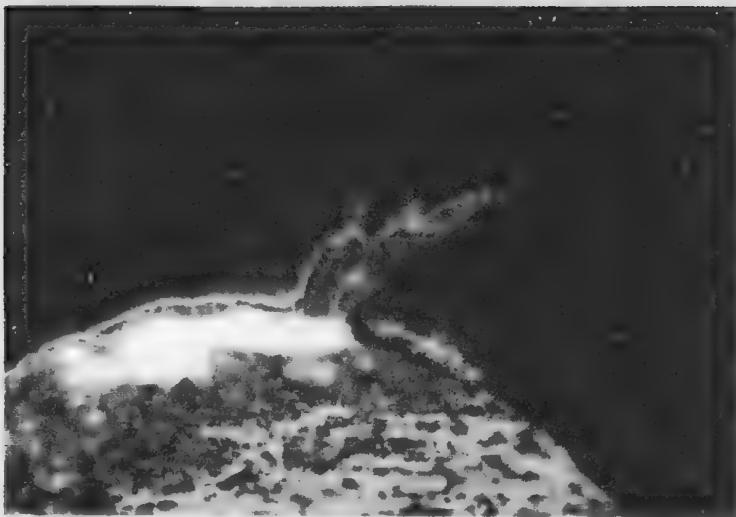
Giải: Ta tìm điều đó từ:

$$n = \frac{5 + 11 + 32 + 67 + 89}{5} = 40,8 \quad (\text{Đáp số})$$

b) Giá trị căn quân phương n_{rms} của những số đó là gì?

Giải: Ta tìm điều đó từ

$$n_{rms} = \sqrt{\frac{5^2 + 11^2 + 32^2 + 67^2 + 89^2}{5}} = 52,1 \quad (\text{Đáp số})$$



HÌNH 21-1. Một tai lửa phun ra từ bầu khí quyển nhiệt độ cao của Mặt Trời.

vật lý và kỹ thuật. Giá trị 120V ghi trên một đèn điện chẳng hạn là một giá trị căn quân phương của điện thế.

Bài toán mẫu 21.4

Thử lại tốc độ căn quân phương của phân tử khí hydrô ở nhiệt độ phòng như cho trên bảng 21-1.

Giải: Khối lượng phân tử của hydrô là 2,02 g/mol (theo đơn vị SI) 0,00202 kg/mol. Thế vào p.t 21-4 suy ra:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{(3)(8,31J/mol.K)(300K)}{0,00202kg/mol}} = 1920 \text{ m/s} \quad (\text{Đáp số})$$

đúng như trên bảng 21-1.

21-5. ĐỘNG NĂNG CHUYỂN ĐỘNG TỊNH TIẾN

Ta lại xét một phân tử riêng lẻ khi nó chuyển động trong hình hộp ở h.21-3, nhưng bây giờ ta giả thiết rằng tốc độ của nó thay đổi khi va chạm với các phân tử khác. Động năng tịnh tiến của nó tại một thời điểm bất kì là $\frac{1}{2}mv^2$. Động năng tịnh tiến trung bình trong suốt thời gian quan sát là:

$$\bar{K} = \frac{1}{2}\overline{mv^2} = \frac{1}{2}\overline{mv^2} = \frac{1}{2}m\overline{v_{rms}^2} \quad (21-15)$$

trong đó chúng ta đã giả thiết tốc độ trung bình của phân tử trong quan sát của chúng ta như là tốc độ trung bình của tất cả các phân tử tại thời điểm cho bất kì. (Miễn là

Giá trị căn quân phương lớn hơn giá trị trung bình vì những số lớn hơn, khi bình phương sẽ đóng vai trò quan trọng hơn khi hình thành giá trị căn quân phương. Để thử điều này, ta thay số 89 trong dãy 5 số của ta bằng 300. Giá trị trung bình của dãy số mới (bạn thử lại dễ dàng) tăng lên theo thừa số 2, còn giá trị căn quân phương trung bình tăng với thừa số 2,7.

Giá trị căn quân phương của nhiều biến số, xuất hiện trong nhiều ngành

năng lượng toàn phần của chất khí không thay đổi và chúng ta quan sát phân tử của ta trong một thời gian đủ dài thì giả thiết trên là thích đáng).

Thay giá trị của v_{rms} từ p.t 21-4, ta có:

$$\overline{K} = \left(\frac{1}{2} m\right) \frac{3RT}{M}$$

Nhưng M/m là khối lượng một mol chia cho khối lượng một phân tử, chính là số Avogadro, vì vậy

$$\overline{K} = \frac{3RT}{2N_A} \quad \text{có thể viết là} \quad \overline{K} = \frac{3}{2} kT. \quad (21-16)$$

Hằng số k gọi là *hằng số Boltzmann*, là thương số của hằng số R chia cho số Avogadro N_A . Nó đôi khi được gọi là hằng số khí cho một phân tử riêng lẻ chứ không phải cho một mol) và giá trị của nó là^(*).

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 J/mol \cdot K}{6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}} = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K = 8,62 \cdot 10^{-5} eV/K \quad (21-17)$$

Phương trình 21-16 cho chúng ta một điều có lẽ là bất ngờ.

Ở một nhiệt độ cho trước T , tất cả các phân tử khí - bất kể khối lượng của nó là bao nhiêu đều có cùng một động năng tịnh tiến trung bình cụ thể là $\frac{3}{2} kT$. Khi chúng ta đo nhiệt độ của một chất khí, chúng ta đo động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử của nó.

Thực tế trong việc suy luận của chúng ta không có gì hạn chế là chỉ cho các phân tử. Chúng ta có thể áp dụng nó cho bất kỳ vật gì khác, như các hạt phấn hoa và thậm chí cho cả quả bóng tennis. Ở đây chúng ta thấy cơ sở cho chuyển động Brown. Một hạt phấn hoa lơ lửng trong nước và ở trạng thái cân bằng nhiệt với nó, xử sự như một phân tử to và có cùng một động năng chuyển động tịnh tiến như các phân tử nước quanh nó. Nhưng dĩ nhiên vì nó có khối lượng lớn hơn rất nhiều nên hạt phấn hoa có tốc độ căn quân phương trung bình nhỏ hơn đáng kể, khiến ta có thể quan sát được chuyển động của nó.

Bài toán mẫu 21.5

Động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử oxy ở nhiệt độ phòng (300K) là bao nhiêu electron-Von? của các phân tử nitơ là bao nhiêu?

Giải:

Động năng tịnh tiến trung bình chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ mà không phụ thuộc vào bản chất của phân tử. Cả các phân tử oxy và nitơ đều được tính theo p.t 21-16.

$$\overline{K} = \frac{3}{2} kT = \left(\frac{3}{2}\right)(8,62 \times 10^{-5} eV/K)(300K) = 0,39 eV. \quad (\text{Đáp số})$$

^(*) Không được lẫn lộn k (hằng số Boltzmann) với J (động năng) và K (Kenvin).

Các nhà vật lý thấy rất có lợi khi nhớ rằng động năng tịnh tiến trung bình của phân tử bất kỳ ở nhiệt độ phòng vào khoảng $\frac{1}{25}$ eV, đó chính là kết quả trên.

Từ bảng 21-1 chúng ta thấy tốc độ căn quan phương của các phân tử oxy (với $M = 32,0$ g/mol) là 483m/s , của nitơ ($M = 28\text{g/mol}$) là 517m/s . Từ đó ta thấy phân tử càng nhẹ có tốc độ căn quan phương càng lớn, phù hợp với điều là hai phân tử có cùng một động năng tịnh tiến trung bình.

Bài toán mẫu 21.6

Để tăng cường hiệu quả của sự phân hạch hạt nhân của urani, cần phải tách đồng vị U_{235} (khả năng phân hạch cao) ra khỏi đồng vị U_{238} (khả năng phân hạch kém). Một cách thực hiện điều đó là tạo nên từ urani khí UF_6 và cho chúng khuếch tán nhiều lần qua các vách ngăn xốp. Các phân tử nhẹ hơn khuếch tán nhanh hơn và hiệu suất của vách ngăn được xác định bởi hệ số tách α là tỷ số hai vận tốc độ căn quan phương. Vậy hệ số tách là bao nhiêu với hai loại khí urani hexafluorid (UF_6)?

$$\text{Giải: Từ phương trình 21-14} \quad v_{rms} = \sqrt{3 \frac{RT}{M}} \text{ ta có thể viết}$$

$$\alpha = \frac{v_{rms235}}{v_{rms238}} = \sqrt{\frac{M_{238}}{M_{235}}}$$

Trong đó các M là các khối lượng phân tử của hai loại phân tử khí. Chúng ta có thể tìm thấy các khối lượng phân tử này bằng cách thêm 6 lần khối lượng mol của flo ($19,0\text{g/mol}$) vào khối lượng mol của nguyên tử urani thích hợp (235 g/mol) hay (238 g/mol).

Ta có:

$$UF_6 \text{ (urani 238)} M_{238} = 238 + 6 \times 19,6 = 352 \text{ g/mol}$$

$$UF_6 \text{ (urani 235)} M_{235} = 235 + 6 \times 19,6 = 349 \text{ g/mol}.$$

Từ đó ta có

$$\alpha = \sqrt{\frac{235\text{g/mol}}{238\text{g/mol}}} = 1,0043 \quad (\text{Đáp số})$$

Một nhà máy khuếch tán đồng vị thực tế cần cho khí đi qua tới 4000 vách ngăn.

21.6. QUĂNG ĐƯỜNG TỰ DO TRUNG BÌNH

Hình 21.5. Trình bày quăng đường đi của một phân tử ta xét khi chuyển động qua một chất khí, cả tốc độ và phương chuyển động thay đổi bất thành linh khi va chạm đàn hồi với các phân tử khác. Giữa các va chạm, phân tử ta xét chuyển động theo đường thẳng với tốc độ không đổi. Dẫu rằng trên hình vẽ trình bày tất cả các phân tử là đứng yên, nhưng chúng cũng đang chuyển động theo cách như vậy.

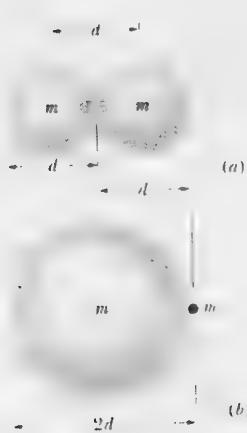


Hình 21.5. Một phân tử khác đi qua một chất khí - va chạm với các phân tử khác trên đường đi. Tuy những phân tử khác được trình bày là đứng yên, chúng cũng chuyển động một cách tương tự.

đổi (tỷ lệ nghịch) với bình phương của đường kính vì chính tiết diện ngang của một phân tử - mà không phải đường kính của nó - xác định diện tích hiệu dụng của mục tiêu.

Biểu thức của quãng đường tự do trung bình hoá ra là:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 N/V}} \quad (\text{quãng đường tự do trung bình}) \quad (21-18)$$



HÌNH 21.6

- a) Va chạm xảy ra khi tâm của hai phân tử ở trong phạm vi khoảng cách d , d là đường kính của nguyên tử.
- b) Một sự trình bày tương tự nhưng thuận lợi hơn là phân tử chuyển động có bán kính d . Còn các phân tử khác là các chất điểm. Điều kiện cho va chạm vẫn giữ nguyên như trước.

của hình trụ gấp khúc khi làm thẳng ra là $v\Delta t$, thể tích của nó là $\pi d^2 \cdot v\Delta t$. Số va chạm xảy ra sẽ là số (diểm) phân tử nằm bên trong hình trụ này. (xem hình 21-7).

Một trong những thông số có ích mô tả chuyển động ngẫu nhiên này là quãng đường tự do trung bình λ . Như tên gọi đã nói rõ λ là khoảng cách trung bình mà một phân tử đi được giữa các va chạm. Chúng ta mong đợi λ thay đổi tỉ lệ nghịch với N/V là số phân tử trong một đơn vị thể tích - N/V càng lớn, số va chạm càng nhiều thì quãng đường tự do trung bình càng nhỏ. Chúng ta cũng mong đợi λ thay đổi tỷ lệ nghịch với kích thước của các phân tử (Nếu phân tử là chất điểm thực sự, sẽ chẳng bao giờ có va chạm và quãng đường tự do trung bình sẽ là vô cùng). Vì vậy cho nên, phân tử càng lớn thì quãng đường tự do trung bình càng nhỏ. Chúng ta cũng có thể đoán trước rằng λ sẽ thay

Để nghiệm lại p.t 21-18, chúng ta chú ý tới một phân tử riêng lẻ và giả thiết như hình 21-5 gợi ý - phân tử của ta chuyển động với tốc độ v không đổi, còn tất cả các phân tử khác đứng yên. Sau này ta sẽ nói lồng giả thiết này.

Chúng ta giả thiết tiếp là các phân tử có dạng hình cầu đường kính d . Một va chạm sẽ xảy ra khi tâm của các nguyên tử cách nhau một khoảng cách bé hơn d , như ở hình 21.6a.

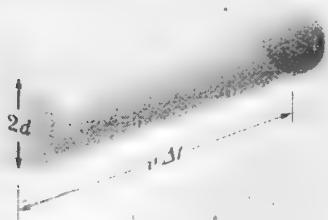
Một cách xét khác coi phân tử đơn độc có bán kính d , còn các phân tử khác là chất điểm như ở h.21-6b. Điều này không làm thay đổi tiêu chuẩn của ta về va chạm.

Vì phân tử đơn của ta chuyển động "dích dắc" qua chất khí, nó quét một hình trụ gấp khúc có tiết diện ngang là πd^2 . Nếu ta quan sát phân tử trong khoảng thời gian Δt , nó đi được một quãng đường $v\Delta t$ với v là tốc độ phân tử được giả thiết. Chiều dài

Vì N/V là số phân tử trong một đơn vị thể tích nên số va chạm sẽ là N/V nhân với thể tích hình trụ, tức là $(\frac{N}{V}) \pi d^2)(v\Delta t)$. Quãng đường tự do trung bình là chiều dài của đường đi (và là của hình trụ) chia cho số đó - hay là:

$$\lambda = \frac{\text{Chiều dài đường đi}}{\text{Số va chạm}} = \frac{v\Delta t}{\pi d^2 v \Delta t N / V} = \frac{1}{\pi d^2 N / V} \quad (21-19)$$

Phương trình này chỉ gần đúng vì nó dựa trên giả thiết là tất cả các phân tử đều đứng yên, trừ một. Trên thực tế, tất cả các phân tử đều chuyển động. Khi kể đến điều đó, thì ta có kết quả là phương trình (21-18). Chú ý là nó chỉ khác với biểu thức gần đúng (phương trình (21-19) về một thừa số bằng $\frac{1}{\sqrt{2}}$).



HÌNH 21.7. Trong thời gian Δt , phân tử chuyển động quét một hình gấp khúc chiều dài $v\Delta t$ bán kính d . Hình này được làm thẳng ra cho thuận tiện. Số phân tử tham gia va chạm bằng số phân tử có tám nằm trong hình trụ này.

Quãng đường tự do trung bình của phân tử không khí ở mức mặt nước biển vào khoảng $0,1\mu\text{m}$. Tại độ cao 100km , mật độ không khí giảm xuống và làm tăng quãng đường tự do trung bình tới khoảng 16cm . Ở 300km , quãng đường tự do trung bình khoảng 20km . Vấn đề gặp phải cho những ai muốn nghiên cứu tính chất lý hoá của tầng cao khí quyển trong phòng thí nghiệm là không có thùng chứa đủ lớn để giữ mẫu khí trong điều kiện giống tầng cao khí quyển. Song le việc nghiên cứu nồng độ của Freon, của cacbon dioxyt và của ôzôn trên tầng cao khí quyển lại là sự lo âu sống còn của cộng đồng.

Bài toán mẫu 21.7

Đường kính phân tử của các loại khí khác nhau có thể tìm bằng thực nghiệm bằng cách đo tốc độ mà các khí khác nhau khuếch tán vào nhau. Với oxy, $d = 2,9 \cdot 10^{-10}\text{m}$ đã được công bố.

a/ Quãng đường tự do trung bình của oxy ở nhiệt độ phòng ($T = 300\text{K}$) và áp suất khí quyển 1atm , là bao nhiêu?

Giải. Ta hãy tìm $\frac{N}{V}$ số phân tử trong một đơn vị thể tích ở điều kiện đã cho. Từ định luật khí lý tưởng, 1 mol của bất kỳ khí nào chiếm thể tích là:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{(1,0\text{mol})(8,31\text{J/mol.K})(300\text{K})}{(1,0\text{atm})1,01 \times 10^5 \text{Pa/atm}} = 2,47 \cdot 10^{-2} \text{m}^3$$

Số phân tử trong một đơn vị thể tích là:

$$\frac{N}{V} = \frac{nN_A}{V} = \frac{(1,0\text{mol})(6,02 \cdot 10^{23} \text{ptù/mol})}{2,47 \cdot 10^{-2} \text{m}^3} = 2,44 \cdot 10^{25} \text{phân tử/m}^3$$

Phương trình 21-18 cho

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 N/V}} = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})(2,9 \cdot 10^{-10} \text{m})(2,44 \cdot 10^{25} \text{ptù/m}^3)} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{m.} \quad (\text{Đáp số})$$

Nó vào khoảng 380 lần đường kính phân tử. Tính trung bình các phân tử trong chất khí như vậy ở cách nhau khoảng 11 lần đường kính phân tử.

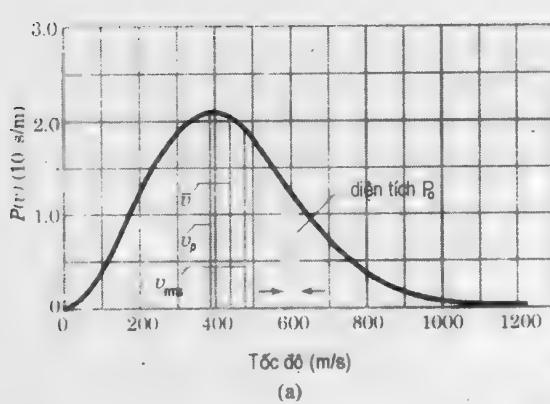
b) Nếu tốc độ trung bình của một phân tử oxy là 450 m/s thì tốc độ va chạm trung bình là bao nhiêu?

Giải: Ta tìm tốc độ này bằng cách chia tốc độ trung bình cho quãng đường tự do trung bình

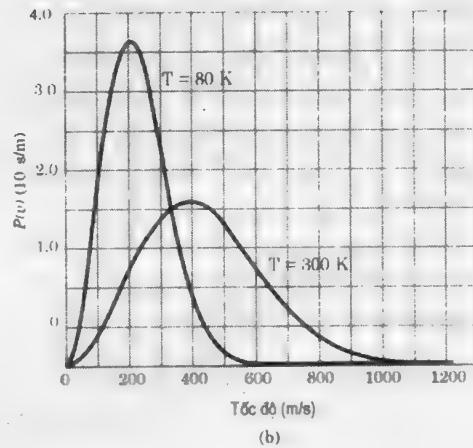
$$\text{Tốc độ va chạm} = \frac{v}{\lambda} = \frac{450 \text{m/s}}{1,1 \cdot 10^{-7}} = 4,1 \cdot 10^9 \text{s}^{-1} \quad (\text{Đáp số})$$

Từ đó ta thấy, tính trung bình, mỗi phân tử oxy tham gia hơn 4 tỷ lần va chạm trong 1 giây.

21.7. SỰ PHÂN BỐ TỐC ĐỘ PHÂN TỬ (TỰ CHỌN)



(a)



(b)

HÌNH 21.8

- a) Sự phân bố tốc độ Maxwell của phân tử oxy tại $T = 300\text{K}$. Ba tốc độ đặc trưng đã được đánh dấu.
- b) Đường cong cho 300K và 80K chú ý rằng các phân tử chuyển động chậm hơn nhiệt độ thấp hơn. Vì đây là những phân bố xác suất nên diện tích dưới mỗi đường cong có giá trị bằng số bằng đơn vị.

Tốc độ căn quân phương v_{rms} cho ta một ý niệm chung về tốc độ phân tử của một chất khí ở một nhiệt độ cho trước. Ta thường muốn biết nhiều hơn. Chẳng hạn bao nhiêu phần của phân tử có tốc độ lớn hơn tốc độ căn quân phương, bao nhiêu có tốc độ gấp hai lần tốc độ căn quân phương. Để trả lời những câu hỏi như vậy, ta cần biết những giá trị khả dĩ của tốc độ các phân tử đã được phân bố như thế vào cho các phân tử. Hình 21.8a trình bày sự phân bố này cho phân tử oxy tại nhiệt độ phòng. Hình 21.8b so sánh nó với sự phân bố ở nhiệt độ $T = 80K$.

Định luật phân bố Maxwell

Năm 1852, nhà vật lý Xcotlen James, Clerk Maxwell lần đầu tiên giải quyết vấn đề tìm sự phân bố tốc độ của các phân tử khí. *Định luật phân bố tốc độ Maxwell* của ông có dạng.

$$P(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{Mv^2}{2RT}} \quad (21-20)$$

Ở đây v là tốc độ phân tử, T nhiệt độ của khí, M khối lượng phân tử gam của khí, R là hằng số khí. Đó là phương trình của đồ thị trên h.21.80b. Đại lượng $P(v)$ trong p.t. 21.20 và 21.8 là *hàm phân bố*, định nghĩa như sau :

Tích số $P(v) \cdot dv$ (là đại lượng không thứ nguyên) là phần số phân tử có tốc độ nằm trong khoảng từ v đến $v+dv$.

Như h.21.8a cho ta thấy, phần số này bằng diện tích của dải có độ cao $P(v)$, độ rộng dv . Diện tích tổng cộng dưới đường cong phân bố, ứng với phần số phân tử mà tốc độ nằm giữa không và vô cùng. Tất cả các phân tử rơi vào loại này, vì vậy mà giá trị của diện tích toàn phần này bằng đơn vị.

Hình 21.8a cũng trình bày tốc độ căn quân phương v_{rms} ($= 438m/s$) và hai số đo khác của sự phân bố tốc độ: Tốc độ có xác suất lớn nhất v_p ($= 395m/s$) là tốc độ mà tại đó $P(v)$ có cực đại. *Tốc độ trung bình* \bar{v} ($= 445m/s$), như tên gọi đã chỉ rõ, là trung bình thông thường của các tốc độ phân tử. Một số nhỏ các phân tử nằm bên phải ở phần đuôi tận cùng của đường cong phân bố có thể có tốc độ gấp vài lần tốc độ trung bình. Sự thật đơn giản này, như chúng sẽ chứng minh tạo nên khả năng cho cǎ mưa lắn nắng.

Mưa

Sự phân bố tốc độ của các phân tử nước trong một cái ao chẳng hạn ở nhiệt độ mùa hè có thể được trình bày bằng một đường cong tương tự như ở hình 21.8a. Đại đa số các phân tử không có đủ động năng để thoát khỏi nước qua bề mặt. Tuy nhiên, một số nhỏ các phân tử rất nhanh, có tốc độ xa xa ở phía đuôi của đường phân bố có thể làm điều đó. Chính các phân tử nước này bay hơi tạo thành mây và mưa.

Vì các phân tử nước nhanh rời bề mặt, mang theo năng lượng nên nhiệt độ của nước còn lại được duy trì bởi nhiệt lượng truyền từ xung quanh tới. Các phân tử nhanh khác, được tạo thành trong các va chạm đặc biệt thuận lợi cho chúng nhanh chóng chiếm chỗ của các phân tử vừa rời chỗ và sự phân bố tốc độ do vậy được duy trì.

Trời nǎng

Bây giờ ta áp dụng đường cong phân bố ở hình 21.8a cho proton tại phần lõi của Mặt Trời. Năng lượng Mặt Trời được cung cấp bởi các quá trình tổng hợp hạt nhân được bắt đầu với sự kết hợp hai proton. Tuy nhiên, các proton đẩy nhau vì mang điện, vì vậy các proton có tốc độ trung bình không có đủ động năng để khởi đầu phản ứng này. Tuy nhiên các proton rất nhanh, với tốc độ trong phần đuôi của đường cong phân bố lại có thể làm điều đó và như vậy, Mặt Trời có thể chiếu sáng.

Bài toán mẫu 21.8

Một bình chứa đầy khí oxy được giữ ở nhiệt độ 300K. Hỏi phần những phân tử có tốc độ nằm trong khoảng 599-601 m/s là bao nhiêu? Khối lượng cho molM của oxy là 0,0320 kg/mol.

Giải. Khoảng tốc độ này Δv ($= 2\text{m/s}$) là khá nhỏ, ta có thể coi như một vi phân và nói rằng phần phân tử ta tìm rất gần với đại lượng $P(v)\Delta v$, trong đó $P(v)$ được tính tại $v = 600\text{m/s}$ điểm chính giữa của khoảng. Xem dải sẫm trên hình 21.8a. Vì vậy, dùng p.t 21.20 ta tìm được:

$$\text{frac} = P(v) \Delta v = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{Mv^2}{2RT}} \Delta v$$

Để thuận lợi cho việc tính toán, ta chia biểu thức này thành 5 thừa số như sau:

$$\text{frac} = (4\pi)(A)(v^2)(e^B)(\Delta v) \quad (21.21)$$

Trong đó A và B là

$$A = \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} = \left(\frac{0,0320\text{kg/mol}}{(2\pi)(8,31\text{J/mol.K})(300\text{K})} \right)^{3/2}$$
$$= 2,92 \cdot 10^{-9} \text{s}^3/\text{m}^3.$$

$$\text{và } B = -\frac{Mv^2}{2RT} = -\frac{(0,0320\text{kg/mol})(600\text{m/s})^2}{(2)(8,31\text{J/mol.K})(300\text{K})} = -2,31.$$

Thay A, B vào p.t 21-21 ta được:

$$\begin{aligned} \text{frac} &= (4\pi)(A)(v^2)(e^B)(\Delta v) \\ &= (4\pi)(2,92 \cdot 10^{-9} \text{s}^3/\text{m}^3)(600 \text{m/s})^2(e^{-2,31})(2 \text{m/s}) = 2,62 \cdot 10^{-3} \quad (\text{Đáp số}) \end{aligned}$$

Vậy, ở nhiệt độ phòng 0,0262% phân tử oxy có tốc độ nằm trong khoảng hẹp giữa 599 và 601 m/s. Nếu dải sẫm được đánh dấu giữa hai mũi tên của hình 21.8a được vẽ theo tỷ lệ của bài toán, nó thực sự là một dải rất hẹp.

Bài toán mẫu 21.9

a/ Tốc độ trung bình v của phân tử khí oxy ở $T = 300K$ là bao nhiêu cho biết khối lượng mol M của oxy là $0,0320 \text{ kg/mol}$.

Giải : Để tìm tốc độ trung bình, ta lấy trọng số mỗi tốc độ v là $P(v)dv$, nó là phần số phân tử có tốc độ nằm trong khoảng từ v đến $v+dv$. Sau đó ta cộng chúng lại (có nghĩa là lấy tích phân) trong toàn dải của tốc độ. Từ đó.

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v P(v) dv \quad (21.22)$$

Bước tiếp theo là thay thế $P(v)$ từ p.t 21.20 và tính tích phân này. Từ bảng tích phân^(*) ta tìm thấy:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (21.23)$$

Thay các giá trị bằng số ta được:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{(8)(8,31J/mol.K)(300K)}{(\pi)(0,0320kg/mol)}} = 445 \text{ m/s.} \quad (\text{Đáp số})$$

b) Giá trị của độ căn quân phương của phân tử oxy là bao nhiêu?

Giải: Ta cũng làm như câu (a) chỉ khác là ta nhân với v^2 (thay cho nhân với v) trọng số $P(v)dv$. Điều này sau khi lấy tích phân cho ta:

$$\bar{v}^2 = \int_0^{\infty} v^2 P(v) dv = \frac{3RT}{M}$$

Tốc độ căn quân phương là căn bậc hai của đại lượng thu được.

$$v_{rms} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (\text{tốc độ căn quân phương}) \quad (21.24)$$

Phương trình 21-24 là đồng nhất với p.t (21-14) ta đã định nghĩa trước kia. Phép tính bằng số cho ta:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{(3)(8,31J/mol)(300K)}{(0,0320kg/mol)}} = 483 \text{ m/s} \quad (\text{Đáp số})$$

c) Tốc độ có xác suất lớn nhất là bao nhiêu?

Giải: Tốc độ có xác suất lớn nhất là tốc độ ứng với $P(v)$ của phương trình 21.20 có giá trị cực trị. Ta tìm được nó bằng cách đặt $\frac{dP}{dv} = 0$ và giải theo v . Làm điều đó (Bạn hãy thử xem)...

Thay bằng số ta có:

$$v_p = \sqrt{\frac{(2)(8,31J/mol.K)(300K)}{(0,0320kg/mol)}} = 395 \text{ m/s} \quad (\text{Đáp số})$$

(*) Một trong những bảng như vậy có thể tìm trong phần A của cuốn cẩm nang quen thuộc CRC về hóa học và vật lý. Xem tích phân 667 dưới tiêu đề về "tích phân hạn định".

Bảng 21-2

CÁC THÔNG SỐ TỐC ĐỘ VỚI SỰ PHÂN BỐ TỐC ĐỘ MAXWELL

Thông số	Ký hiệu	Công thức	Với oxy ở 300K
Tốc độ có xác suất lớn nhất	v_p	$\sqrt{2RT/M}$	395 m/s
Tốc độ trung bình	\bar{v}	$\sqrt{8RT/\pi M}$	445 m/s
Tốc độ căn quân	v_{rms}	$\sqrt{3RT/M}$	483 m/s

21.8. NHIỆT DUNG RIÊNG PHÂN TỬ GAM CỦA KHÍ LÍ TƯỞNG

Trong mục này, ta muốn suy ra một biểu thức cho nội năng của khí lí tưởng. Sau đó ta sẽ dùng kết quả này để suy ra nhiệt dung riêng phân tử gam của khí lí tưởng.

Nội năng E_{int}

Đầu tiên ta giả rằng khí lí tưởng ta xét là khí đơn nguyên tử chẳng hạn như héli, neon hoặc argon. Tiếp theo hãy nhớ lại từ chương 8 rằng nội năng là năng lượng liên kết với chuyển động hỗn độn của các phân tử và các nguyên tử. Vì thế ta giả thiết nội năng E_{int} của khí lí tưởng chỉ đơn giản là tổng động năng chuyển động tịnh tiến của các phân tử khí. Động năng chuyển động tịnh tiến trung bình của một phân tử riêng lẻ chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của chất khí và tính theo p.t 21-16 là $\bar{K} = \frac{3}{2}kT$. Một mẫu gồm n mol của chất khí như vậy chứa nN_A phân tử. Nội năng của mẫu như vậy là:

$$E_{int} = (nN_A) \bar{K} = (nN_A) \left(\frac{3}{2}kT \right)$$

hoặc vì $N_A k = R$, hằng số khí,

$$E_{int} = \frac{3}{2} nRT \text{ (khí lý tưởng đơn nguyên tử)} \quad (21.26)$$

Ta thấy nội năng E_{int} là một hàm số chỉ của nhiệt độ chất khí độc lập với các biến số khác như áp suất, mật độ.

Với p.t 21-26 bây giờ ta có thể suy ra biểu thức nhiệt dung riêng phân tử gam của khí lí tưởng. Ta suy ra hai biểu thức, một cho trường hợp thể tích khí giữ không đổi khi cung cấp nhiệt lượng cho nó, và một cho trường hợp áp suất khí giữ không đổi trong quá trình này. Kí hiệu cho hai trường hợp này lần lượt là C_v và C_p . (Theo quy

ước, chúng được kí hiệu bằng chữ hoa, điều ràng chúng cũng là một loại nhiệt dung riêng).

Nhiệt dung riêng phân tử gam khi thể tích không đổi (Đẳng tích).

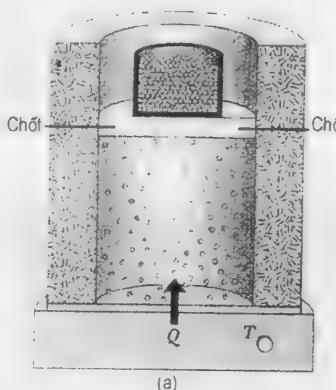
Hình 21.9a trình bày n mol khí lí tưởng ở áp suất p, nhiệt độ T chứa trong một hình trụ có thể tích cố định V. *Trạng thái đầu i* này của chất khí được đánh dấu trên đường cong p-V ở hình 21.9b. Bây giờ giả thiết rằng ta cung cấp cho khí một nhiệt lượng nhỏ Q bằng cách tăng chậm nhiệt độ của bình chứa trên nó đặt hình trụ. Nhiệt độ của khí tăng lên một lượng nhỏ tới $T + \Delta T$ và áp suất của nó tới $p + \Delta p$; đưa chất khí tới *trạng thái cuối f*.

Phương trình định nghĩa của C_v , nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng tích, cùng với p.t 20-3 là

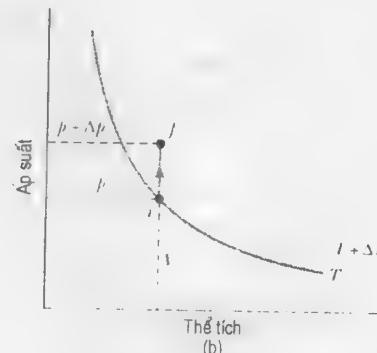
$$Q = nC_v\Delta T \quad (\text{đẳng tích}) \quad (21-27)$$

Thay biểu thức này của Q vào định luật nhiệt động lực thứ nhất ta tìm được:

$$\Delta E_{int} + W = nC_v\Delta T$$



(a)



HÌNH 21-9

a) Nhiệt độ của khí lí tưởng từ T với $T + \Delta T$ trong quá trình thể tích không đổi.

- Nhiệt lượng cung cấp cho hệ, nhưng không thực hiện công.
- b) Quá trình trên giản đồ pV.

Khi thể tích giữ không đổi, $W = 0$ - Vậy tích C_v ta thu được

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{\Delta E_{int}}{\Delta T} \quad (21-28)$$

Từ p.t 21-26 ta thấy $\Delta E_{int}/\Delta T = \frac{3}{2}nR$. Thay kết quả này vào p.t 21-28 ta suy ra

$$C_v = \frac{3}{2}R = 12,5 \text{ J/mol.K} \quad (\text{khí đơn nguyên tử}) \quad (21-29)$$

Bảng 21.3

NHIỆT DUNG RIÊNG PHÂN TỬ GAM

Phân tử	Thí dụ	$C_v(\text{J/mol.K})$
Đơn nguyên tử	Lí tưởng	12,5
	He	12,5
	Ar	12,6
Lưỡng nguyên tử	Lí tưởng	20,8
	N ₂	20,7
	O ₂	20,8
Đa nguyên tử	Lí tưởng	24,9
	NH ₄	29,0
	CO ₂	29,7

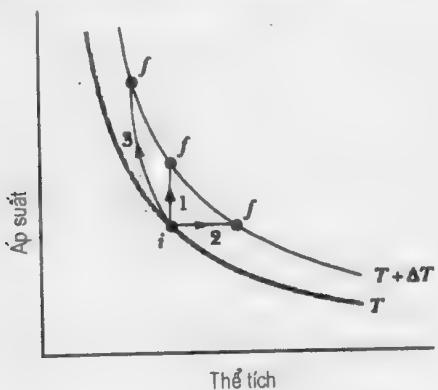
Như bảng 21.3 cho ta thấy, điều tiên đoán này của thuyết động học phân tử phù hợp rất tốt với thực nghiệm cho trường hợp khí thực đơn nguyên tử là trường hợp chúng ta vừa giả thiết.

Những giá trị (tiên đoán và) thực nghiệm của C_v cho khí lưỡng nguyên tử và đa nguyên tử thì cao hơn đáng kể so với khí đơn nguyên tử vì những lí do ta sẽ nêu trong mục 21-9.

Bây giờ, khi đã định nghĩa nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng tích của khí lí tưởng, ta có thể khái quát hoá p.t 21.6 cho nội năng của khí lí tưởng.

$$E_{\text{int}} = nC_vT \quad (\text{khí lí tưởng}) \quad (21-30)$$

Phương trình này áp dụng không chỉ cho khí lí tưởng đơn nguyên tử mà còn cho khí lí tưởng khác (phải dùng giá trị thích hợp của C_v). Chính ngay với p.t 21-26, ta thấy rằng nội năng phụ thuộc chỉ vào nhiệt độ của khí mà không phụ thuộc vào áp suất và khối lượng riêng của nó.



HÌNH 21.10. Ba đường biểu diễn ba quá trình khác nhau đưa một chất khí lý tưởng từ cùng một trạng thái ban đầu ở nhiệt độ T tới một trạng thái cuối f ở nhiệt độ $T + \Delta T$.

Khi một chất khí lí tưởng bị chịu độ biến thiên nhiệt độ ΔT , thì hoặc từ phương trình 21.28 hoặc từ p.t 21-30, ta có thể viết độ biến thiên toàn phần của nội năng của nó.

$$\Delta E_{\text{int}} = nC_v\Delta T \quad (21.31)$$

(khí lý tưởng, quá trình bất kì)

Phương trình này có một thông tin quan trọng: độ biến thiên nội năng của một chất khí lí tưởng bị giam giữ không phụ thuộc vào *loại của quá trình* sinh ra sự thay đổi của nhiệt độ của khí.

Thí dụ ta xét ba đường đi giữa hai đường đẳng nhiệt trên giản đồ p-V của hình 21.10. Đường 1 là quá trình đẳng tích - đường 2 là quá trình đẳng áp (ta sẽ xét). Đường 3 là quá trình không có sự trao đổi nhiệt lượng với môi trường xung quanh hệ (ta sẽ thảo luận nó trong mục 21-11). Dẫu rằng các giá trị của nhiệt lượng Q và công W liên quan

tới ba quá trình đó là khác nhau cũng như các p_f và V_f , các giá trị của ΔE_{int} liên quan tới ba đường đó là như nhau vì chúng có cùng một độ biến thiên nhiệt độ ΔT .

Độ biến thiên nội năng ΔE_{int} của chất khí là như nhau với ba quá trình và cả những quá trình khác, đưa đến kết quả là có cùng một độ biến thiên về nhiệt độ,

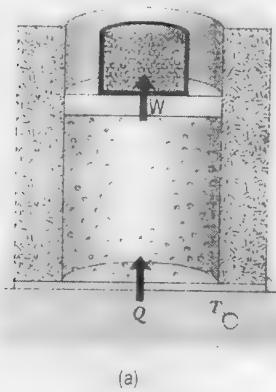
Nhiệt dung riêng phân tử gam khi áp suất không đổi (đẳng áp)

Bây giờ chúng ta giả thiết nhiệt độ của khí tăng lên cùng một lượng nhỏ ΔT như trước, nhưng nhiệt lượng được cấp cho hệ khi áp suất không đổi. Một cơ chế để làm việc đó được trình bày ở hình 21-10. Giản đồ p-V cho quá trình đó được vẽ ở hình 21.11b. Ta có thể đoán ngay lập tức rằng nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng áp C_p mà ta định nghĩa theo.

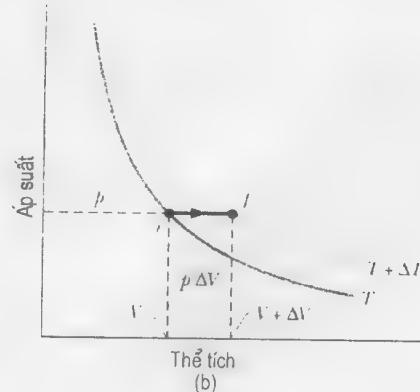
$$Q = nC_p \cdot \Delta T \quad (\text{áp suất không đổi}) \quad (21.32)$$

sẽ lớn hơn nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng tích: năng lượng cần cung cấp không những chỉ làm nhiệt độ tăng mà còn thực hiện công ngoài, đó là nâng pittông nặng ở h.21.11a lên. Để tìm mối liên hệ giữa C_p và C_v , ta bắt đầu từ định luật thứ nhất của nhiệt động lực.

$$\Delta E_{int} = Q - W \quad (21.33)$$



(a)



(b)

HÌNH 21.11

(a) Nhiệt độ của khí lý tưởng tăng từ T đến $T + \Delta T$ trong một quá trình đẳng áp. Nhiệt lượng được cung cấp cho hệ và công được thực hiện để nâng pittông tải trọng

b) Quá trình đó trên giản đồ pV. Công $p\Delta V$ là diện tích có màu cam dưới đường nôi trạng thái đầu i với trạng thái cuối f.

Tiếp theo, ta thay mỗi số hạng trong p.t 21-33. Với ΔE_{int} ta thay từ p.t 21.31, với Q ta thay từ p.t 21.32. Để thay W , chúng ta đầu tiên nhận xét rằng vì quá trình là đẳng áp nên p.t 20-11 cho ta $W = p\Delta V$. Rồi chú ý tới phương trình khí lí tưởng ($pV = nRT$) ta có thể viết:

$$W = p\Delta V = nR\Delta T$$

Thay vào 21-33, rồi chia cho $n\Delta T$, ta tìm thấy

$$C_V = C_p - R$$

hay $C_p - C_v = R$

Điều tiên đoán này của thuyết động học chất khí phù hợp tốt với thực nghiệm, không những chỉ cho khí đơn nguyên tử mà cho khí nói chung, khi khối lượng riêng thấp sẽ có thể coi nó là khí lí tưởng.

Bài toán mẫu 21.10

Một bong bóng nhỏ chứa 5,00 mol hêli (đơn nguyên tử) được nhúng ở một độ sâu nào đó trong nước khi nước (và do đó hêli) tăng nhiệt độ $\Delta T = 20,0^\circ\text{C}$ khi áp suất thay đổi. Kết quả là bong bóng dãn ra.

a) Nhiệt lượng Q cung cấp cho hêli là bao nhiêu trong quá trình dãn và nhiệt độ tăng?

Giải. Coi hêli là khí lí tưởng chúng ta bắt đầu từ p.t 21-32 $Q = nC_p\Delta T$. Sau đó ta dùng các p.t 21-34 và 21-29 và viết :

$$C_p = C_v + R = \frac{3}{2}R$$

ta thu được

$$Q = nC_p\Delta T = n\left(\frac{3}{2}R\right)\Delta T$$

$$= (5,00\text{mol})(2,5)(8,31\text{J/mol.K})(20,0^\circ\text{C}) = 2077,55 \text{ J} \approx 2080 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

b) Độ biến thiên ΔE_{int} của nội năng của hêli là bao nhiêu trong quá trình nhiệt độ tăng?

Giải: Đầu ràng nguyên tử của hêli tăng khi áp suất không đổi (mà không phải thể tích không đổi), ta vẫn dùng p.t 21-31 để tính độ biến thiên nội năng (vì lý do đã nói với phương trình này),

$$\begin{aligned} \Delta E_{int} &= nC_v\Delta T \\ &= (5,00\text{mol})(1,5)(8,31\text{J/mol.K})(20,0^\circ\text{C}) \\ &= 1246,5 \text{ J} \approx 1250 \text{ J} \quad (\text{Đáp số}) \end{aligned}$$

c) Công W do khí hêli thực hiện khi dãn chống lại nước xung quanh trong quá trình tăng nhiệt độ bao nhiêu?

Giải

Dùng định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, ta viết:

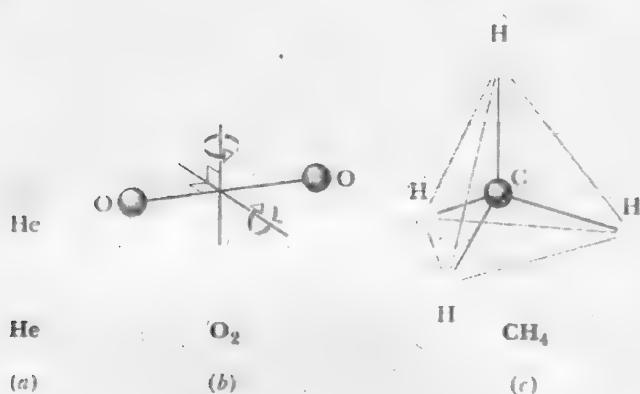
$$W = Q - \Delta E_{int} = 2077,55 - 1246,55 = 8314 \quad (\text{Đáp số})$$

Chú ý là trong khi tăng nhiệt độ, chỉ một phần (1250J) của nhiệt lượng (2080J) truyền cho hêli đơn làm tăng nội năng của nó và do đó làm tăng nhiệt độ của nó. Phần còn lại (831J) được truyền ra bên ngoài hêli thành công mà hêli thực hiện khi dãn. Nếu nước đóng băng thì hêli không dãn được. Khi đó, sẽ tăng cùng một nhiệt độ $20,0^\circ\text{C}$ chỉ đòi hỏi 1250J nhiệt lượng, vì không có công nào được thực hiện bởi hêli.

21.9. SỰ PHÂN BỐ ĐỀU CỦA NĂNG LƯỢNG

Như bảng 21.3. Chỉ rõ, điều tiên đoán $C_v = \frac{3}{2}R$ phù hợp với thực nghiệm với khí đơn nguyên tử, nhưng không đúng cho khí lưỡng nguyên tử và đa nguyên tử. Ta hãy thử giải thích sự không phù hợp này bằng việc xét khả năng các phân tử có hơn một nguyên tử có thể tích trữ được nội năng dưới dạng khác với chuyển động tịnh tiến.

Hình 21-12 trình bày mô hình thuyết động học của hêli (khí đơn nguyên tử) oxy (lưỡng nguyên tử) và mêtan (đa nguyên tử). Dựa trên cấu trúc của chúng sẽ chỉ là hợp lý nếu ta giả thiết phân tử đơn nguyên tử chủ yếu là giống nhau như một chất điểm - nên chỉ có chuyển động quay rất nhỏ quanh một trục bất kì chúng chỉ có thể tích trữ năng lượng dưới dạng chuyển động tịnh tiến. Tuy nhiên phân tử lưỡng nguyên tử và đa nguyên tử lại có thể tích thêm năng lượng đáng kể do chuyển động quay và dao động.



HÌNH 21.12. Mô hình phân tử dùng trong thuyết động học:

- Hê li phân tử đơn nguyên tử độ diển hình
- oxy, một phân tử lưỡng nguyên tử diển hình (Có vẽ hai trục quay; và
- mêtan một phân tử đa nguyên tử diển hình.

nguyên tử (hay $\frac{1}{2}RT$ với mỗi mol).

Với chuyển động tịnh tiến có 3 bậc tự do ứng với ba trục vuông góc dọc theo đó chuyển động ấy có thể xảy ra. Với chuyển động quay phân tử đơn nguyên tử không có bậc tự do nào; còn phân tử lưỡng nguyên tử - quả tạ đôi cứng trên h.21.11b có hai bậc tự do quay ứng với hai trục vuông góc có thể tích trữ năng lượng quay. Phân tử kiểu này không thể trữ năng lượng quay quanh trục nối hạt nhân của hai nguyên tử thành phần vì moment quán tính đối với trục này xấp xỉ bằng không. Còn phân tử với số nguyên tử nhiều hơn hai có sáu bậc tự do, ba ứng với chuyển động quay và ba ứng với chuyển động tịnh tiến.

Chúng ta có thể tính đến các khả năng đó như thế nào một cách định lượng. James Clerk Maxwell là người đầu tiên trình bày phải làm thế nào bằng cách đưa vào lí thuyết phân bố đều về năng lượng.

Mỗi loại phân tử có một số *bậc tự do f* nào đó, đó là những cách độc lập để tích trữ năng lượng. Mỗi bậc tự do như vậy, có trung bình một năng lượng $\frac{1}{2}KT$ liên kết với nó với mỗi

Bảng 21-4

SỐ BẬC TỰ DO CỦA CÁC PHÂN TỬ KHÁC NHAU.

		Số bậc tự do			Nhiệt dung riêng tiên đoán của một mol	
Phân tử	Thí dụ	Tịnh tiến	Quay	Tổng	Cv (p.t. 21-3)	Cp = Cv+R
Đơn nguyên tử	He	3	0	3	3/2R	5/2R
Lưỡng nguyên tử	O ₂	3	2	5	5/2R	7/2R
Đa nguyên tử	CH ₄	3	3	6	3R	4R

Để mở rộng cách làm ở mục 21.8 cho khí lưỡng và đa nguyên tử ta cần phải lặp lại những dẫn giải của phần đó một cách chi tiết, bằng cách thay p.t 21-26. ($E_{int} = \frac{3}{2} nRT$)

bằng $E_{int} = (\frac{f}{2})nRT$, trong đó f là số bậc tự do ghi ở bảng 21.4. Làm như vậy, dẫn đến tiên đoán:

$$C_v = (\frac{f}{2})R = 4,16 f \text{ J/mol.K} \quad (21-35)$$

Nó phù hợp ít nhất với p.t 21-29 với f = 3. Bảng 21.3 cho thấy, sự tiên đoán này phù hợp với thực nghiệm cho phân tử (đơn nguyên tử (f = 3) và phân tử lưỡng nguyên tử (f = 5), nhưng là quá thấp đối với đa nguyên tử.

Bài toán mẫu 21.11

Một cabin thể tích V chứa không khí (coi là khí lí tưởng lưỡng nguyên tử) ở nhiệt độ ban đầu thấp T₁. Sau khi bạn đốt lò sưởi củi, nhiệt độ phòng tăng tới giá trị T₂. Độ biến thiên tổng cộng của nội năng tích trữ của không khí trong cabin là bao nhiêu.

Giải. Tình trạng ở đây khác với các tình trạng ta đã xét trước ở chỗ bình chứa (cabin) là không kín. Nếu có kín thì định luật khí lí tưởng (pV = nRT) cho ta thấy khi nhiệt độ của không khí trong cabin tăng áp suất của nó cũng tăng. Tuy nhiên, vì cabin không hoàn toàn kín nên các phân tử không khí rời cabin qua các khe hở khác nhau khi nhiệt độ không khí tăng lên, vì vậy áp suất không khí trong cabin luôn luôn bằng áp suất không khí ngoài cabin.

Từ p.t 21-31, độ biến thiên nội năng không khí trong cabin là

$$\Delta E_{int} = nC_v\Delta T$$

Dùng định luật khí lí tưởng, ta có thể thay $\frac{\Delta(pV)}{R}$ bằng $n\Delta T$ và tìm được:

$$\Delta E_{int} = \frac{C_v}{R} \Delta(pV)$$

Từ đó ta thấy rằng, vì cả áp suất p lẫn thể tích V của khí bên trong cabin đều không thay đổi, nên:

$$\Delta E_{int} = 0$$

Vậy tại sao trong cabin lại cảm thấy dễ chịu hơn khi nhiệt độ tăng lên. Có ít nhất hai yếu tố tham gia: Bạn có xu hướng bị lạnh là do:

1/ Bạn phát sóng điện từ (bức xạ nhiệt).

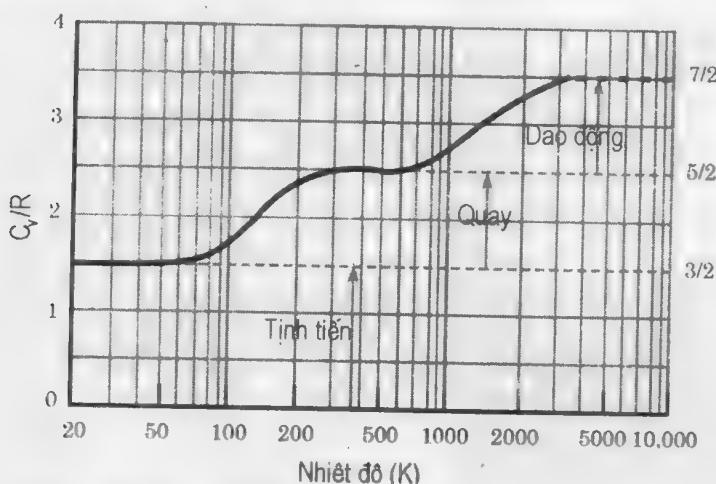
2/ Bạn mất nhiệt lượng cho các phân tử không khí va chạm với bạn. Nếu bạn tăng nhiệt độ phòng (1) bạn sẽ tăng được lượng bức xạ nhiệt mà bạn nhận được từ mặt bên trong của phòng thay thế cho lượng nhiệt bức xạ đi. (2) Bạn tăng động năng của các phân tử không khí va chạm với bạn, thành thử bạn mất nhiệt ít hơn cho chúng.

21.10. MỘT CHÚT VỀ THUYẾT LƯỢNG TỬ

Bước logic tiếp theo là xem phải chăng không có sự phù hợp giữa thuyết động học và thực nghiệm vì ta đã không tính đến nội năng tích trữ dưới dạng dao động phân tử. Tuy nhiên, người ta thấy rằng không đáng cho chúng ta để tiến xa hơn nữa, với sử dụng thuyết động học cổ điển trên cơ học Newton.

Vào giữa thế kỷ trước, James Clerk Maxwell (cùng với một số khác) luôn phấn đấu để xây dựng bức tranh mạch lạc về cấu trúc của một nguyên tử dựa trên thuyết động học và trên việc đo bước sóng ánh sáng phát ra bởi các nguyên tử đó. Công việc của ông không mang lại kết quả và Maxwell đã dẫn đến suy nghĩ là thuyết cổ điển, trong bối

cảnh đó, đã có khuyết điểm nào đó. Maxwell thất bại trong những cố gắng của mình để hiểu biết nguyên tử, viết rằng còn gì khác ngoài việc thừa nhận thái độ "sự ngu dốt được ý thức đầy đủ chính là đạo đầu của mỗi bước tiến lên thực sự trong hiểu biết". Và chỉ trong phần tư đầu tiên của thế kỉ này, với sự phát triển của vật lý lượng tử hiện đại mới có những tiến bộ thực sự trong sự hiểu biết.



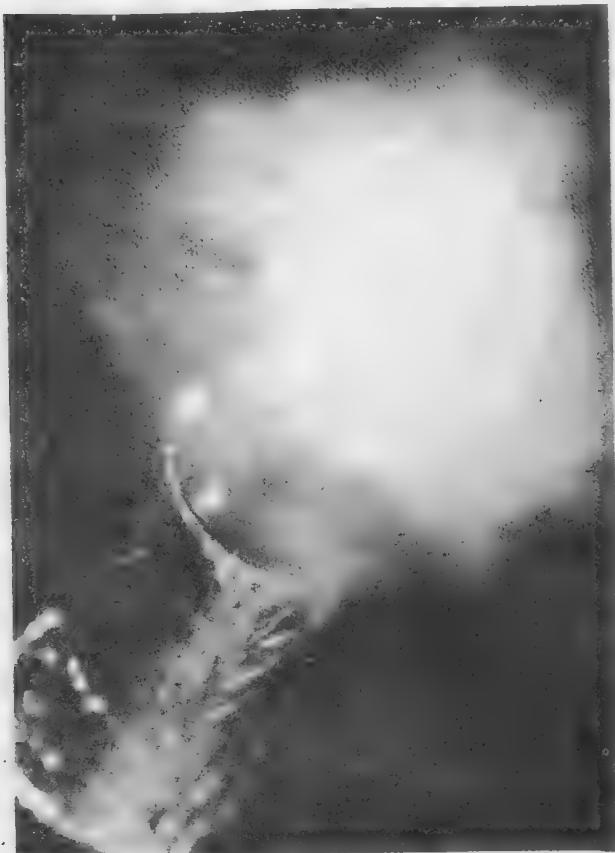
HÌNH 21.13. Đồ thị tỷ số C_v/R theo nhiệt độ với Hydrô vì chuyển động quay và dao động xảy ra với năng lượng lượng tử hoá nên chỉ có chuyển động tịnh tiến là khả dĩ ở nhiệt độ rất thấp. Khi nhiệt độ tăng lên, chuyển động quay có thể được kích thích trong khi va chạm. Khi nhiệt độ cao hơn nữa, chuyển động dao động có thể được kích thích.

Hình 21-13 gợi ý cho ta hiện tượng lượng tử hoá năng lượng là như thế nào (nó là trung tâm của thuyết lượng tử) bằng hình vẽ. Tỷ số C_v/R với khí lưỡng nguyên tử được

vẽ phụ thuộc vào nhiệt độ với thang logarit cho thuận tiện. Ở nhiệt độ thấp khoảng dưới 80K tỉ số này có giá trị 1,5 đặc trưng cho khí đơn nguyên tử. Dẫu rằng hydrô là khí lưỡng nguyên tử, nhưng chỉ có bậc tự do của chuyển động tịnh tiến là được kích thích. Lí do là vì chuyển động quay xảy ra theo năng lượng lượng tử hoá và ở những nhiệt độ thấp này, các phân tử hydrô đơn giản là không có đủ động năng để tạo nên chuyển động quay khi chúng va chạm với nhau. Tuy nhiên khi nhiệt tăng lên sự quay trở nên khả dĩ thành thử ở những nhiệt độ “bình thường” hơn, phân tử hydrô xử sự như các quả tạ đôi rắn như chúng ta giả thiết trong thuyết cổ điển. Khi nhiệt độ cao hơn nữa, chuyển động dao động (chúng cũng chỉ xảy ra với năng lượng lượng tử hoá) trở nên khả dĩ, nhưng các phân tử phân li thành 2 nguyên tử ở nhiệt độ khoảng 3200K.

Như bạn có thể thấy, vật lí lượng tử tính toán chi tiết được toàn bộ hiện tượng này. Vì vậy, nếu nhìn lại phía sau thì không phải là sai trái khi nói rằng các hạt giống của vật lí lượng tử nằm trong thuyết động học chất khí.

21-11. SỰ DẪN ĐOẠN NHIỆT CỦA CHẤT KHÍ LÍ TƯỞNG



Khi khí cacbonic trong chai sâm banh lạnh (hoặc nước sôda bát thịnh linh) được giải phóng, nó không chỉ phun ra luồng bụi chất lỏng mà còn có thể tạo ra sương mù. Sự dẫn của nó nhanh, nhanh như dẫn đoạn nhiệt và nội năng giảm đột ngột làm nó lạnh đi khiến cho hơi nước trong nó ngưng tụ thành những giọt sương nhỏ.

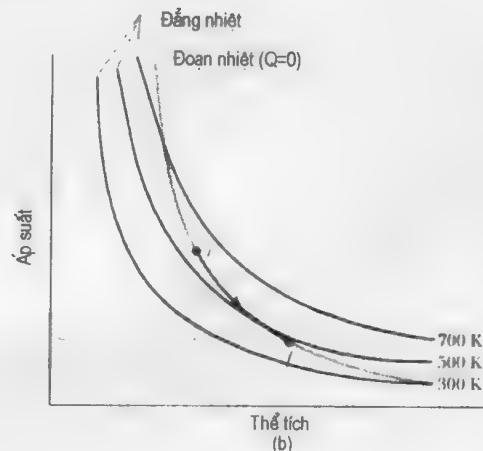
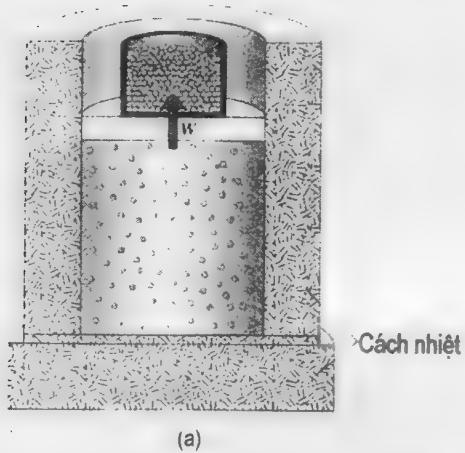
Ta đã thấy trong mục 18.2 rằng âm thanh truyền qua không khí và các chất khí khác như là một dãy liên tiếp các sự nén, dẫn xảy ra nhanh tới mức không đủ thời gian để nhiệt lượng truyền từ vùng này sang vùng khác của môi trường. Ta cũng đã thấy ở mục 20-6, những quá trình trong đó $Q = 0$ là các quá trình *đoạn nhiệt*. Chúng ta có thể đảm bảo rằng $Q = 0$ hoặc là thực hiện quá trình rất nhanh (như trong sóng âm) hoặc thực hiện chậm, trong môi trường cách nhiệt cực tốt. Ta xét xem, thuyết động học phải nói gì về những quá trình này.

Hình 21.14a trình bày một xylanh cách nhiệt chứa một chất khí lỏng tưởng đặt trên một giá đỡ cách nhiệt. Bỏ bớt tải trọng khỏi pittông ta có thể cho phép khí dần đoạn nhiệt. Khi thể tích tăng lên, cả áp suất và nhiệt độ đều giảm. Ta sẽ chứng minh dưới đây mối liên hệ giữa áp suất và thể tích trong quá trình đoạn nhiệt là:

$$pV^\gamma = \text{const} \quad (\text{quá trình đoạn nhiệt}) \quad (21-36)$$

Trong đó $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, tỉ số các nhiệt dung riêng phần tử gam của khí. Phương trình 21-6 cho ta thấy trên giản đồ pV , như ở hình 21-14b quá trình xảy ra dọc theo một đường (gọi là đường đoạn nhiệt), được xác định bởi $p = \frac{\text{hằng số}}{V^\gamma}$. Khi chất khí đi từ trạng thái đầu i tới trạng thái cuối f ta có thể viết lại p.t 21-36 như sau:

$$p_i V_i^\gamma = p_f V_f^\gamma \quad (\text{quá trình đoạn nhiệt}) \quad (21-37)$$



HÌNH 24-14

- a) Thể tích khí lỏng tăng khi bỏ tải trọng ra khỏi pittông. Quá trình là đoạn nhiệt $Q = 0$.
- b) Quá trình trên giản đồ $p - V$ chú ý rằng nó thực hiện dọc theo một trường đoạn nhiệt.

Chúng ta cũng có thể viết một quá trình đoạn nhiệt nhiệt theo biến số T và V . Muốn vậy, dùng phương trình khí lỏng tưởng ($pV = nRT$), khử p khỏi p.t 21-36 ta thu được:

$$\left(\frac{nRT}{V}\right)V^\gamma = \text{const}$$

Vì n , R là những hằng số ta có thể viết lại phương trình dưới dạng:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} \quad (\text{quá trình đoạn nhiệt}) \quad (21-38)$$

Trong đó hằng số khác với trong p.t 21-36.

Khi chất khí đi từ một trạng thái đầu i tới trạng thái cuối f, ta có thể viết lại p.t (21-38) như sau:

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1} = \text{(quá trình đoạn nhiệt)} \quad (21-39)$$

Tỉ số nhiệt dung riêng γ

Tỉ số γ có thể đo trực tiếp bằng nhiều cách khác nhau mà không cần phải đo riêng rẽ hai nhiệt dung riêng phần tử gam C_p và C_v . Biểu thức lí thuyết của nó cũng có thể tìm được từ thuyết động học. Muốn vậy, ta tổ hợp các p.t 21-35. ($C_v = \frac{1}{2} fR$) và p.t 21-34 ($C_p - C_v = R$) và thấy:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{R + C_v}{C_v} = \frac{R + \frac{1}{2} fR}{\frac{1}{2} fR} = 1 + \frac{2}{f} \quad (21-40)$$

Kết quả này phù hợp tốt với thực nghiệm cho các khí đơn nguyên tử (có $f = 3$ và do đó $\gamma = 1,67$) và các khí lưỡng nguyên tử (có $f = 5$) và do đó $\gamma = 1,40$)

[†] Chứng minh phương trình 21-36

Giả thiết bạn bỏ ra một ít đạn chì từ pittông trong hình 21.14a, cho phép khí lí tưởng đầy pittông và các viên đạn chì còn lại phía trên và do đó làm tăng thể tích một lượng dV . Vì độ biến thiên thể tích nhỏ ta có thể coi áp suất khí lên pittông là không đổi trong quá trình trong khi thay đổi. Giả thiết đó, cho phép ta nói công dW thực hiện bởi khí trong quá trình tăng thể tích là $p.dV$ từ p.t 20.13, định luật thứ nhất của nhiệt động lực học có thể viết:

$$dE_{int} = Q - pdV \quad (21-41)$$

Vì khí được cách nhiệt (cho nên quá trình dẫn là đoạn nhiệt) ta thay $Q = 0$ sau đó ta dùng p.t 21-31 để thay nC_vdT cho dE_{int} . Với các thay thế như vậy, và sau một vài phép biến đổi ta có:

$$ndT = -\left(\frac{p}{C_v}\right)dV \quad (21-42)$$

Từ định luật khí lí tưởng ($pV = nRT$) ta có:

$$pdV + Vdp = nRdT$$

Thay R bằng $C_p - C_v$ ta được.

$$ndT = \frac{pdV + Vdp}{C_p - C_v} \quad (21-43)$$

Cân bằng các p.t 21-42 và 21-43, và sau khi biến đổi ta có:

$$\frac{dp}{p} + \left(\frac{C_p}{C_v}\right)\frac{dV}{V} = 0$$

Thay tỉ số các nhiệt dung phân tử gam bằng γ và lấy tích phân (xem phụ lục G) ta suy ra:

$$\ln p + \gamma \ln V = \text{const}$$

$$\text{hay } PV^\gamma = \text{const} \quad (21-44)$$

So với p.t 21-36 đó là điều ta phải chứng minh,

Bảng 21.5

Đường đi trên hình 21.15	Đại lượng là hằng số	Loại quá trình	<u>Một vài kết quả đặc biệt</u> $(\Delta E_{int} = Q - W \text{ và } \Delta E_{int} = nC_v \Delta T$ cho mọi đường đi)
1	p	Đẳng áp	$Q = nC_p \Delta T; W = p \Delta V$
2	T	Đẳng nhiệt	$Q = W = nR T \ln(V_f/V_i); \Delta E_{int} = 0$
3	$pV^\gamma, TV^{\gamma-1}$	Đoạn nhiệt	$Q = 0; W = -\Delta E_{int}$
4	V	Đẳng tích	$Q = \Delta E_{int} = nC_v \Delta T; W = 0$

Bài toán mẫu 21.12

Trong bài toán mẫu 21-12 một mol oxy (giả thiết là khí lí tưởng) dãn đẳng nhiệt ($\delta 310K$) từ thể tích ban đầu là $12l$ tới thể tích cuối là $19l$. Hỏi nhiệt độ cuối của khí là bao nhiêu, nếu khí bị dãn đoạn nhiệt tới cùng một thể tích cuối? Khí oxy (O_2) là lưỡng nguyên tử, vì vậy $\gamma = 1,40$.

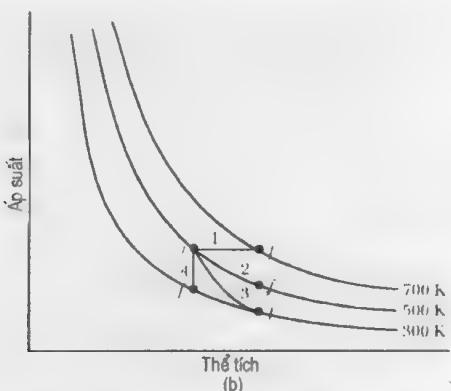
Giải: Từ p.t 21-39 ta có:

$$T_f = \frac{T_i V_i^{\gamma-1}}{V_f^{\gamma-1}} = \frac{(310K)(12l)^{1,40-1}}{(19l)^{1,40-1}} = 258K \quad (\text{Đáp số})$$

Sự việc khí bị lạnh đi (từ $310-258K$) có nghĩa là nội năng của nó giảm tương ứng. Sự mất nội năng là để thực hiện công khi dãn (chẳng hạn để nâng pittông có tải trọng trên hình 21-14a).

CÁCH GIẢI TOÁN

Chiến thuật 3. Tổng kết bằng đồ thị



HÌNH 21.15. Một giản đồ p - V trình bày bốn quá trình đặc biệt mà khí lí tưởng có thể thực hiện.

Trong chương này ta đã thảo luận bốn quá trình đặc biệt mà khí lí tưởng chịu biến đổi. Một thí dụ cho mỗi quá trình được trình bày trên hình 21.15 và một vài đặc trưng liên quan được cho trong bảng 21-5, bao gồm hai quá trình (Đẳng áp và đẳng tích) chúng ta không sử dụng đến nhưng bạn có thể gặp trong các giáo trình khác.

ÔN TẬP VÀ TÓM TẮT

Thuyết động học chất khí

Thuyết động học chất khí liên hệ đến tính chất *vĩ mô* của các chất khí (thí dụ áp suất, nhiệt độ) với các tính chất *vi mô* của các phân tử khí (thí dụ tốc độ và động năng).

Số Avôgadrô

Một mol của một chất chứa N_A (số Avôgadrô) đơn vị cơ bản (thông thường là nguyên tử hoặc phân tử) trong đó N_A tìm được bằng thực nghiệm là:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad (\text{Số Avôgadrô}) \quad (21-1)$$

Một phân tử gam M của một chất bất kì là khối lượng của 1 mol chất đó.

Khí lí tưởng

Một chất *khí lí tưởng* là chất khí trong đó áp suất p, thể tích V, và nhiệt độ T liên hệ với nhau theo:

$$pV = nRT \quad (\text{định luật khí lí tưởng}) \quad (21-4)$$

Ở đây n là số mol chất khí ta xét và R (= 8,31 J/mol K) là *hằng số khí*.

Công trong quá trình dẫn đằng nhiệt.

Công thực hiện bởi một chất khí lí tưởng trong sự biến đổi đằng nhiệt (T là hằng số) từ thể tích V_i tới thể tích V_f là:

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \quad (\text{Khí lí tưởng, quá trình đằng nhiệt}) \quad (21-8)$$

Áp suất, nhiệt độ và vận tốc phân tử

Áp suất tác dụng bởi n mol khí lí tưởng, tính theo vận tốc các phân tử của nó là:

$$p = \frac{nMv_{rms}^2}{3V} \quad (21-13)$$

Ở đây $v_{rms} = \sqrt{\bar{v}^2}$ là vận tốc căn quân phương của các phân tử khí. Từ p.t 21-4 ta có:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (21-14)$$

Nhiệt độ và động năng

Động năng tịnh tiến trung bình \bar{K} của một phân tử khí lí tưởng là

$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT \quad (21-16)$$

Ở đây k ($= \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) là *hằng số Boltzman*.

Quãng đường tự do trung bình

Quãng đường tự do trung bình λ của một phân tử khí là quãng đường trung bình giữa hai va chạm liên tiếp và tính theo công thức.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 N/V}} \quad (21-18)$$

Ở đây N/V là số phân tử trong một đơn vị thể tích và d là đường kính của phân tử đó.

Phân bố vận tốc Maxwell $P(v)$ là một hàm số sao cho $P(v) dv$ cho ta phần số các phân tử có vận tốc nằm trong khoảng v và $v + dv$.

$$P(v) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} v^2 e^{-Mv^2/2RT} \quad (21-20)$$

Ba số đo sự phân bố vận tốc trong các phân tử khí là:

$$v_p = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \quad (\text{vận tốc có xác suất lớn nhất}) \quad (21-25)$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{M}} \quad (\text{vận tốc trung bình}) \quad (21-23)$$

Và vận tốc căn quân phương tính ở trên theo pt(21.14)

Nhiệt dung riêng phân tử gam

Nhiệt dung riêng phân tử gam C_v của một chất khí khi thể tích không đổi là:

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{Q}{\Delta T} \quad (21-27)$$

Trong đó Q là nhiệt lượng truyền cho hay lấy đi từ chất khí và T là độ biến thiên nhiệt độ của chất khí. C_v có thể viết dưới dạng.

$$C_v = \frac{1}{n} \frac{\Delta E_{int}}{\Delta T} \quad (21-28)$$

trong đó, E_{int} là nội năng của chất khí. Với khí lí tưởng E_{int} phụ thuộc vào nhiệt độ của khí có dạng.

$$E_{int} = n C_v T \quad (\text{khí lí tưởng}) \quad (21-30)$$

Như vậy nếu một chất khí lí tưởng bị giam kín chịu một độ biến thiên nhiệt độ gây ra do một quá trình bất kì thì, nội năng của nó biến thiên là:

$$\Delta E_{int} = n C_v \Delta T \quad (\text{khí lí tưởng, quá trình bất kì}) \quad (21-31)$$

Định luật thứ nhất của nhiệt động lực học cho ta mối liên hệ:

$$C_p - C_v = R \quad (21-34)$$

trong đó C_p là nhiệt dung phân tử gam *đẳng áp* được định nghĩa theo:

$$C_p = \frac{1}{n} \frac{Q}{\Delta T} \quad (21-32)$$

trong đó Q là nhiệt lượng truyền cho hoặc lấy đi từ chất khí, ΔT là độ biến thiên nhiệt độ của khí.

Định lí phân bố đều

Chúng ta tìm chính giá trị C_v bằng định lý *phân bố đều năng lượng*, khẳng định rằng, mỗi bậc tự do của nguyên tử (nghĩa là mỗi cách độc lập mà nó có thể tích trữ năng lượng) có một năng lượng liên kết với nó tính trung bình bằng $\frac{1}{2}kT$ cho một nguyên tử ($= \frac{3}{2}RT$ cho mỗi mol). Nếu f là số bậc tự do, thì

$$E_{int} = \frac{f}{2}nRT \text{ và } C_v = \frac{f}{2}R = 4,16 f \text{ J/mol} \quad (21-35)$$

với khí đơn nguyên tử $f = 3$ (ba bậc tự do tịnh tiến với khí lưỡng nguyên tử $f = 5$ (ba bậc tự do tịnh tiến và hai bậc tự do quay). Bảng 21-3 cho thấy rằng các giá trị của C_v tính theo p.t 21-35 với khí đơn nguyên tử và lưỡng nguyên tử phù hợp tốt với thực nghiệm.

Cv và Vật li lượng tử

Sự phụ thuộc của C_v vào nhiệt độ đối với khí thực là bằng chứng hùng hồn cho bản chất lượng tử của chuyển động quay. Ở nhiệt độ cao, C_v là đúng như tiên đoán theo nguyên lí phân bố đều. Tuy nhiên, ở nhiệt độ thấp va chạm giữa các phân tử không đủ mạnh để kích thích chuyển động quay lượng tử hoá (xem hình 21-13).

Sự dẫn đoạn nhiệt

Khi một chất khí lí tưởng chịu một độ biến thiên thể tích đoạn nhiệt (một sự thay đổi mà $Q = 0$), thì thể tích và áp suất của nó liên hệ với nhau theo

$$pV^\gamma = \text{const} \text{ (quá trình đoạn nhiệt)} \quad (21.36)$$

trong đó γ ($= \frac{C_p}{C_v}$) là tỉ số các nhiệt dung riêng phân tử gam của chất khí.

CÂU HỎI

1. Trong thuyết động học, ta giả thiết trong chất khí có một số lớn phân tử. Các chất khí thực xử sự như khí lí tưởng khi khối lượng riêng thấp. Những điều khẳng định đó có mâu thuẫn không?. Nếu không kết luận gì có thể rút ra từ đó?

2. Chúng ta giả thiết rằng va chạm của các phân tử khí với thành bình chứa chúng là đàn hồi. Thực tế va chạm có thể không đàn hồi. Tại sao điều đó sẽ không có gì khác chừng nào mà thành bình còn có cùng nhiệt độ với chất khí?

3. Trong một ngày ẩm trời, một vài người nói "không khí nặng nề". Khối lượng riêng của không khí ẩm so với không khí khô có cùng áp suất và nhiệt độ khác nhau thế nào?

4. Tốc độ trung bình của các phân tử không khí tính ở nhiệt độ phòng nằm ở chỗ nào trong khoảng 0 - 2m/s (tốc độ đi bộ); 30m/s (ô tô phóng nhanh), 500m/s (máy bay siêu thanh) $1,1 \cdot 10^4$ m/s (tốc độ thoát li khỏi vỏ Trái Đất) và $3 \cdot 10^8$ m/s (tốc độ ánh sáng)?

5. Hai phòng có kích thước bằng nhau, thông với nhau bằng một cửa mở. Tuy nhiên, nhiệt độ trung bình trong hai phòng được duy trì tại các giá trị khác nhau. Trong phòng nào có nhiều không khí hơn?

6. Chuyển động phân tử được duy trì không do ngoại lực sẽ tiếp tục mãi mãi, không có dấu hiệu gì về sự giảm vận tốc. Tại sao ma sát không làm cho các hạt nhỏ ngừng lại như là đối với các chuyển động khác?

7. Có lí lẽ gì cho việc bỏ qua độ biến thiên thế năng hấp dẫn của các phân tử trong chất khí?

8. Chúng ta giả thiết rằng lực tác dụng bởi các phân tử khí lên thành bình là dừng theo thời gian. Chứng minh (lí giải) điều đó như thế nào?

9. Vận tốc trung bình của các phân tử khí phải bằng không nếu chất khí xét toàn bộ và bình chứa nó không chuyển động tịnh tiến. Giải thích vì sao tốc độ trung bình có thể khác không?

10. Xét một quả bóng "gôn" đứng yên, nóng đặt tên mô cát và một quả bóng "gôn" lạnh vừa chuyển động khỏi mô cát do bị đánh. Động năng tổng cộng của các phân tử trong các quả bóng đối với mô cát có thể bằng nhau trong hai trường hợp. Giải thích tại sao? Sự khác nhau giữa hai trường hợp là gì?

11. Chứng minh một sự kiện là áp suất của chất khí phụ thuộc vào bình phương tốc độ các phân tử của nó bằng cách giải thích sự phụ thuộc của áp suất vào tần số va chạm và động lượng của các hạt.

12. Tại sao nhiệt độ sôi của một chất tăng theo áp suất?

13. Tốc độ âm thanh trong chất khí liên hệ với áp suất và nhiệt độ của chất khí như thế nào?

14. Ở cao trên mặt Trái Đất, nhiệt độ của khí được thông báo vào cỡ 1000K. Tuy nhiên một người ở trong môi trường như thế lại bị lạnh cứng mà chết chứ không bay hơi. Hãy giải thích.

15. Tại sao bầu khí quyển quanh Trái Đất không bị rò? Tại phía trên của bầu khí quyển các phân tử do ngẫu nhiên có tốc độ vượt quá tốc độ thoát li. Phải chăng đó chỉ là vấn đề thời gian?

16. Titan, một trong nhiều mặt trăng của sao Thổ có bầu khí quyển, nhưng Mặt Trăng của ta lại không có. Tại sao?

17. Khi cung cấp nhiệt cho băng, nó nóng chảy trở thành chất lỏng và chất lỏng có thể sôi để trở thành hơi hay khí. Tuy nhiên khí dioxide cacbon rắn bị nung nóng nó lại bay hơi trực tiếp - ta nói nó thăng hoa - mà không qua trạng thái lỏng. Làm thế nào để có thể sản xuất dioxide cacbon lỏng?

18. Khái niệm về nhiệt độ có thể áp dụng cho chân không hay không? Xét khoảng không gian giữa các hành tinh chẳng hạn.

19. Ta có bằng chứng trực tiếp nào về sự tồn tại của các nguyên tử? Có bằng chứng gián tiếp nào?

20. Bạn có thể dự đoán, bằng cách nào đó rằng thành phần khí quyển thay đổi theo độ cao?

21. Ta thường nói rằng ta nhìn thấy hơi nước thoát ra từ vòi một ám đun nước khi nước sôi. Tuy nhiên, hơi nước bẩn thân nó là khí không màu. Vậy thực sự ta nhìn thấy gì?

22. Tại sao khói bốc lên mà không chìm xuống từ một ngọn nến? Giải thích bằng ngôn ngữ sự và chạm phân tử?

23. Một chất khí, mà các phân tử đúng là chất điểm hình học có tuân theo định luật khí lí tưởng không?

24. Nếu bạn đổ đầy nước vào đĩa tách nhiệt độ phòng trong các điều kiện thường nó sẽ bay hơi hoàn toàn, Thật dễ dàng tin rằng một số trong các phân tử có năng lượng lớn có thể thoát khỏi mặt nước, nhưng làm thế nào mà tất cả chúng đều thoát ra?

Trong số chúng tuyệt đại đa số sẽ không đủ năng lượng thoát ra.

25. Giải thích định tính mối liên hệ giữa quãng đường tự do trung bình của các phân tử amôniac và thời gian cần thiết để người thấy mùi amôniac khi bình được mở trong phòng?

26. Hãy liệt kê các cách làm tăng hiệu quả số va chạm phân tử trong một đơn vị thời gian của chất khí?

27. Nếu các phân tử của một chất khí không phải là hình cầu, thì d trong p.t 21-18 với quãng đường tự do trung bình có nghĩa gì? Chất khí nào mà phân tử coi như gần giống quả cầu rắn nhất?

28. Hai thành đối diện của một bình chứa khí được giữ ở nhiệt độ khác nhau. Không khí giữa hai tấm kính cửa sổ là một thí dụ quen thuộc. Hãy mô tả bằng ngôn ngữ của thuyết động học cơ chế dẫn nhiệt qua chất khí.

29. Một chất khí chỉ có thể truyền những âm có bước sóng dài so với quãng đường tự do trung bình? Bạn có thể giải thích điều đó không? Mô tả một tình trạng trong đó sự hạn chế này là quan trọng.

30. Kiểm chứng một cách định tính điều phát biểu rằng, trong một hỗn hợp các phân tử khác loại hoàn toàn cân bằng, mỗi loại phân tử có cùng một phân bố vận tốc Maxwell như là khi không có các loại phân tử khác.

31. Có thể có một chất khí gồm các phân tử mà tất cả cùng một tốc độ?

32. Quan sát nào là bằng chứng rõ ràng rằng không phải tất cả các phân tử của một vật chuyển động với cùng một tốc độ ở một nhiệt độ cho trước?

33. Phân số phân tử trong một giới hạn cho trước Δv của vận tốc căn quân phương giảm khi nhiệt độ chất khí tăng. Giải thích.

34. (a) Có phải một nửa số phân tử trong chất khí ở trạng thái cân bằng nhiệt có vận tốc lớn hơn v_p ? Hơn \bar{v} ? Hơn v_{rms} ?

(b) Vận tốc nào v_p , \bar{v} , v_{rms} ứng với một phân tử có động năng trung bình?

35. Nhớ rằng, nội năng của một vật gồm động năng và thế năng của các hạt của nó, vậy làm thế nào bạn phân biệt giữa nội năng của một vật và nhiệt độ của nó?

36. Chất khí trong hai bình chứa giống nhau ở áp suất 1atm và nhiệt độ phòng. Một bình chứa khí hêli (đơn nguyên tử, khối lượng một mol là 4 g/mol) và một bình chứa cùng một số mol của khí argon (đơn nguyên tử, khối lượng một mol là 40 g/mol). Nếu cung cấp 1 cal nhiệt lượng cho khí hêli thì nhiệt độ của nó tăng một lượng nào đó. Hỏi cần phải cung cấp cho argon một nhiệt lượng bao nhiêu để nhiệt độ tăng thêm cùng một lượng như với hêli?

37. Giải thích làm thế nào để giữ nhiệt độ của một chất khí không đổi trong một quá trình nhiệt động lực?

38. Tại sao ta thường kích sự phát xạ các nguyên tử khí bằng sự phóng điện hơn là bằng phương pháp nhiệt?

39. Một lượng nào đó của một chất khí lí tưởng bị nén tới thể tích bằng một nửa giá trị ban đầu. Quá trình có thể là đoạn nhiệt, đẳng nhiệt, đẳng áp (áp suất không đổi). Quá trình nào cần có nhiều công cơ học nhất?

40. Giải thích tại sao nhiệt độ chất khí giảm trong quá trình dẫn đoạn nhiệt?

41. Nếu không khí nóng dâng lên, tại sao ở đỉnh núi thì lạnh hơn ở gần mặt biển (Gợi ý: không khí dẫn nhiệt rất kém).

42. Một khí cầu bằng cao su kín chứa khí rất nhẹ. Khí cầu thả ra và nó bay lên trong khí quyển. Mô tả và giải thích nhiệt độ của khí và kích thước của khí cầu.

BÀI TẬP VÀ BÀI TOÁN

Mục 21.2. số Avôgadrô

1E. Vàng có khối lượng nguyên tử gam là 179g/mol . Xét một mẫu $2,50\text{g}$ vàng nguyên chất.

a. Tính số mol vàng?

b. Có bao nhiêu nguyên tử vàng trong mẫu?

2E. Tìm khối lượng tính theo kg của $7,50 \cdot 10^{24}$ nguyên tử asen có khối lượng phân tử gam là $74,9\text{ g/mol}$.

3P. Nếu các phân tử nước trong $1,00\text{ g}$ nước được phân bố đều trên bề mặt Trái Đất, thì có bao nhiêu phân tử như vậy trên 100cm^2 bề mặt Trái Đất.

4P. Xét câu sau đây: "Một... nước chứa một số phân tử nhiều gấp... số... nước trong tất cả các đại dương". Từ đơn nào thích hợp nhất điền vào cho cả hai chỗ trống trong câu: giọt nước, thia cà phê, thia xúp, cốc nước, một lít thạch anh (quart) thùng hay tấn. Đại dương chiếm 75% bề mặt Trái Đất và có độ sâu trung bình khoảng 5km (Theo Edward M.Purcell).

5P. Một nhà khoa học lối lạc đà viết: "Số phân tử mục có trong một chữ viết câu này không những đủ để cung cấp cho mỗi người trên Trái Đất một phân tử mà còn đủ

cho mỗi sinh linh nếu mỗi ngôi sao trong hệ thiên hà của chúng ta có một hành tinh cũng đông dân như Trái Đất".

Kiểm tra lại lời phát biểu này. Giả thiết mẫu mực (có khối lượng phân tử gam là 18 g/mol) có khối lượng 1 µg, dân số trên Trái Đất là $5 \cdot 10^9$, người và số ngôi sao trong hệ thiên hà của chúng ta là chừng 10^{11} .

Mục 21.3. Khi lí tưởng

6E. (a) Thể tích của 1,00 mol khí lí tưởng ở điều kiện tiêu chuẩn là áp suất 1,00 atm ($=1,01 \times 10^5$ Pa) và nhiệt độ 0°C ($= 273\text{K}$) là bao nhiêu?

(b) Chứng minh số phân tử trong mỗi centimét khối không khí ở điều kiện chuẩn (số Loschmidt) là $2,69 \cdot 10^{19}$.

7E. Tính

a) số mol,

b) số phân tử trong một chất khí chứa trong thể tích $1,00\text{cm}^3$ ở áp suất 100Pa và nhiệt độ 220K.

8E. Chân không tốt nhất thu được trong phòng thí nghiệm ứng với áp suất $1,000 \cdot 10^{-18}$ atm hay $1,01 \cdot 10^{-13}$ Pa có bao nhiêu phân tử trong 1cm^3 chân không như vậy ở nhiệt độ 293K.

9E. Một lượng khí lí tưởng ở $10,0^\circ\text{C}$ và áp suất 100kPa chiếm một thể tích $2,50\text{m}^3$

(a) có bao nhiêu mol chất khí này?

(b) Nếu áp suất bây giờ tăng lên thành 300kPa, nhiệt độ tăng lên đến $30,0^\circ\text{C}$ thì thể tích khí là bao nhiêu? Giả thiết không có khí bị dò.

10E. Khí oxi có thể tích 1000cm^3 ở nhiệt độ $40,0^\circ\text{C}$ và áp suất $1,01 \cdot 10^5$ Pa dồn tới thể tích là 1500 cm^3 và áp suất $1,06 \cdot 10^5$ Pa. Tìm (a) Số mol oxi trong hệ, (b) Nhiệt độ cuối của nó.

11E. Một lốp ô tô có thể tích 1000in^3 chứa không khí ở áp suất kế $24,0 \text{ lb/in}^2$ khi nhiệt độ là $0,00^\circ\text{C}$. Hỏi áp suất kế là bao nhiêu khi nhiệt độ tăng tới $27,0^\circ\text{C}$, thể tích tăng tới 1020 in^3 (gợi ý- không cần thiết đổi từ hệ đơn vị Anh sang hệ SI. Tại sao? Cho $P(\text{atm}) = 14,7 \text{ lb/in}^2$).

12E. Tính công thực hiện bởi tác nhân bên ngoài trong quá trình nén đẳng nhiệt 1 mol oxy từ thể tích $22,4\text{l}$ ở 0°C , áp suất 1,000 atm tới thể tích 16,8l.

13P. (a) Số phân tử trong mỗi mét khối không khí ở 20°C và áp suất 1,0atm ($=1,01 \cdot 10^5$ Pa) là bao nhiêu? (b) Khối lượng của 1m^3 không khí đó là bao nhiêu? Giả thiết 75% phân tử là Nitơ (N_2) và 25% phân tử là oxy (O_2).

14P. Áp suất p, thể tích V và nhiệt độ T của một chất nào đó liên hệ với nhau theo công thức,

$$p = \frac{AT - BT^2}{V}$$

Tìm biểu thức của công thực hiện bởi chất này, nếu nhiệt độ biến thiên từ T_1 và T_2 trong khi áp suất giữ nguyên.

15P. Không khí chiếm $0,14\text{m}^3$ ở áp suất áp kế $1,03 \cdot 10^5\text{Pa}$ dãn đẳng nhiệt tới áp suất khí quyển, sau đó được làm lạnh ở áp suất không đổi tới khi nó có thể tích ban đầu. Tính công mà khí thực hiện.

16P. Xét một khối lượng khí lí tưởng cho trước. Hãy so sánh các đường đẳng áp, đẳng tích, đẳng nhiệt trên: (a) giản đồ p-V; (b) giản đồ p - T và (c) giản đồ V - T; (d) Các đường cong đó phụ thuộc vào khối lượng khí chọn trước như thế nào?

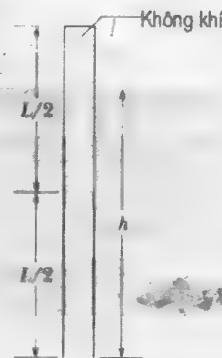
17P. Một bình chứa hai loại khí lí tưởng. Có hai mol của khí thứ nhất với khối lượng phân tử gam là M_1 . Khí thứ hai có khối lượng phân tử gam là $M_2 = 3M_1$, và 0,5 mol tham gia. Bao nhiêu phần áp suất của khí thứ hai tác dụng lên thành bình trên tổng áp suất?

(Giải thích của thuyết động học về áp suất dãn tới định luật phát hiện bằng thực nghiệm về áp suất riêng phần trong một hỗn hợp khí phản ứng hoá học với nhau: "Áp suất tổng cộng tác dụng bởi hỗn hợp bằng tổng áp suất của các khí thành phần tác dụng riêng rẽ nếu mỗi khí chiếm cả thể tích".

18P. Một khí cầu khí tượng được bơm phồng lên bằng khí hêli ở áp suất $1,0\text{ atm}$ ($= 76\text{ cm Hg}$) ở nhiệt độ 20°C . Thể tích khí là $2,2\text{ m}^3$, ở độ cao 20000 ft , áp suất khí quyển hạ xuống còn 36cmHg và khí hêli dãn không bị hạn chế bởi vỏ khí cầu. Ở độ cao này, nhiệt độ của khí là -40°C . Thể tích của khí bây giờ là bao nhiêu?

19P. Một bọt không khí nổi lên tới mặt nước, chỗ đó có nhiệt độ 20°C . Coi nhiệt độ của khí là nhiệt độ môi trường nước xung quanh. Tính thể tích của bọt không khí khi nó vừa tới sát mặt nước.

20P. Một ống dài $L = 25,0\text{ m}$ hở một đầu, chứa không khí ở áp suất khí quyển. Nó được nhúng theo phương thẳng đứng vào nước mát trong hồ, như hình 21.16, đến khi nước dâng lên tới nửa ống. Hỏi độ sâu h của phần dưới của ống là bao nhiêu? Giả thiết nhiệt độ là như nhau tại mọi vị trí và không thay đổi.



HÌNH 21.16. Bài tập toán 20.

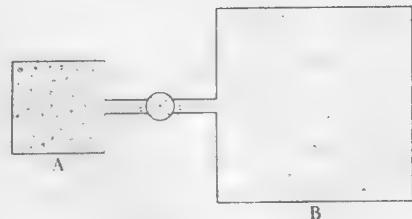
21P. Vỏ và giỏ của một khí cầu nóng có trọng lượng tổng cộng 550lb , và vỏ có thể tích là $77,00\text{ft}^2$. Khi nó phồng đầy đủ thì nhiệt độ của không khí trong khí cầu là bao nhiêu để nó có lực nâng 600 lb (kể cả trọng lượng riêng của nó). Giả thiết rằng không khí chung quanh ở 20°C có trọng lượng riêng là $7,56 \cdot 10^{-2}\text{lb}/\text{ft}^2$.

22P. Một bình thép chứa 300g khí amôniac (NH_3) ở áp suất tuyệt đối $1,35 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ và nhiệt độ 77°C .

(a) Thể tích của bình là bao nhiêu?

(b) Bình được kiểm tra sau đó, khi nhiệt độ hạ xuống là 22°C và áp suất tuyệt đối sụt xuống tới $8,7 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Có bao nhiêu gam khí thoát khỏi bình?

23P. Một thùng A trên hình 21.17 chứa khí lí tưởng ở áp suất $5,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ và nhiệt độ 300K . Nó được nối bằng một ống nhỏ với một thùng B có thể tích gấp 4 lần thùng A. Thùng B chứa cùng một loại khí lí tưởng ở áp suất $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ và nhiệt độ 400K . Mở khoá, khi cân bằng được thiết lập, chúng có cùng một áp suất, nhưng nhiệt độ mỗi bình được giữ nguyên giá trị ban đầu. Áp suất của hệ là bao nhiêu?



HÌNH 21.17. Bài toán 23

Mục 21.4. Áp suất và nhiệt độ-Quan điểm phân tử

24E. Tính tốc độ căn quân phương của nguyên tử hêli ở 100K . Khối lượng phân tử gam của hêli là $4,00 \text{ g/mol}$.

25E. Nhiệt độ thấp nhất khả dĩ của khoảng không vũ trụ là $2,7\text{K}$. Tốc độ căn quân phương của phân tử hidrô ở nhiệt độ này là bao nhiêu (Dùng bảng 21.1).

26E. Tìm tốc độ căn quân phương của nguyên tử agon ở 313K . Khối lượng phân tử gam của agon là $39,0 \text{ g/mol}$.

27E. Mặt Trời là một quả cầu khổng lồ bằng khí lí tưởng nóng. Nhiệt độ và áp suất của bầu khí quyển Mặt Trời là $2,00 \cdot 10^6 \text{ K}$ và $0,0300 \text{ Pa}$. Tính tốc độ căn quân phương của các điện tử tự do (khối lượng = $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$).

28E. (a) Tính tốc độ căn quân phương của phân tử nitơ ở 20°C .

(b) Ở nhiệt độ nào tốc độ căn quân phương sẽ bằng một nửa, và gấp đôi giá trị đó?

29E. nhiệt độ nào nguyên tử khí hêli có cùng tốc độ căn quân phương bằng phân tử hidrô ở 20°C ?

30P. Ở 273K và $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ atm}$ khối lượng riêng của một chất khí là $1,24 \cdot 10^{-5} \text{ g/cm}^3$.

(a) Tìm v_{rms} của các phân tử khí.

(b) Tìm khối lượng phân tử gam và xem là khí gì?

31P. Khối lượng của phân tử hidro là $3,3 \cdot 10^{-24} \text{ g}$. Nếu 10^{23} phân tử hidro trong mỗi giây đập vào $2,0 \text{ cm}^3$ thành bình dưới góc 55° so với phương pháp tuyến khi chuyển động với tốc độ $1,0 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$, thì áp suất mà chúng tác dụng lên thành bình là bao nhiêu?

Mục 21.5. Động năng tịnh tiến

32E. Động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử nitơ riêng lẻ ở 1600K là bao nhiêu (a) Tính theo J. (b) tính theo electron - von?

33E. (a) Xác định giá trị trung bình theo eV của động năng tịnh tiến của các hạt một chất khí lí tưởng ở $0,00^{\circ}\text{C}$ và ở 100°C

(b) Động năng tịnh tiến trung bình của một mol khí lí tưởng ở nhiệt độ đó, tính theo jun là bao nhiêu?

34E. Ở nhiệt độ nào thì động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử bằng $1,00\text{eV}$?

35E. Khí oxy (O_2) ở 273K và áp suất $1,0\text{atm}$ được chứa trong một bình lạp phương có cạnh 10cm . Tính tỉ số

(1) Biến thiên thế năng hấp dẫn của một phân tử oxy khi rời từ độ cao của hộp

(2). Động năng tịnh tiến trung bình.

36P. Chứng minh rằng phương trình khí lí tưởng, 21-4 có thể viết theo một trong các dạng sau:

(a) $p = \rho \frac{RT}{M}$ trong đó ρ là khối lượng riêng của khí và M là khối lượng phân tử gam.

(b) $pV = NkT$, trong đó N là số hạt khí (Nguyên tử hay phân tử).

37P. Nước có mặt thoáng ở 32°C bay hơi vì có một số phân tử trên bề mặt thoát ra ngoài. Nhiệt hoá hơi (539 cal/g) gần đúng bằng ϵ , trong đó ϵ là năng lượng trung bình của phân tử thoát và n là số phân tử trong mỗi gam.

(a) Tìm ϵ ?

(b) Tỉ số giữa ϵ và động năng trung bình của các phân tử H_2O , là bao nhiêu nếu giả thiết rằng động năng liên hệ với nhiệt độ giống như đối với chất khí?

38P. Định luật Avôgadrô phát biểu ở trong những điều kiện như nhau về áp suất và nhiệt độ, các thể tích như nhau của chất khí chứa cùng một số phân tử. Định luật này có tương đương với định luật của khí lí tưởng không?

Mục 21.6. Quãng đường tự do trung bình

39E. Quãng đường tự do trung bình của phân tử nitơ ở $0,0^{\circ}\text{C}$ và $1,0\text{atm}$ là $0,8 \cdot 10^5\text{cm}$. Ở nhiệt độ và áp suất đó có $2,7 \cdot 10^{19}$ phân tử/ cm^3 . Đường kính của phân tử là bao nhiêu?

40E. Ở độ cao 2500 km so với mặt Trái Đất mật độ của khí quyển là chừng 1 phân tử/ cm^3 . (a) Quãng đường tự do trung bình theo p.t 21-18 là bao nhiêu?

(b) ý nghĩa của nó là gì trong điều kiện như vậy? Giả thiết đường kính của phân tử là $2,0 \cdot 10^{-8}\text{cm}$.

41E. Quãng đường tự do trung bình của 15 hạt đậu hình cầu đông lạnh trong một túi khi bị lắc mạnh là bao nhiêu? Cho biết thể tích của túi là 1l và đường kính của một hạt đậu đông lạnh là $1,0\text{cm}$.

42E. Suy ra biểu thức, theo N/V , \bar{v} và d của tần số va chạm của một nguyên tử hoặc phân tử khí.

43P. Trong một máy gia tốc các hạt, các proton đi theo một đường tròn có đường kính $23,0\text{ in}$ trong một phòng ở áp suất $1,00/10^{-6}\text{mmHg}$ và nhiệt độ 295K .

(a) Tính số phân tử khí trong một centimet khối ở áp suất này?

(b) Quãng đường tự do trung bình của phân tử là bao nhiêu trong những điều kiện như vậy nếu đường kính phân tử là $2,00 \times 10^{-8}$ cm?

44P. Ở tần số nào thì bước sóng âm trong không khí bằng quãng đường tự do trung bình trong oxy ở áp suất 1,0 atm và nhiệt độ 0,0°C? Lấy đường kính phân tử oxy là $3,0 \cdot 10^{-8}$ cm.

45P. (a) Thể tích phân tử gam của khí lí tưởng ở điều kiện tiêu chuẩn ($0,000^{\circ}\text{C}$, 1,00 atm) là bao nhiêu?

(b) Tính tỉ số tốc độ căn quân phương của nguyên tử hêli và tốc độ căn quân phương của nguyên tử nêon trong cùng các điều kiện ấy.

(c) Quãng đường tự do trung bình của các nguyên tử hêli trong điều kiện đó là bao nhiêu? Giả thiết đường kính nguyên tử d là $1,00 \cdot 10^{-8}$ cm.

(d) Quãng đường tự do trung bình của nguyên tử nêon trong nhiều điều kiện đó là bao nhiêu? Giả thiết đường kính nguyên tử của nó bằng của hêli.

(e) Bình luận về kết quả của phần (c) và (d) với sự kiện là các nguyên tử hêli chuyển động nhanh hơn các nguyên tử nêon.

46P. Quãng đường tự do trung bình của các phân tử của một chất khí λ có thể được xác định từ một số phép đo nào đó (chẳng hạn, từ việc đo độ nhớt của chất khí) ở 20°C và áp suất 75 cm Hg, một phép đo như vậy cho ta $\lambda_A(\text{agôn}) = 9,9 \cdot 10^{-6}$ cm và $\lambda_{N_2}(\text{nitơ}) = 27,5 \cdot 10^{-6}$ cm.

(a). Tìm tỉ số đường kính hiệu dụng của agôn trên đường kính hiệu dụng của nitô

(b). Giá trị của quãng đường tự do trung bình ở -40°C và 75 cmHg là bao nhiêu?

47P. Chứng minh rằng cần khoảng 10^{13} phân tử không khí để phủ kín dấu chấm kết thúc câu này. Chứng minh rằng có chừng 10^{24} va chạm của các phân tử không khí trong dấu chấm này mỗi giây.

Mục 21.7. Sự phân bố tốc độ phân tử

48E. Tốc độ của một nhóm gồm mười phân tử là 2,0; 3,0... 11 km/s

(a) Tốc độ trung bình của nhóm là bao nhiêu?

(b) Tốc độ căn quân phương của nhóm là bao nhiêu?

49E. Cho nhóm hạt sau (N_i đại diện cho số hạt có vận tốc v_i)

(a) Tính tốc độ trung bình \bar{v} .

(b) Tính tốc độ căn quân phương v_{rms} .

(c) Trong năm tốc độ trung bình trình bày ở trên tốc độ nào là tốc độ có xác suất lớn nhất v_p ?

N_i	$V_i(\text{cm/s})$
2	1,0
4	2,0
6	3,0
8	4,0
2	5,0

50E. (a) Mười hạt chuyển động với các tốc độ sau: bốn hạt có tốc độ 200 m/s, hai có vận tốc 500 m/s và bốn có tốc độ 600 m/s. Tính tốc độ trung bình và tốc độ căn quân phương, phải chăng $v_{rms} > v$.

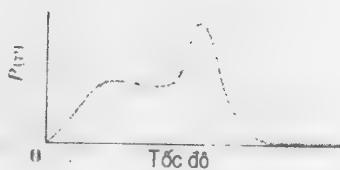
(b) Hãy tạo nên sự phân bố vận tốc của riêng bạn cho 10 hạt và chứng tỏ rằng $v_{rms} \geq \bar{v}$ với sự phân bố của bạn.

(c) Với điều kiện gì (nếu có) thì $v_{rms} = \bar{v}$?

51E. Sự phân bố tốc độ trình bày trên hình 21.18

(a) liệt kê v_{rms} , \bar{v} và v_p theo thứ tự vận tốc tăng dần.

(b) sự phân bố này như thế nào so với phân bố Maxwell?



HÌNH 21.18. Bài toán 51

52E. Người ta thấy rằng tốc độ có xác suất lớn nhất của các phân tử một chất khí ở nhiệt độ cân bằng T_2 bằng tốc độ căn quân phương của các phân tử của khí này khi nhiệt độ cân bằng của nó là T_1 . Tính tỉ số T_2/T_1 .

53D. (a). Tính nhiệt độ tại đó tốc độ căn quân phương bằng tốc độ thoát khỏi bề mặt Trái Đất cho phân tử hidro và oxy.

(b). Tính tương tự cho trường hợp Mặt Trăng, biết rằng gia tốc hấp dẫn ở Mặt Trăng là $0,16g$.

(c) Nhiệt độ cao trên khí quyển tầng cao là $1000K$. Bạn có hi vọng thấy nhiều hidro ở đó không? Hay nhiều oxy?

54P. Một phân tử hidrô (đường kính $1,0 \cdot 10^{-8}$) thoát khỏi một lò nung ($T = 4000K$) với tốc độ căn quân phương nào đó bay vào một buồng chứa các nguyên tử argon lạnh (đường kính $3,0 \cdot 10^{-8}cm$) có mật độ $4,0/10^{19}$ nguyên tử/ cm^3 .

(a) Tốc độ của phân tử hidrô là bao nhiêu?

(b) Nếu một phân tử hidrô va chạm với một nguyên tử argon thì khoảng cách ngắn nhất giữa hai tâm của chúng là bao nhiêu, khi coi chúng như hình cầu?

(c) Số va chạm ban đầu trong một giây thực hiện bởi phân tử hidrô là bao nhiêu?

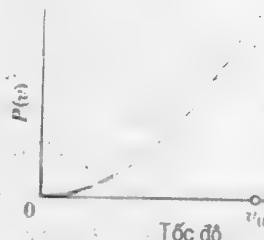
55P. Hai thùng chứa ở cùng một nhiệt độ. Thùng thứ nhất chứa khí ở áp suất p_1 , khối lượng phân tử m_1 , tốc độ căn quân phương v_{rms1} . Thùng thứ hai chứa các phân tử khối lượng m_2 ở áp suất $2p_1$, tốc độ trung bình $\bar{v}_2 = 2v_{rms1}$. Tìm tỉ số $\frac{m_1}{m_2}$ các khối lượng của các phân tử.

56P. Cho sự phân bố tốc độ giả định của N phân tử khí như trình bày ở hình 21.19 [$P(v) = Cv^2$ với $0 < v \leq v_0$, $P(v) = 0$ với $v > v_0$]. Tìm

(a) biểu thức của C theo N và v_0

(b) tốc độ trung bình của các hạt

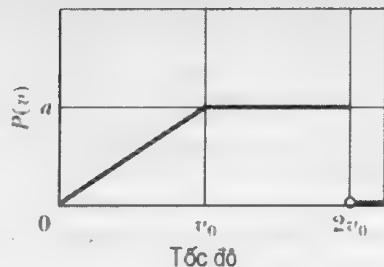
(c) tốc độ căn quân phương của các hạt.



HÌNH 21.19. Bài toán 56

57P. Một mẫu giả định gồm N phân tử có phân bố vận tốc như trình bày trên hình 21.20, ở đây $P(v) = 0$ với $v > 2v_0$.

- (a) Biểu thị N và v_0
- (b) Có bao nhiêu phân tử có tốc độ nằm trong khoảng $1,5v_0$ và $2,0v_0$?
- (c) Biểu thị tốc độ trung bình của các phân tử theo v_0 .
- (d). Tìm v_{rms} .



HÌNH 21.20. Bài toán 57

Mục 21.8. Nhiệt dung riêng phân tử gam khí lí tưởng

58E. (a) Nội năng của 1,0 mol một chất khí lí tưởng đơn nguyên tử ở 273K là bao nhiêu? (b) Nó có phụ thuộc vào thể tích hay áp suất không?

59E. Một mol khí lí tưởng chịu sự dãnձang nhiệt. Tìm nhiệt lượng cần cung cấp cho chất khí theo thể tích và nhiệt độ ban đầu và cuối. (Gợi ý: Dùng định luật thứ nhất của nhiệt động lực học).

60E. Khối lượng của nguyên tử hêli là $6,66 \cdot 10^{-27}$ kg. Tính nhiệt dung riêng đẵng tích cho khí (đơn nguyên tử) hêli (theo J/kgK) từ nhiệt dung riêng phân tử gam khi thể tích không đổi.

61P. Cung cấp 20,9 J nhiệt lượng cho một khí lí tưởng đặc biệt. Kết quả làm thay đổi thể tích của khí từ $50,0$ tới 100cm^3 trong khi áp suất được giữ không đổi ở $1,00\text{atm}$.

- (a) Nội năng của khí biến thiên bao nhiêu?
- (b) Nếu lượng khí có mặt là $2,00 \cdot 10^{-3}$ mol, tìm nhiệt dung riêng phân tử gam khi áp suất không đổi.
- (c). Tìm nhiệt dung riêng phân tử gam khi thể tích không đổi.
- (d) Nếu ta cần định nghĩa nhiệt dung riêng phân tử gam cho quá trình này thì giá trị của nó là bao nhiêu?
- (e) W ,
- (f) ΔE_{int} và
- (g) Q ?

62P. Một lượng khí lí tưởng đơn nguyên tử gồm n mol, ban đầu ở nhiệt độ T_1 , áp suất và thể tích sau đó tăng gấp đôi theo cách tạo một đường thẳng trên giản đồ $p - V$. Tính theo n , R và T_1 các đại lượng:

63P. Một thùng chứa một hỗn hợp gồm ba loại khí không phản ứng với nhau: nguyên tử mol của khí thứ nhất có nhiệt dung đẵng tích phân tử gam là C_1 và tương tự với khí còn lại. Tìm nhiệt dung phân tử gam đẵng tích của 1 mol khí hỗn hợp theo nhiệt dung phân tử gam đẵng tích và số lượng của các khí thành phần.

64P. Khối lượng của một phân tử có thể được tính từ nhiệt dung riêng đẳng tích C_v . Cho $C_v = 0,075 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ với argon, hãy tính

- (a) Khối lượng của một nguyên tử argon
- (b) Khối lượng phân tử gam của argon.

Mục 21.9. Sự phân bố đều của năng lượng

65E. 90J nhiệt lượng bị mất bởi một lưỡng nguyên tử có sự quay phân tử, nhưng không có dao động. Trong loại quá trình nào đó, đẳng áp hay đẳng tích, nội năng khí giảm nhiều hơn?

66E. Một mol khí oxy (O_2) bị nung nóng đẳng áp từ nhiệt độ 0°C cần phải cung cấp cho khí bao nhiêu nhiệt lượng để thể tích của nó tăng gấp đôi? (các phân tử quay, nhưng không dao động).

67E. Giả thiết 12g oxy (O_2) ở áp suất không đổi của khí quyển được nung nóng từ $25,0$ tới 125°C .

- (a) Có bao nhiêu mol oxy? (Xem bảng 21.1)
- (b) Có bao nhiêu nhiệt lượng truyền cho oxy? (Phân tử quay mà không dao động),
- (c) Phần nhiệt lượng dùng để làm tăng nội năng của oxy là bao nhiêu?

68P. Giả thiết 4,00 mol khí lí tưởng lưỡng nguyên tử, có sự quay phân tử mà không dao động bị tăng nhiệt độ thêm $60,0\text{K}$ khi áp suất không đổi.

- (a) Nhiệt lượng cung cấp cho khí là bao nhiêu?
- (b) Nội năng khí tăng lên bao nhiêu?
- (c) Công mà khí thực hiện là bao nhiêu?
- (d) Động năng tịnh tiến của khí tăng bao nhiêu?

Mục 21.11. Sự dân sốn nhiệt của khí lí tưởng

70E. Một khối lượng khí chiếm một thể tích $4,3 \text{ L}$ ở áp suất $1,2\text{atm}$ và nhiệt độ 310K . Nén khí đoạn nhiệt tới thể tích $0,76\text{L}$. Xác định

- (a) Áp suất cuối
- (b) Nhiệt độ cuối, giả thiết khí là lí tưởng có $\gamma = 1,4$ (Gợi ý: Không cần phải đổi đơn vị).

71E. (a) Một lít khí có $\gamma = 1,3$ ở nhiệt độ 273K và áp suất 1atm . Nó được nén tức thời (đoạn nhiệt) tới nửa thể tích ban đầu. Tìm áp suất và nhiệt độ cuối của nó

- (b) Khí được làm lạnh đẳng áp trở lại nhiệt độ 273K . Thể tích cuối của nó là bao nhiêu?

72E. Cho n mol khí lí tưởng dân sốn nhiệt từ nhiệt độ ban đầu T_1 tới nhiệt độ cuối T_2 . Chứng minh công do khí thực hiện bằng $nC_v(T_1 - T_2)$ ở đây C_v là nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng tích (gợi ý dùng định luật thứ nhất của nhiệt động lực học).

73E. Ta biết $pV^\gamma = \text{hằng số}$ là với quá trình đoạn nhiệt. Xác định hằng số này cho quá trình đoạn nhiệt của 2,0 mol khí lí tưởng qua trạng thái có $p = 1,0 \text{ atm}$, $T = 300 \text{ K}$. Giả thiết khí là lưỡng nguyên tử có chuyển động quay mà không có dao động.

74E. Với quá trình đoạn nhiệt của khí lí tưởng, chứng minh rằng

(a) suất nén tính theo

$$\beta = -V \frac{dp}{dV} = \gamma p$$

và do đó

(b) Tốc độ của âm là

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

xem các p.t 198.2 và 18.3

75E. Không khí ở $0,000^\circ\text{C}$ và áp suất 1,000 atm có khối lượng riêng $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ và tốc độ âm là 33 m/s tại nhiệt độ đó. Tính tỉ số γ của các nhiệt dung phân tử gam của khí đó (Gợi ý: xem bài tập 74).

76E. Tốc độ của âm trong các chất khí khác nhau tại một nhiệt độ nào đó phụ thuộc vào khối lượng phân tử gam khí đó. Chứng minh rằng $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$ ($T = \text{hằng số}$)

trong đó v_1 là tốc độ âm trong chất khí đó khối lượng phân tử gam M_1 , v_2 là tốc độ âm trong chất khí có khối lượng phân tử gam M_2 (gợi ý: xem bài tập 74).

77D. Dùng kết quả của bài tập 73, chứng minh rằng tốc độ âm trong không khí tăng khoảng $0,61 \text{ m/s}$ khi nhiệt độ tăng một độ celci ở gần 0°C .

78D. Viết C_v , nhiệt dung riêng phân tử gam đẳng tích của một chất khí chứa trong một cái thùng là $5,0R$. Tính tỉ số giữa tốc độ âm trong khí này và tốc độ cản quan phương của các phân tử khí ở nhiệt độ T (gợi ý: xem bài tập 74).

79P. (a) Một chất khí lí tưởng ban đầu ở áp suất p_0 bị dãn tự do (đoạn nhiệt, không thực hiện công ngoài) tới thể tích cuối cùng bằng 3,00 lần thể tích ban đầu. Áp suất của khí sau quá trình dãn tự do là bao nhiêu?

(b) Sau đó khí được nén chậm và đoạn nhiệt trở về thể tích ban đầu. Áp suất khí sau khi nén là $(3,00)^{1/3} p_0$. Xác định xem khí là đơn nguyên tử, lưỡng nguyên tử hay đa nguyên tử

(c). Động năng trung bình của một phân tử khí ở trạng thái cuối so với trạng thái đầu thay đổi thế nào?

80P. Một khí lí tưởng chịu một quá trình nén đoạn nhiệt từ $p = 1,0 \text{ atm}$, $V = 1,0 \cdot 10^6 \text{ l}$, $T = 0,0^\circ\text{C}$ tới $p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ atm}$, $V = 1,0 \cdot 10^3 \text{ l}$

(a) Đó là khí đơn nguyên tử, lưỡng nguyên tử hay đa nguyên tử?

(b) Nhiệt độ cuối của nó là bao nhiêu?

(c) Có bao nhiêu mol khí?

- (d) Độ năng tịnh tiến tổng cộng của mỗi mol trước và sau khi nén là bao nhiêu?
(e) Tỉ số của bình phương tốc độ căn quân phương trước và sau khi nén là bao nhiêu?

81P. Một lượng khí lí tưởng chiếm thể tích ban đầu V_0 , áp suất p_0 , nhiệt độ T_0 . Nó dẫn tới thể tích V_1

(a) Khi áp suất không đổi,

(b) Khi nhiệt độ không đổi

(c) Khi đoạn nhiệt. Vẽ đồ thị đồ thị của mỗi trường hợp trên giản đồ p-V. Trong trường hợp nào Q lớn nhất. Trong trường hợp nào ΔE_{int} nhỏ nhất?

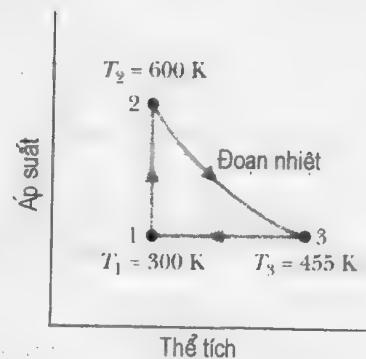
82P. C_v của một khí lí tưởng nào đó là 6,00 cal/mol K, nhiệt độ của 3,0 mol khí này tăng thêm 50K theo mỗi quá trình sau đây: đẳng tích, đẳng áp và nén đoạn nhiệt. Điền vào bảng sau đây, và chỉ rõ trong mỗi quá trình nhiệt lượng nhận vào (hay thả ra) công do khí thực hiện, độ biến thiên nội năng của khí độ biến thiên động năng tịnh tiến tổng cộng của khí.

Quá trình	Nhiệt lượng nhận	Công do khí thực hiện	Độ biến thiên nội năng	Độ biến thiên động năng
Đẳng tích	_____	_____	_____	_____
Đẳng áp	_____	_____	_____	_____
Đoạn nhiệt	_____	_____	_____	_____

83P. Một máy nhiệt chuyển 1,00 mol khí lí tưởng đơn nguyên tử theo chu trình trên hình 21.21. Quá trình 1-2 là đẳng tích, quá trình 2.3 là đoạn nhiệt và quá trình 3-1 là đẳng áp.

(a) Tính nhiệt lượng Q , độ biến thiên nội năng ΔE_{int} và công thực hiện W với mỗi quá trình và cho toàn chu trình.

(b) Nếu áp suất ban đầu ở điểm 1 là 1,00 atm, hãy tìm áp suất và thể tích ở các điểm 2 và 3. Cho $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ và $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$



HÌNH 21.21. Bài toán 83

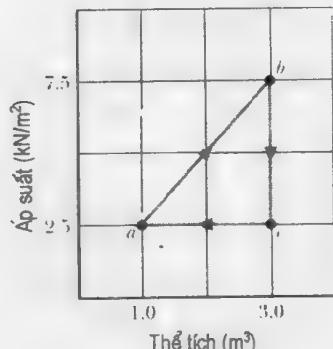
84P. Trong một động cơ môtô, sau khi đốt cháy khí ở đầu xi lanh, pittông bị đẩy xuống (về phía tay quay) khi hỗn hợp khí sinh ra bị dãn đoạn nhiệt. Tìm công suất trung bình của quá trình dãn này khi máy chạy 4000 vòng/phút, giả thiết rằng áp suất

áp kế là 15atm ngay lập tức sau khi đốt, thể tích ban đầu là 50cm^3 . Giả thiết hỗn hợp khí là lưỡng nguyên tử và thời gian cần thiết để dãn một nửa của chu trình. Tính kết quả theo dõi và mã lực.

BÀI TOÁN BỔ SUNG

85. Một mẫu khí lí tưởng thực hiện chu trình trình bày trên giản đồ $p - V$ ở hình 21.22. Nhiệt độ khí ở điểm a là 200K.

- (a) Mẫu có bao nhiêu mol khí?
- (b) Nhiệt độ của khí ở điểm b là bao nhiêu?
- (c) Ở điểm c là bao nhiêu?
- (d) Nhiệt lượng toàn phần cung cấp cho khí là bao nhiêu trong cả chu trình?



HÌNH 21.22. Bài toán 85

86. Một chất khí lí tưởng ban đầu ở nhiệt độ 300K bị nén với áp suất không đổi 25N/m^2 từ thể tích $3,0\text{m}^3$ tới thể tích $1,8\text{m}^3$. Trong quá trình đó khí mất 75J nhiệt lượng.

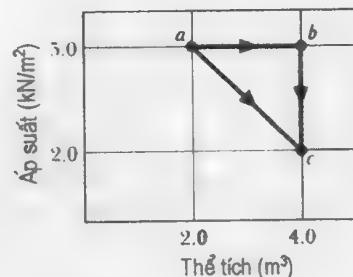
- (a) Độ biến nội năng của khí là bao nhiêu?
- (b) Nhiệt độ cuối của khí là bao nhiêu?

87. Một mol khí lí tưởng lưỡng nguyên tử chuyển trạng thái từ a đến c theo đường chéo trên hình 21.33 m^2 của khí ở điểm a là 1200K. Trong khi chuyển trạng thái thì

- (a) Nội năng biến thiên bao nhiêu?
- (b) Nhiệt lượng cung cấp cho khí là bao nhiêu?
- (c) Nhiệt lượng cần cung cấp cho khí là bao nhiêu nếu nó chuyển từ a đến c một cách gián tiếp theo đường abc?

88. Một mẫu khí lí tưởng dãn từ áp suất và thể tích ban đầu của khí là 32atm và $1,01$ tới thể tích cuối $4,0\text{L}$. Nhiệt độ ban đầu của khí là 300K. Nhiệt độ và áp suất cuối của khí và công do khí thực hiện trong quá trình dãn là bao nhiêu, nếu quá trình dãn là

- (a) Đẳng nhiệt ?
- (b) Đoạn nhiệt với khí là đơn nguyên tử ?
- (c) Đoạn nhiệt với khí là lưỡng nguyên tử ?



HÌNH 21.23. Bài toán 87

PHẢI CHĂNG SỰ TẠO THÀNH LỚP CO₂ LÀM ẤM KHÍ HẬU CHÚNG TA

(Barbara Levi-Vật lí ngày nay)



Barbara Goss Levi là thành viên lớn tuổi của ban biên tập "Vật lí ngày nay". Bà tốt nghiệp đại học Carleton College (1965) và tiến sĩ ở trường đại học Stanford (1971) về vật lí hạt cơ bản. Cùng với việc dạy học (tại Geogiatech và Rutgerd) viết sách báo về vật lí, bà làm việc tại trường đại học Princeton trên các vấn đề như bảo toàn năng lượng và kiểm soát vũ khí. Tiến sĩ Levi là hội viên của Hội Vật lí Mĩ, hội viên của hội Vì sự tiến bộ của khoa học. Bà là đồng tác giả của "Sự ấm toàn cầu" Vật lí và sự kiện, do Viện vật lí Mĩ xuất bản năm 1992.

Trong vài năm gần đây câu chuyện "Sự ấm toàn cầu" đãng đầy trên báo chí. Các nhà khoa học đã khuyến cáo rằng khí hậu toàn cầu có thể ấm dần lên, nếu các hoạt động của nền văn minh chúng ta tiếp tục thải cacbon điôxít và một số loại khí khác vào khí quyển. Các hậu quả sẽ là: sự chìm ngập của các thành phố ven biển, sự phá vỡ thời tiết theo mùa, sự thất thoát của nhiều sản phẩm nông nghiệp và các vùng sinh thái. Nhưng chưa có bằng chứng chắc chắn rằng sự ấm toàn cầu đã bắt đầu. Vì thế, câu hỏi là phải chăng đã đến lúc nước ta và các nước khác phải tiến hành giảm bớt việc sản xuất cacbon điôxít của ta hay chưa? Ta phải thận trọng bởi lẽ nhiều biện pháp có thể tác động đến cá nhân bạn. Cácbon điôxít mà nền văn minh đưa thêm vào bầu khí quyển là do đốt cháy các nhiên liệu hoá thạch: than, dầu và khí. Các chất đốt này dùng trong các nhà máy điện và cung cấp năng lượng cho các xe ôtô của chúng ta. Sẽ đến một ngày nào đó bạn sẽ phải chọn hoặc khí hậu hoặc ôtô. Trước khi con người xuất hiện, bầu khí quyển Trái Đất đã săn có cacbon điôxít, và chính cacbon điôxít này cùng với hơi nước và một vài loại khí khác trong bầu khí quyển đã làm cho Trái Đất ấm dễ chịu hơn so với không có nó. Nên văn minh của chúng ta hàng năm đưa thêm vào khoảng 22 tỉ tấn cacbon điôxit và phần lớn khí cacbon điôxit

đó tồn tại chừng 50-200 năm. Kết quả, như nhiều nhà khoa học đã đồng ý là: Trái Đất sẽ ấm dần lên. Tuy nhiên, họ chưa biết chức chấn nhiệt độ tăng lên như thế nào và mức độ nhanh chậm ra sao? Nhiệt độ toàn cầu có lẽ tăng từ 0,3 đến 0,6°C trong 100 năm gần đây, nhưng không ai có thể chứng minh mà không còn e ngại rằng cacbon diôxit có thực là nguyên nhân hay không.

Khí hậu là một hệ phức tạp đến mức làm cho việc tiên đoán chắc chắn đòi hỏi nhiều mẫu máy tính thông minh. Dẫu sao, thì điều dễ hơn vẫn là hiểu cơ chế cơ bản mà dioxit cacbon làm ấm Trái Đất ta. Trong tiểu luận này chúng ta cố gắng hiểu chính xác trên cơ sở một mẫu đơn giản với các nhân tố số và phương trình nào xác định nhiệt độ Trái Đất như ta biết hiện nay. Điều này rút cục sẽ giúp chúng ta hiểu sự tăng của cacbon dioxit sẽ tác động đến nhiệt độ này như thế nào.

Nhiệt độ của Trái Đất được quy định rất nhiều bởi bức xạ Mặt Trời mà nó nhận được. Mặt Trời cũng như tất cả vật nóng khác chẳng hạn thanh gỗ cháy âm ỉ, bóng điện dây cháy đỏ, bức xạ nhiệt lượng dưới dạng sóng điện từ. Với mục đích của ta ở đây, bạn chỉ cần biết rằng sóng điện từ là một dạng của chuyển động sóng và sóng này mang theo năng lượng cường độ bức xạ I phát ra từ một vật bất kì phụ thuộc rất nhiều vào nhiệt độ của vật đó, tuân theo hệ thức, gọi là định luật Stefan - Botzmann

$$I = \epsilon\sigma T^4 \quad (1)$$

trong đó I là công suất bức xạ (tính theo oát) phát ra từ $1m^2$ diện tích của vật bất kì có nhiệt độ T (K). Hai hằng số có trong phương trình này là σ được gọi là hằng số Stefan-Botzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$) và ϵ là hằng số phát xạ của vật bức xạ, tức là khả năng phát bức xạ của nó. Với vật bức xạ lí tưởng $\epsilon = 1$ và với những vật khác $\epsilon < 1$. Hãy chú ý sự phụ thuộc rất mạnh của công suất bức xạ vào nhiệt độ. Một vật có nhiệt độ lớn gấp đôi sẽ bức xạ nhiều năng lượng gấp 16 lần trong cùng một thời gian.

Bài toán 1

Dùng định luật Stefan-Botzmann, hãy xác định cường độ bức xạ Mặt Trời phát ra từ Mặt Trời. Giả thiết nó là nguồn bức xạ lí tưởng, và có nhiệt độ về mặt 6000K. Sau đó tìm cường độ bức xạ Mặt Trời ở Trái Đất, nhớ rằng năng lượng Mặt Trời trai ra trên một mặt cầu có bán kính bằng khoảng cách trung bình từ Mặt Trời tới Trái Đất ($1,495 \cdot 10^{11} m$). Bán kính Mặt Trời vào khoảng $6,96 \cdot 10^8 m$. Tốc độ của năng lượng Mặt Trời tới Trái Đất trên một đơn vị diện tích quen gọi là hằng số mặt trời S , và giá trị đo được của nó xấp xỉ $1360 W/m^2$. (Tại sao bạn nghĩ rằng giá trị bạn tính được sẽ là cao hơn giá trị đó một chút?). Nếu năng lượng đó liên tục tuôn xuống Trái Đất, và Trái Đất của ta không bức xạ năng lượng trở lại, thì hành tinh của chúng ta ngày càng ấm lên. Để Trái Đất (cũng như bất kì vật nào khác) giữ được nhiệt độ cân bằng thì tốc độ hấp thụ năng lượng bởi Trái Đất phải đúng bằng tốc độ bức xạ năng lượng từ Trái Đất ra ngoài. Chính nguyên lí cân bằng năng lượng này xác định nhiệt độ của Trái Đất.

Hằng số Mặt Trời cho ta biết công suất bức xạ Mặt Trời rơi xuống trên mỗi đơn vị diện tích. Để tìm được bức xạ bị Trái Đất chặn lại, ta phải nhân hằng số Mặt Trời với diện tích hình chiếu hai chiều của bề mặt Trái Đất. Hình chiếu này là một vòng tròn

có diện tích πR_E^2 . Không phải tất cả công suất bức xạ Mặt Trời này được Trái Đất hấp thụ: các phép đo cho thấy, có chừng 30% ánh sáng Mặt Trời tới bị phản xạ trở lại vào không gian. Hệ số phản xạ này gọi là α là ánh sáng Mặt Trời bị phản xạ. Phần Trái Đất hấp thụ là $(1 - \alpha)$.

Công suất bức xạ bởi Trái Đất là cường độ tính theo định luật Stefan - Boltzmann nhân với diện tích Trái Đất $4\pi R_E^2$. Trong phép tính toán này, ta giả thiết rằng độ phát xạ của Trái Đất bằng 1.

Cân bằng công suất bức xạ mặt trời tới với công suất bức xạ bởi Trái Đất ta thu được:

$$\pi R_E^2 (1-\alpha)S = 4\pi R_E^2 \sigma T_E^4 \quad (2)$$

$$\text{hay } (1-\alpha)S/4\sigma = T_E^4 \quad (3)$$

Giải để tính T_E ta được:

$$T_E = \left[\frac{(1-\alpha)S}{4\sigma} \right]^{1/4} = 255K \quad (-18^\circ C) \quad (4)$$

Nhiệt độ này thực tế đúng là xấp xỉ nhiệt độ mà các vệ tinh đã đo được ở phía ngoài của khí quyển. Nó nghe mới lạnh lẽo làm sao? Nhưng hãy nhớ rằng, trong phép tính toán này chúng ta đã bỏ qua bầu không khí quanh Trái Đất. Giá trị trung bình toàn cầu thực sự của nhiệt độ tại bề mặt Trái Đất dễ chịu hơn nhiều $T_s = 288K$ ($15^\circ C$) nghĩa là ấm hơn $33^\circ C$. Bề mặt Trái Đất được giữ ở nhiệt độ con người có thể sống được này là nhờ các tấm chắn đắp gồm các chất khí và hạt cơ bản trong khí quyển (H.1)

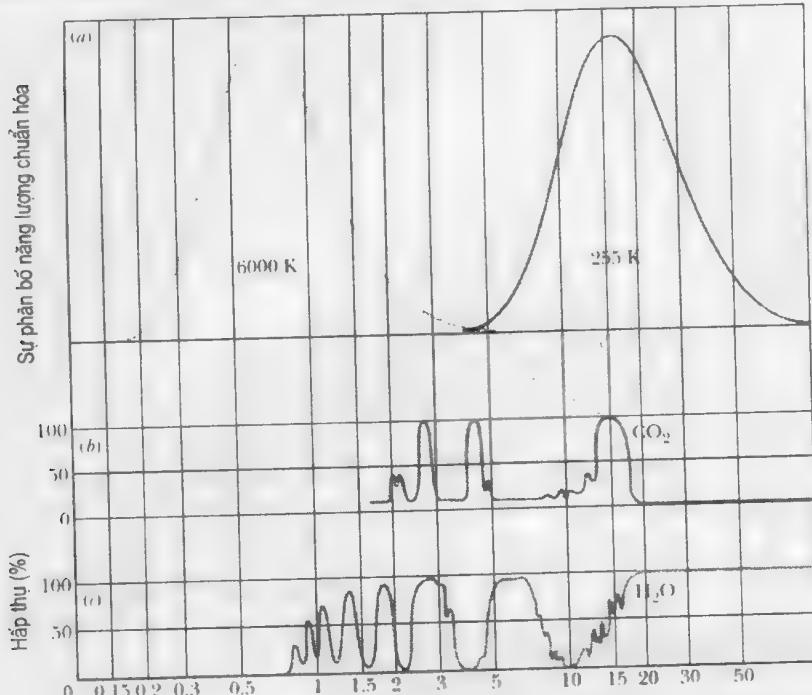


HÌNH 1

Dự kiến thu được từ vệ tinh để nghiên cứu khí hậu Trái Đất. Những màu ở đây cho ta thấy bao nhiêu bức xạ sóng dài được mây giữ lại. Một hiệu ứng có xu hướng làm ấm Trái Đất. Chú ý tới cường độ cao trên Ánh Độ dương, ở đó có những đám mây dày. Các đám mây cũng phản xạ các bức xạ có xu hướng làm lạnh Trái Đất. Trong bầu khí quyển bình thường hiệu ứng toàn phần của mây là làm lạnh khí hậu.

Thực ra, chỉ có một số loại khí trong khí quyển là giữ bề mặt nó ấm. Những khí đó mà ta gọi là "khí nhà xanh" có hai tính chất then chốt: chúng cho truyền qua các bức xạ có bước sóng rất ngắn như bức xạ mặt trời, và hấp thụ mạnh các bức xạ có bước sóng dài như bức xạ phát ra từ Trái Đất (Bức xạ phát ra từ Trái Đất cũng như bất kì vật nào khác ở nhiệt độ phòng-được gọi là năng lượng nhiệt). Đường cong trên đồ thị hình 2a cho thấy cường độ bức xạ từ vật bức xạ lí tưởng thay đổi như thế nào theo

bước sóng. Đường cong có ghi 6000K ứng với một vật (giống như Mặt Trời) ở nhiệt độ 6000K và đường cong có ghi 255K biểu diễn một vật ở 255K (như Trái Đất). Các đường cong hình 2b và 2c trình bày các bước sóng mà các "khí nhà xanh" chính là các carbon diôxit và hơi nước hấp thụ. Đầu rằng cả hai khí này hấp thụ lại bức xạ có vài bước sóng khác nhau phát ra từ Trái Đất thì chỉ có hơi nước là hấp thụ một cách đáng kể một số bức xạ từ Mặt Trời. Như vậy phần lớn bức xạ bức xạ Mặt Trời lọt thẳng tới được Trái Đất, nhưng một phần lớn bức xạ Trái Đất lại được bầu khí quyển giữ lại.



HÌNH 2

(a) Các đường cong 6000K và 255K trình bày cường độ bức xạ phát ra tại mỗi bước sóng với vật phóng xạ lí tưởng tại 6000K và 255K. Đường cong 6000K biểu diễn gần đúng bức xạ Mặt Trời chiếu tới và đường cong 255K là gần đúng của bức xạ phát ra từ Trái Đất.

(b) (c) Định các đường cong này cho ta bức sóng tại đó các phân tử nước và cácbon diôxit trong khí quyển hấp thụ mạnh bức xạ. Chú ý là các khí này hấp thụ nhiều - bức xạ phát ra từ Trái Đất hơn là bức xạ Mặt Trời, theo JP.Pleixoro và H.O Oort. Vật lí khí hậu. Viện vật lí Mĩ, 1992. Hình 6.2.

Để có được một ý tưởng trực giác về việc các khí này ảnh hưởng tới nhiệt độ như thế nào, hãy tưởng tượng Trái Đất ban đầu không có các lớp "khí nhà xanh" nên bề mặt nó có nhiệt độ 255K như ta tính trước đây. Giả thiết bây giờ một số "khí nhà xanh" được đột ngột thêm vào bầu khí quyển Trái Đất... Đầu tiên mặt Trái Đất tiếp tục bức xạ một lượng năng lượng cho phép bởi nhiệt độ của nó theo đúng định luật Stêfan - Bontzmann. Cường độ ấy nó cân bằng năng thông tới từ Mặt Trời. Nhưng bây giờ "khí nhà xanh" sẽ hấp thụ một phần năng lượng này. Các khí này lại được bức xạ giờ "khí nhà xanh" sẽ quay trở lại Trái Đất. Mặt Trái Đất bây giờ nhận nhiều năng lượng và một phần sẽ quay trở lại Trái Đất. Mặt Trái Đất bây giờ nhận nhiều năng lượng hơn là bức xạ và ấm lên. Khi nó ấm hơn nó sẽ bức xạ nhiều năng lượng hơn. Mặt Trái Đất sẽ tiếp tục ấm lên tới nhiệt độ ứng với sự cân bằng các năng lượng.

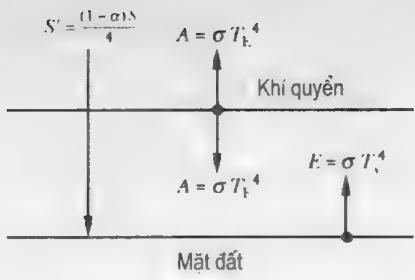
Ta có thể tính nhiệt độ ở đó Trái Đất đạt tới sự cân bằng này, bằng cách xây dựng một mô hình đơn giản (xem hình 3).

Từ đó ta thu được hai phương trình sau đây:

$$\text{Định của tầng khí quyển } S' = A \quad (5)$$

$$\text{Bề mặt Trái Đất } S' + A = E \quad (6)$$

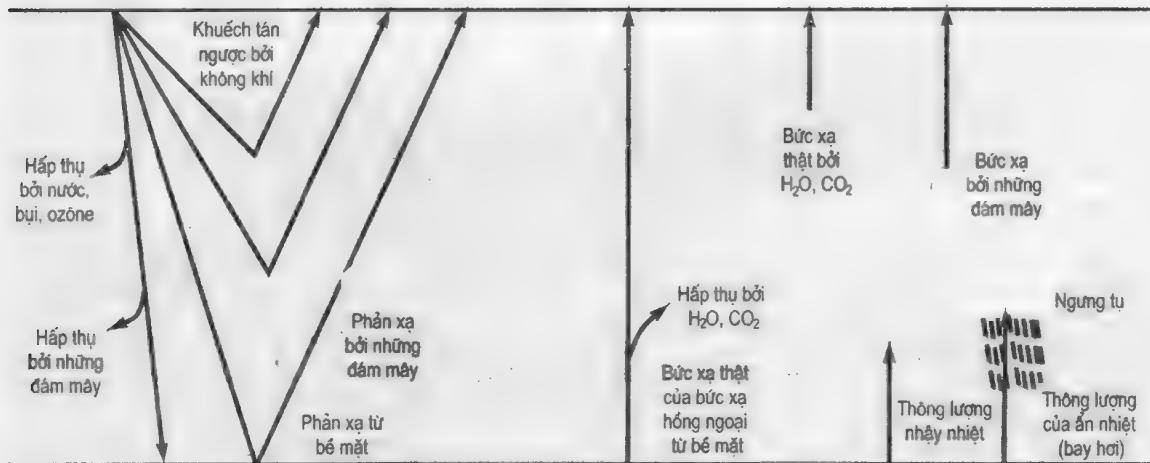
Nếu thế giá trị của A tính theo p.t (5) vào p.t (6) và nhớ rằng công suất bức xạ bởi Trái Đất có thể viết theo định luật Stêfan-Bontzmann, ta thu được:



HÌNH 3 : Mô hình đơn giản về sự cân bằng bức xạ của Trái Đất liên hệ bức xạ tới từ Mặt Trời S' với bức xạ phát ra từ mặt Trái Đất E và bức xạ phát ra từ bầu khí quyển A . Tại các đỉnh của tầng khí quyển bức xạ ra đi A phải bằng bức xạ tới S' , tương tự tại mặt Trái Đất phải bằng $S' + A$.

Bài toán 2

Trong mô hình hai lớp, ta xét trường hợp trong đó khí quyển hấp thụ một phần $\alpha < 1$ bức xạ của Trái Đất. Trong trường hợp này, bức xạ rời khỏi đỉnh của khí quyển sẽ gồm một phần của bức xạ từ bề mặt Trái Đất không bị khí quyển hấp thụ. Giá trị của độ hấp thụ α mà bầu khí quyển phải có là bao nhiêu để nhiệt độ Trái Đất có giá trị quan sát là 288K?



HÌNH 4. Các dòng năng lượng trong khí quyển phức tạp hơn nhiều so với mẫu đơn giản của ta. Những con số là năng thông biểu thị theo phần trăm của bức xạ là 100 (trích dẫn theo J.P.Pleixoto và H.O.Oort - Vật lí khí hậu - Viện vật lí Mi 1992. Hình 63).

Một hiệu ứng khác bỏ qua trong mô hình đơn giản là năng lượng cũng bị thoát khỏi bề mặt do bay hơi như là do bức xạ. Hiệu ứng thứ ba là khí quyển không phải là một lớp đơn ở một nhiệt độ mà phân thành nhiều tầng với nhiệt độ giảm dần theo độ cao tới khoảng 10km. Còn hiệu ứng thứ tư nữa bị bỏ qua đó là đối lưu: khi không khí gần mặt Trái Đất bị ấm lên, nó bốc lên mang theo nhiệt độ tới độ cao lớn hơn. Hơn nữa, một mô hình thực tế cũng phải xét tới sự thay đổi cường độ Mặt Trời theo vĩ độ các dòng

$$E = 2S'$$

$$\text{hay } T_S^4 = 2(1 - \alpha) S / 4\sigma \quad (7)$$

$$T_S = 303K (30^\circ C) \quad (8)$$

Đáp số của ta lớn hơn nhiệt độ bề mặt quan sát được là $15^\circ C$ nhưng đã bỏ qua một số hiệu ứng rất quan trọng trong mô hình đơn giản của ta. Bạn có thể nghĩ được một vài hiệu ứng trong chúng chăng? Một trong số đó là "khí nhà xanh" thực tế hấp thụ một số bức xạ Mặt Trời và truyền qua một số bức xạ nhiệt của Trái Đất.

đổi lưu gây ra do hiệu nhiệt độ giữa xích đạo và hai địa cực, địa hình bề mặt, hiệu ứng của các đám mây, sự tương tác giữa các đại dương, khí quyển, đất, các khối băng. Hình 4 trình bày một giản đồ các dòng năng lượng thực tế hơn trong hệ Trái Đất, khí quyển. Những nhà khoa học tìm cách giải vấn đề này đã phải tốn hàng chục năm trời để phát triển các mô hình máy tính rất chi tiết, đòi hỏi những máy tính tốt nhất mà ta có.

Bài toán 3

Trong những năm đầu của thập kỉ 80 (1980) một nhóm năm nhà khoa học đã khuyến cáo rằng một cuộc chiến tranh hạt nhân có thể mở đầu một "mùa đông hạt nhân" hay một thời kì thời tiết lạnh lẽo một cách thảm hại. Sự lạnh lẽo mạnh mẽ này có thể xảy ra, nếu các ngọn lửa nhôm lên bởi vũ khí hạt nhân đã tung ra một lượng tro bụi vào khí quyển đủ làm che khuất Mặt Trời. Hãy thêm một lớp thứ ba, lớp cho bụi này lên trên bầu khí quyển trong mẫu đơn giản; Giả thiết rằng lớp tro bụi này hấp thụ tất cả ánh sáng tới từ Mặt Trời, và cho qua tất cả bức xạ nhiệt từ Trái Đất và khí quyển.

Tính nhiệt độ bề mặt thực tế của Trái Đất (câu hỏi một "mùa đông hạt nhân thế nào, có thể còn phải được tranh luận và đòi hỏi một cách xấp xỉ thông minh hơn mẫu đơn giản của chúng ta).

Lượng cacbon điôxit thải ra từ hoạt động của con người đã làm tăng nồng độ khí quyển gần 25% tới 350 phần triệu theo thể tích. Nếu ta tiếp tục sản xuất ra cacbon điôxit và các khí "nhà xanh" khác với tốc độ hiện tại thì trong 50 năm tới, nồng độ sẽ đạt mức cao gấp hai lần mức của thời kì tiền công nghiệp. Các mẫu khí hậu vi tính hoá phát triển hiện nay tính rằng sự tăng gấp đôi nồng độ cacbon điôxit sẽ làm tăng nhiệt độ thêm một giá trị nằm trong khoảng từ 1,5 tới 4,5°C. Sự tăng này có thể hơn tại vài nơi trên địa cầu so với các nơi khác và có thể mỗi nơi sẽ bị hậu quả khí hậu khác nhau, chẳng hạn: lượng mưa thay đổi, đông bão tới nhiều hơn cũng như nước biển dâng cao.

Không ai biết được liệu những bước thay đổi khí hậu có vượt ra ngoài hay không khả năng thích nghi của hệ sinh thái tự nhiên hoặc của các tập quán của con người? Và còn nữa, phải cho rằng các cố gắng chính để cắt giảm sự phát sinh ra CO_2 là rất tốn kém. Dẫu sao đã có hàng loạt các nhà khoa học bắt đầu kêu gọi tiến hành các biện pháp thận trọng để làm giảm sự thải ra cacbon điôxit các khí khác như fluo-cacbon (chính nó đe doạ tầng ôzôn), mêtan và nitôôxit. Nếu các khuyến cáo của họ được chấp nhận có lẽ bạn không phải từ bỏ cái thú lái xe của bạn, nhưng chắc chắn bạn sẽ phải mua một chiếc khác để có thể đi được nhiều dặm hơn, với một galông xăng, hoặc dùng một loại nhiên liệu không phải nhiên liệu hoá thạch.

Trả lời

1. $7,35 \times 10^7 \text{ W/m}^2 ; 1590 \text{ W/m}^2$ (20% lớn hơn giá trị đó).
2. $2 - 2S'/\sigma T_S^4 = 0,78$
3. $[(1 - \alpha) / 8\sigma]^{1/4} = 214\text{K}$.

ENTROPI VÀ ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

22



Một dòng chữ vô danh trên tường của "Pecan street cafe" ở Austin bang Texas viết: Thời gian là cách Chúa giữ cho mọi sự việc không xảy ra ngay lập tức. Thời gian cũng có hướng. Một số sự việc xảy ra theo một trình tự nào đó mà không bao giờ tự xảy ra theo chiều ngược lại. Thí dụ một quả trứng rơi ngẫu nhiên vỡ ra trong một cái cốc. Quá trình ngược lại, quả trứng vỡ trở thành nguyên vẹn và nhảy lên bàn tay xoè ra không bao giờ tự xảy ra. Nhưng tại sao lại không? Tại sao quá trình đó không thể đảo ngược lại, như một băng hình chạy ngược. Cái gì trên thế giới xác định chiều hướng của thời gian.

2.2.1. MỘT SỐ SỰ VIỆC CHẮNG BAO GIỜ XẤY RA

Một đồng 25 xu ở trên bàn chắc bao giờ hoàn toàn tự nó nâng lên trong không khí, trở thành nóng tới mức bạn không thể sờ vào được, hoặc tự làm bẹt ra đến khi rỗng như chiếc đĩa tách. Chúng ta chắc bao giờ ngạc nhiên chút nào về những việc "ngó ngắt" ấy và ta giải thích chúng bằng cách nói "*cần có năng lượng để nâng đồng xu lên, để làm nóng nó hoặc để đập cho nó bẹt.* Tất cả các chuyện đó là vi phạm nguyên lý bảo toàn năng lượng".

Còn ba điều nữa cũng không bao giờ xảy ra, nhưng khác với ở trên là bạn không dễ dàng giải thích vì sao chúng không xảy ra.

1. Cà phê ở lặng yên trong tách trên bàn, tự nhiên lạnh xuống và bắt đầu xoay tròn.

2. Một chiếc thìa để yên trên bàn tự nhiên trở nên nóng, trong khi đầu kia lạnh đi.

3. Các phân tử không khí trong một căn phòng tự nhiên dồn vào một góc phòng và ở yên trong góc đó.

Khác với thí dụ đồng xu, những việc "ngó ngắt" *này không đòi hỏi năng lượng*: cà phê có thể thu được động năng để làm nó xoay tròn bằng cách lạnh đi. Đầu nóng của cái thìa có thể lấy năng lượng từ đầu lạnh. Và các phân tử không khí cũng không phải thay đổi động năng của mình mà chỉ phải thay đổi vị trí.

Tuy nhiên, hãy chú ý một điều, Những quá trình *ngược lại* của ba việc "ngó ngắt" trên lại xảy ra một cách hoàn toàn tự nhiên và tự phát. Cà phê xoay tròn trong tách và ngừng quay, động năng quay của nó biến thành nhiệt năng và do đó làm cà phê nóng lên chút ít. Nhiệt độ khác nhau giữa hai đầu thìa sẽ tiến tới cân bằng. Các phân tử khí dồn trong góc phòng sẽ tự phân đều khắp phòng.

Thế giới đầy rẫy những sự việc chỉ xảy ra theo một chiều mà không bao giờ xảy ra theo chiều ngược lại. Chúng ta quen thuộc với điều đó tới mức chúng ta cho những việc đó là tất nhiên khi chúng xảy ra theo chiều "thuận", như chúng ta lại ngạc nhiên quá sức tưởng tượng nếu chúng xảy ra theo chiều ngược lại.

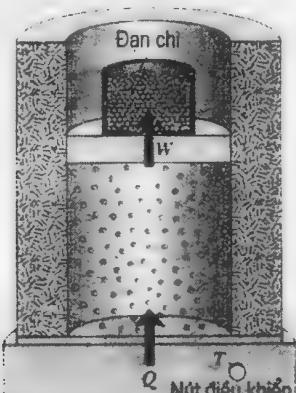
Chiều hướng mà các sự kiện tự nhiên xảy ra được chỉ phôi bởi **định luật thứ hai của nhiệt động lực học** là chủ đề của chương này. Định luật thứ hai có thể được phát biểu theo một vài dạng tương đương, hai trong số đó phát biểu về nhiệt lượng và công. Chúng ta sẽ đi sâu vào những vấn đề này trong một vài mục tiếp theo và sau đó sẽ xét dạng phát biểu thứ ba của định luật này bằng cách dùng một khái niệm mới có ích là *entropi*.

2.2. ĐỘNG CƠ

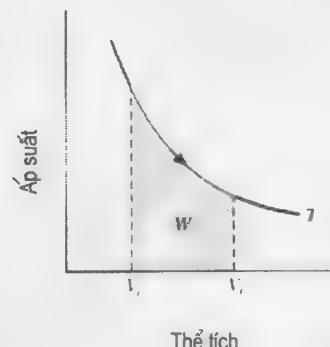
Nếu khuấy một cốc cà phê ở nhiệt độ phòng, công mà bạn thực hiện trên thìa đưa đến kết quả là chuyển năng lượng cho cà phê. Cà phê khi đó có động năng và nó xoay

tròn. Khi cà phê ngừng xoay, năng lượng dư thừa trở thành nội năng (hay nhiệt năng) của cà phê. Vì vậy nhiệt độ của cà phê sẽ cao hơn (chút ít) so với nhiệt độ phòng, cà phê lại truyền năng lượng dư cho phòng dưới dạng nhiệt lượng. Trong quá trình này bạn đã chuyển công thành nhiệt lượng hoàn toàn và khá dễ dàng.

Quá trình ngược lại, chuyển nhiệt lượng thành công lại là vấn đề hoàn toàn khác. ở đây, như là một thách đố, là một dạng phát triển của định luật thứ hai của nhiệt động lực học.



(a)



(b)

HÌNH 22.1

- a) Một chất khí lỏng dâng nhiệt, hấp thụ nhiệt lượng Q và sinh công W .
- b) Khí đi theo đường dâng nhiệt trên giản đồ pV cho sự dâng. Tuy tất cả nhiệt đều biến thành công nhưng ở đây không có vi phạm định luật thứ hai nhiệt động lực học vì có những thay đổi khác xảy ra. Hệ không trở lại trạng thái ban đầu của nó tại cuối quá trình.

ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC (dạng thứ nhất)

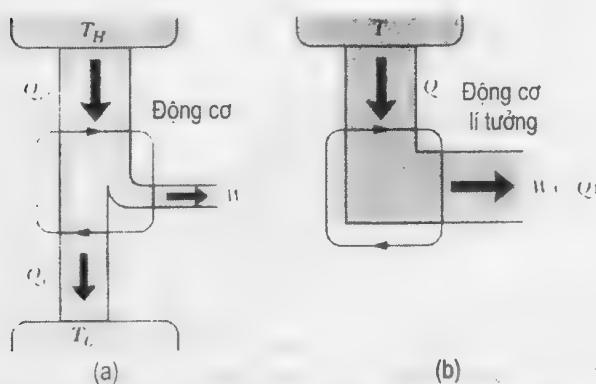
Không thể biến đổi nhiệt lượng hoàn toàn thành công mà không có một sự biến đổi nào khác xảy ra.

Những phần thường vượt qua những ước mơ điện cuồng của bạn đang chờ bạn, nếu bạn có thể tạo dựng được một thiết bị vi phạm định luật này - Dẫu chúng ta không thể thành công trong việc này, ta hãy dành cho nó một lần thử.

Hình 22-1a trình bày một xylanh chứa một chất khí lỏng đặt trên một nguồn nhiệt ở nhiệt độ T . Bằng cách bỏ dần dần tải trọng khỏi pittông ta cho phép khí giãn ra. Khí được giữ ở một nhiệt độ không đổi trong suốt quá trình, làm như thế bằng cách hấp thụ nhiệt lượng Q từ nguồn. Hệ chất khí đó theo đường dâng nhiệt trình bày trên hình 22.1b và trong khi nâng tải trọng đã thực hiện công W chỉ thị bằng diện tích tô đậm trên hình. Nội năng E_{int} nội năng này của chất khí lỏng chỉ phụ thuộc vào

nhiệt độ - không thay đổi trong quá trình giãn nở nhiệt. Từ định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, $E_{int} = Q - W$, công W vì vậy đúng bằng nhiệt lượng Q lấy từ nguồn. Chúng ta phải chăng đã biến nhiệt lượng hoàn toàn thành công?

Chúng ta quả thật đã làm như vậy, nhưng chúng ta đã không thỏa mãn đòi hỏi chủ yếu: "mà không có sự biến đổi nào khác xảy ra". Những sự biến đổi đã xảy ra: khí trong xylanh không ở cùng một trạng thái như khi chúng ta bắt đầu. Thể tích của nó đã thay đổi chẳng hạn, và áp suất của nó cũng thế. Để thỏa mãn sự thách đố của chúng ta chúng ta bằng cách nào đó phải phục hồi chất khí của chúng ta về trạng thái ban đầu. Điều đó có nghĩa là hệ xylanh pittông phải thực hiện một chu trình đưa chất khí trở lại trạng thái ban đầu tại cuối chu trình. Thiết bị biến đổi nhiệt thành công trong khi thực hiện một chu trình được gọi là một *động cơ nhiệt* hay đơn giản hơn: *động cơ*.



HÌNH 22.2. Chúng ta biểu diễn một động cơ bằng một vòng với các mũi tên chiều kim đồng hồ

- Trong động cơ thực: nhiệt lượng lấy từ nguồn nhiệt biến đổi một thành phần công, phần còn lại được trả lại cho nguồn nhiệt ở nhiệt độ thấp hơn.
- Trong một động cơ lý tưởng: tất cả nhiệt lượng lấy từ nguồn nhiệt biến thành công. Chưa ai chế tạo được một động cơ như vậy.

ta có: $\Delta E_{int} = Q - W$, công toàn phần mà hệ thực hiện trong mỗi chu trình phải bằng nhiệt lượng toàn phần trao đổi trong mỗi chu trình. Ta viết điều đó:

$$|W| = |Q_H| - |Q_C| \quad (22-1)$$

Ở đây đã chọn để tính toán với các giá trị tuyệt đối dương của Q và W mà ta viết lần lượt là $|Q|$ và $|W|$. Vì vậy với cả $Q = +10J$ và $Q = -10J$ ta đều có $|Q| = 10J$ và tương tự như vậy cho công. Ta phải luôn luôn ý thức rõ nhiệt lượng cung cấp cho hệ (vì thế $Q+$) hay lấy đi từ hệ (vì thế $Q-$) và công thực hiện bởi hệ là dương hay âm. (Và trong các mục sau của chương này khi ta thảo luận về *công thực hiện trên hệ*, ta cần nhớ rằng công này luôn luôn là giá trị đổi dấu của *công thực hiện bởi hệ*).

Mục đích của một động cơ nhiệt càng nhiều nhiệt lượng lấy từ nguồn nhiệt Q_H chuyển thành công càng tốt. Chúng ta đo mức độ kết quả của việc làm như vậy bằng

Hình 22.2a gợi ý một số đồ khai quát hoạt động của một động cơ. Trong mỗi chu kỳ, năng lượng dưới dạng nhiệt lượng Q_H lấy được từ một nguồn ở nhiệt độ T_H một phần rẽ ra thành công có ích W và phần còn lại bị thải ra (mất đi) dưới dạng nhiệt lượng Q_C cho một nguồn nhiệt ở nhiệt độ thấp hơn T_C .

Vì động cơ thực hiện 1 chu trình, nên nội năng E_{int} của khí trong xilanh, lại quay trở lại giá trị ban đầu tại cuối mỗi chu trình. Do đó $\Delta E_{int} = 0$ và từ định luật thứ nhất của nhiệt động lực học

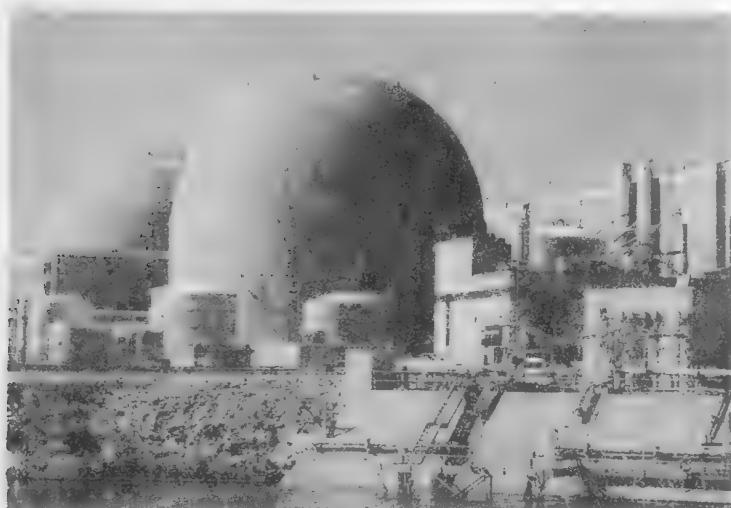
hiệu suất nhiệt của nó, định nghĩa là tỉ số giữa công thực hiện trong một chu trình - (cái mà ta thu được) và nhiệt lượng nó hấp thụ trong mỗi chương trình (cái mà ta phải trả). Sử dụng phương trình 22.1 ta có:

$$e = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|} \quad (22-2)$$

Phương trình 22-2 cho ta thấy rằng hiệu suất của một động cơ chỉ có thể bằng đơn vị hay 100% nếu $|Q_C| = 0$ có nghĩa là không có nhiệt lượng nhường cho nguồn nhiệt ở nhiệt độ thấp. Hình 22.2b là giản đồ của một động cơ lí tưởng như vậy. Từ những kinh nghiệm thu nhập được cho tới ngày nay. Các nhà vật lí đã kết luận rằng không thể chế tạo được một động cơ như vậy, nó vĩnh viễn dập tắt hi vọng của các nhà sáng chế trong việc thử nghiệm. Vì vậy một cách phát biểu khác của định luật thứ hai nhiệt động học lực học là "Không có động cơ lí tưởng".

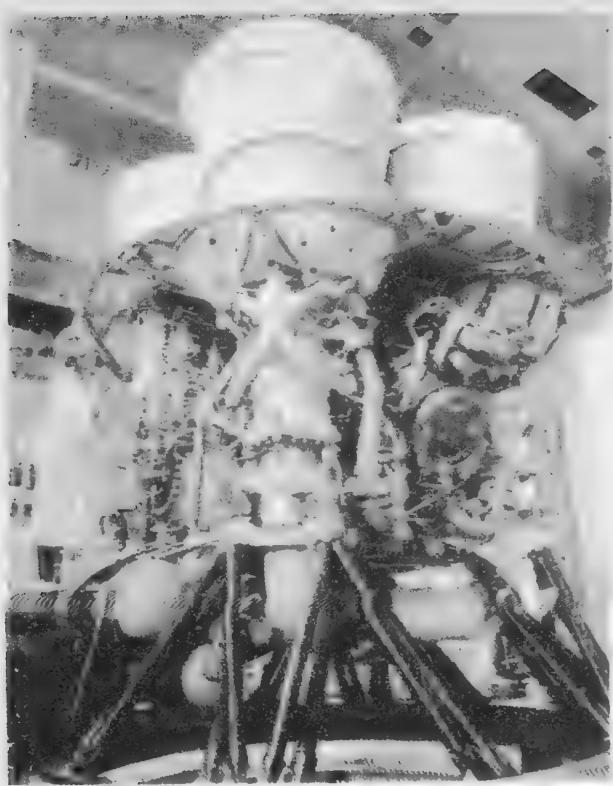
Động cơ thực

Chúng ta cần làm sáng tỏ mối liên hệ giữa động cơ có sơ đồ ở hình 22.2a và những động cơ trọng thế giới thực. Thí dụ ta xét nhà máy điện hạt nhân ở hình 22.3. Nguồn nhiệt độ cao kí hiệu T_H trên hình 22.2a chính là buồng của lò phản ứng hạt nhân, từ đó một dòng nước tuần hoàn để lấy nhiệt lượng cho máy phát dùng hơi nước. Nguồn nhiệt độ thấp kí hiệu T_C trên hình 22.2a chính là bình ngưng tụ hơi nước và được làm lạnh bởi nước sông bơm qua nó.



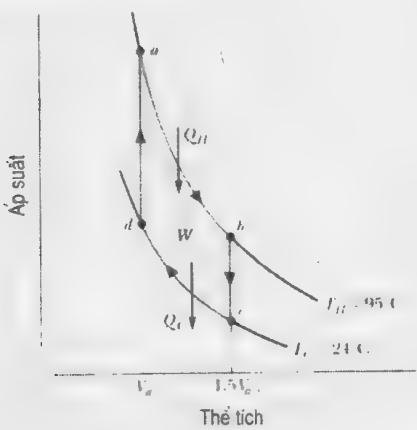
HÌNH 22.3. Nhà máy điện nguyên tử North Anna gần Charlottesville, bang Virginia, phát điện năng với công suất 900MW cùng một lúc nhờ thiết kế hợp lí, nó thải ra môi năng lượng công suất khoảng 2100MW vào con sông ở gần đó. Nhà máy này cũng như tất cả nhà máy khác tương tự nó, hạt nhân hay phi hạt nhân, đều thải nhiều năng lượng hơn số lượng mà nó cung cấp dưới dạng có ích cho mạng điện. Đây là một thí dụ thực của động cơ trên hình 22.2a

Chất công tác (tác nhân), ứng với khí lí tưởng trong xi lanh ở hình 22.1a, chính là nước khác hấp thụ nhiệt để trở thành hơi trong máy phát dùng hơi nước, khi đi qua tuốc bin thì thực hiện công trên tuốc bin, và sau đó đi qua bình ngưng tụ thì mất nhiệt mà trở thành nước ở trạng thái ban đầu. Không nên nhầm lẫn tác nhân với nhiên liệu. Mục đích của nhiên liệu (có thể là những miếng uran, than đá hoặc dầu) là duy trì nhiệt độ của nguồn nhiệt độ cao trong động cơ thực.



HÌNH 22.4. Động cơ QD - 170 này chế tạo năm 1980, là động cơ tên lửa mạnh nhất thế giới. Nó có thể sản ra công suất 190 MW.

Bài toán mẫu 22.1



HÌNH 22.5. Bài toán mẫu 22-1

hai nguồn nhiệt nóng và lạnh có nhiệt độ $T_H = 95^\circ\text{C}$ và $T_L = 24^\circ\text{C}$ và chạy với tốc độ 0,70 chu trình trong một giây. Chu trình gồm một đường dẫn nhiệt (ab), một đường nén (cd) và hai quá trình dẫn tích (bc và da) (a) Công toàn phần mà động cơ thực hiện trong mỗi chu trình là bao nhiêu?

Mối liên hệ giữa động cơ trong xe ôtô của bạn và sơ đồ hình 22.2a là phức tạp hơn, vì động cơ ôtô của bạn là *động cơ đốt trong*. Nguồn nhiệt độ cao được cung cấp-bên trong các xylanh-bởi sự đốt cháy của hỗn hợp nhiên liệu-không khí. Nguồn nhiệt độ thấp là không khí bên ngoài, nơi khí thừa thoát ra. Nhiên liệu là xăng, tác nhân là không khí và nhiên liệu đã cháy.

Một động cơ đốt trong mạnh hơn rất nhiều trình bày ở hình 24.4.

Giản đồ p - V cho động cơ Stirling đã lí tưởng hóa dùng khí lí tưởng. Công toàn phần do hệ thực hiện trong một chu trình là vùng tô đậm. Q_H biểu diễn nhiệt lượng cung cho hệ trong quá trình dẫn dẫn nhiệt ab - Q_L biểu diễn nhiệt lượng mà hệ mất trong quá trình nén dẫn nhiệt cd (trong quá trình dẫn tích bc nhiệt lượng được tích trữ trong một phần của động cơ, thường là một lưỡi kim loại. Cũng nhiệt lượng như vậy được lấy ra từ nơi tích trữ trong quá trình dẫn tích da). Động cơ thực hiện chu trình theo chiều kim đồng hồ (Như hình 22.2a).

Hình 22.5 là giản đồ p-V của một dạng lí tưởng hóa của động cơ stirling, mang tên Đức cha Robert Stirling của Nhà thờ Scotland, người đề nghị sơ đồ này năm 1816. Động cơ dùng $n = 8,1 \cdot 10^{-3}$ mol khí lí tưởng, làm việc với

Giải

Để tìm công toàn phần mà động cơ thực hiện trong một chu trình, đầu tiên ta tìm công mà khí thực hiện trong mỗi quá trình của bốn quá trình trên. Từ phương trình 21-8 công W_{ab} thực hiện trong quá trình giãn nở nhiệt từ thể tích V_a đến thể tích $1,5V_a$ (ở nhiệt độ T_H) là:

$$W_{ab} = nRT_H \ln \frac{1,5V_a}{V_a} = nRT_H \ln 1,5 \quad (22-3)$$

Tương tự như vậy, công W_{cd} thực hiện trong quá trình nén giãn nhiệt từ thể tích $1,5V_a$, đến thể tích V_a (ở nhiệt độ T_C) là:

$$W_{cd} = nRT_C \ln \frac{V_a}{1,5V_a} = -nRT_C \ln 1,5$$

$$\text{Ở đây ta dùng tính chất } \ln \frac{1}{A} = -\ln A$$

Trong các quá trình giãn nở bc và da ta biết từ chương 21 rằng không có công thực hiện, tức là $W_{bc} = W_{da} = 0$

Vậy công toàn phần mà động cơ thực hiện trong một chu trình là

$$\begin{aligned} W &= W_{ab} + W_{bc} + W_{cd} + W_{da} = nRT_H \ln 1,5 + 0 - nRT_C \ln 1,5 + 0 \\ &= nR \ln 1,5 (T_H - T_C) \end{aligned}$$

Thay các số liệu đã biết ta có:

$$\begin{aligned} W &= (8,1 \times 10^{-3} \text{ mol}) (8,31 \text{ J/mol.K}) (\ln 1,5) (95^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}) \\ &= 1,937 \approx 1,9 \text{ J.} \end{aligned} \quad (\text{Đáp số})$$

(b) công suất của động cơ là bao nhiêu?

Giải

Từ chương 7 ta thấy công suất P tính theo $P = \frac{W}{t}$ trong đó pV là công thực hiện trong mỗi chu trình và t là thời gian thực hiện một chu trình Vì động cơ chạy với tốc độ $0,70 \text{ s}^{-1}$, nên một chu trình cần $1/0,070 \text{ s}^{-1} = 1,429 \text{ s}$.

Từ đó suy ra:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1,937}{1,429} \approx 1,4 \text{ W} \quad (\text{Đáp số})$$

(c) Nhiệt lượng toàn phần truyền cho khí trong một chu trình là bao nhiêu?

Giải. Vì khí trở về trạng thái đầu sau mỗi chu trình, nên độ biến thiên nội năng ΔE_{int} trong một chu trình bằng 0. Từ định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, ta có thể viết:

$$\Delta E_{int} = Q - W$$

với $W = 1,937 \text{ J}$ và $\Delta E_{int} = 0$ ta có

$$Q = W = 1,937 \text{ J} \approx 1,9 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

(d) Hiệu suất của động cơ là bao nhiêu?

Giải. Để có thể dùng phương trình 22.2. ($e = \frac{|W|}{|Q_H|}$) đầu tiên ta tìm nhiệt lượng

Q_H truyền từ nguồn nóng cho chất khí của động cơ trong quá trình giãnձang nhiệt ab. Nhớ lại rằng trong quá trình giãnձang nhiệt, nhiệt lượng truyền cho hệ bằng công hệ thực hiện (xem bảng 21.5). Dùng phương trình 22.3 ta viết;

$$Q_H = W_{ab} = nRT_H \ln 1,5.$$

và sau đó với phương trình 22.4, ta có thể dùng phương trình 22.2, để viết

$$e = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{nR(T_H - T_C)}{nRT_H \ln 1,5} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (22-5)$$

Chú ý là đáp số này độc lập với giá trị của n, của áp suất và thể tích thực của khí. Bây giờ ta phải cẩn thận: dâu rằng *hiệu nhiệt độ* $T_H - T_C$ trên tỉ số, có thể tính theo hoặc độ celi hay kelvin, *nhiệt độ* T_H ở mẫu số phải tính theo Kenvin. Nó là 368K.

Chú ý tới điều đó ta có:

$$e = \frac{95^\circ\text{C} - 24^\circ\text{C}}{368\text{K}} = 0,1929 \approx 19\% \quad (\text{Đáp số})$$

Mặc dù động cơ này có hiệu suất hợp lý, nhưng công suất của nó quá nhỏ, Những động cơ Stirling thực, tinh vi hơn đang được thử nghiệm như là sự lựa chọn cho các động cơ ôtô truyền thống.

Bài toán mẫu 22.2

Một động cơ ôtô hiệu suất nhiệt là 25% chạy 95,0 chu trình trong một giây và thực hiện công với 120 mã lực.

(a) Động cơ thực hiện bao nhiêu công (tính theo J) trong mỗi chu trình.

Giải

Công thực hiện trong mỗi chu trình là:

$$W = \frac{(120 \text{ mã lực}) (746\text{W/mã lực}) (1\text{J/W.s})}{95,0 \text{ s}^{-1}} = 942 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

Đừng lắn các kí hiệu W là công và W là kí hiệu đơn vị công suất là oát.

(b) Động cơ hấp thụ (lấy từ nguồn nóng) là bao nhiêu trong mỗi chu trình.

Giải. Từ phương trình 22.2 ta có:

$$Q_H = \frac{W}{e} = \frac{942\text{J}}{0,220} = 4282 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

(c) Động cơ thải ra bao nhiêu nhiệt lượng và nhường cho nguồn lạnh bao nhiêu trong một chu trình.

Giải: Từ phương trình 22.1

$$|Q_C| = |Q_H| - |W| = 4282 \text{ J} - 942 \text{ J} = -3340 \text{ J}$$

Nhiệt thải ra khỏi động cơ là âm, do đó ta có:

$$Q_C = -3340 \text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

Chúng ta thấy động cơ này lấy 4282J nhiệt trong mỗi chu trình nó phải trả cho sự nén khí, thực hiện 942J công và thải đi 3340J nhiệt lượng cho các chất thải. Vậy năng lượng mà động cơ có thải đi nhiều gấp $3340/942$ hay 3,6 lần năng lượng biến thành có ích.

CÁCH GIẢI TOÁN

Chiến thuật 1

Ngôn ngữ của nhiệt động lực học - một ngôn ngữ phong phú, nhưng đôi khi dễ nhầm lẫn, được dùng trong nghiên cứu khoa học và kĩ thuật về nhiệt động lực học.

Bất chấp chuyên đề của bạn, bạn vẫn cần hiểu những ngôn ngữ đó nói lên gì. Bạn có thể gặp những lời phát biểu như nhiệt bị hấp thụ, bị lấy đi, bị loại trừ, bị trút đi, bị thoát đi, bị rút lấy, được cung cấp, thu nhận được, bị mất, bị trực xuất, như là nó chảy từ vật này qua vật khác (tựa hồ như nó là một chất lưu). Bạn cũng có thể gặp những lời phát biểu mô tả một vật như là *có nhiệt* (tựa hồ như nhiệt có thể cầm nắm hay sở hữu) hoặc như là nhiệt lượng của nó tăng hay giảm. Bạn cần luôn nhớ, từ *nhiệt lượng* nghĩa là gì.

"*Nhiệt là năng lượng có thể truyền từ một vật này sang một vật khác, nhờ sự khác nhau về nhiệt độ của các vật đó*".

Khi chúng ta đồng nhất một trong các vật như là hệ ta đang xét thì bất kì một sự truyền năng lượng nào vào hệ được coi là nhiệt lượng Q dương, còn bất kì một sự truyền năng lượng nào ra khỏi hệ được coi là nhiệt lượng Q âm.

Từ *công* cũng đòi hỏi một sự chú ý cẩn thận. Bạn cũng có thể gặp những lời phát biểu như là công được sản xuất, hoặc được sinh ra, hoặc kết hợp với nhiệt lượng, hoặc được chuyển từ nhiệt lượng. Ở đây từ *công* mang nghĩa sau đây:

"Công là năng lượng từ vật này sang vật khác nhờ có lực *giữa* chúng".

Khi chúng ta đồng nhất một trong các vật như là hệ ta xét thì bất kì một sự truyền năng lượng nào ra ngoài hệ được gọi hoặc là công dương W thực hiện *bởi* hệ, hoặc là công âm W thực hiện *trên* hệ. Và bất kì một sự chuyển năng lượng nào vào trong hệ thì được gọi hoặc là công âm, thực hiện *bởi* hệ, hay công dương thực hiện *trên* hệ (Giới từ dùng ở đây là rất quan trọng). Rõ ràng là điều này có thể lẩn lộn. Khi bạn gặp từ *công* phải bạn đọc cẩn thận để xác định dụng ý.

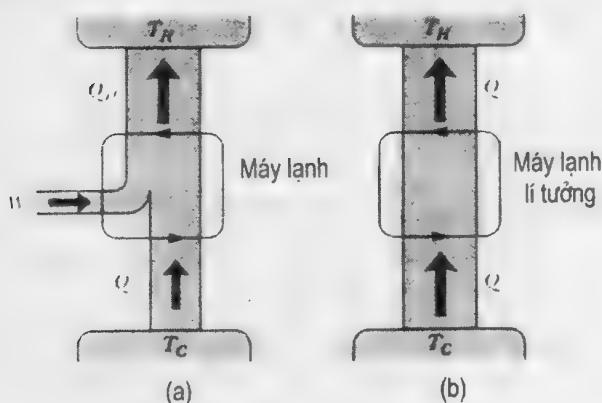
22.3. MÁY LẠNH

Nhiệt truyền một cách tự nhiên từ nơi nóng đến nơi lạnh như là từ Mặt Trời tới Trái Đất. Chẳng bao giờ sự truyền nhiệt có thực lại xảy ra theo chiều ngược lại. Ta biểu thị quan sát này bằng một cách phát biểu của định luật thứ hai của nhiệt động lực học.

ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC (dạng thứ hai)

Nhiệt lượng không thể truyền từ một vật này sang một vật khác nóng hơn mà không có sự thay đổi khác xảy ra.

Thiết bị chuyển năng lượng dưới dạng nhiệt lượng từ nơi lạnh sang nơi nóng gọi là máy lạnh. Hình 22.6 a trình bày sự chuyển nhiệt lượng và công. Nhiệt lượng Q_C được lấy đi từ nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp và một công W nào đó được thực hiện trên hệ do một tác nhân ngoài, năng lượng chuyển dưới dạng nhiệt lượng và công được kết hợp lại và được nhường dưới dạng nhiệt lượng Q_H cho một nguồn có nhiệt độ cao. Trong tủ lạnh gia đình của bạn, nguồn nhiệt độ thấp là buồng lạnh, trong đó để thực phẩm. Nguồn có nhiệt độ cao là phòng, nơi đặt tủ lạnh. Công được ghi rõ trên bảng hướng dẫn sử dụng, thực hiện bởi môtơ chạy máy. Trong máy điều hòa không khí nguồn nhiệt độ thấp là phòng cần làm lạnh, nguồn nhiệt độ cao là không khí bên ngoài. Trong đó đặt, các cuộn ống ngưng tụ và như trên, công là do môtơ của máy thực hiện.



HÌNH 22.6

Chúng ta biểu diễn một máy lạnh bằng một vòng có mũi tên chỉ ngược chiều kim đồng hồ.

(a). Trong một máy lạnh có thực, nhiệt lượng được rút ra từ nguồn có nhiệt độ thấp, tốn một công nào đó và năng lượng tương đương với cả hai được thả ra dưới dạng nhiệt cho nguồn có nhiệt độ cao. (b). Một máy lạnh lý tưởng không cần một công nào cả. Chưa có ai chế tạo được một máy lạnh như vậy.

Mục đích của cả tủ lạnh lẫn máy điều hoà không khí là chuyển năng lượng dưới dạng nhiệt từ một nguồn nhiệt độ thấp sang một nguồn nhiệt độ cao, sao cho công thực hiện trên hệ càng ít càng tốt. Ta định giá trị của các máy như vậy bằng (hiệu suất của máy lạnh) định nghĩa là:

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|} \quad (22-6)$$

Các kỹ sư thiết kế, những người sử dụng đều muốn hiệu suất của máy lạnh càng cao càng tốt. Với tủ lạnh gia đình giá trị điển hình là 5 còn với máy điều hòa không khí giá trị điển hình là khoảng 2-3.

Hình 22.6b trình bày một máy lạnh "lí tưởng" một máy làm lạnh mà không cần tốn một công nào cả, nó có hiệu suất bằng vô cùng. Kinh nghiệm lâu dài cho ta thấy không thể chế tạo được những thiết bị như vậy. Vì vậy một cách khác diễn đạt định luật thứ hai của nhiệt động lực học (dạng thứ hai) là *không có máy lạnh lí tưởng*.

Điều thứ hai của việc phi lí mà ta nói tới ở phần 22.1 sự tăng một cách tự phát hiệu nhiệt độ ở giữa hai đầu của chiếc thia, là tương đương với một máy lạnh lí tưởng. Trong chiếc thia, năng lượng phải chuyển một cách tự phát dưới dạng nhiệt lượng từ nơi lạnh sang nơi ấm, là sự vi phạm dạng thứ hai của định luật thứ hai.

Bài toán mẫu 22.3

Một tủ lạnh già đình có hiệu suất K là 4,70 rút nhiệt từ buồng lạnh với tốc độ 250J trong mỗi chu trình.

a. Cần bao nhiêu công trong một chu trình để tủ lạnh đó hoạt động?

Giải. Từ phương trình 22.6 ta có:

$$|W| = \frac{|Q_c|}{K} = \frac{250\text{J}}{4,7} = 53\text{ J}$$

53J này được chuyển vào hệ. Do đó là công thực hiện trên tủ lạnh là $W = +53\text{J}$.

Ta cũng có thể nói, trong tình trạng này, công thực hiện bởi hệ là -53J . Tuy nhiên, chính cách nói trước lại là rất quan trọng với người trả tiền cho hoạt động của tủ lạnh.

b. Trong mỗi chu trình có bao nhiêu nhiệt lượng nhả ra cho căn phòng dùng làm nguồn nhiệt cao của tủ lạnh?

Giải. Phương trình 22.1 là định luật thứ nhất của nhiệt động lực học cho các thiết bị tuân hoán, là đúng cho cả máy lạnh lẫn động cơ nhiệt. Vậy ta có:

$$|Q_H| = |W| + |Q_c| = 53\text{ J} + 250\text{ J} = 303\text{ J} \quad (\text{Đáp số})$$

Ta thấy tủ lạnh cũng là một buồng sưởi nóng hiệu quả. Chỉ mất công 53J ta có 303J nhiệt lượng nhường cho căn phòng từ các cuộn ngưng tụ đặt phía sau máy. Nếu bạn sưởi nóng phòng bằng lò sưởi điện, bạn chỉ thu được 53J nhiệt lượng cho 53J công mà bạn đã trả. Hãy suy nghĩ về sự "khôn ngoan" của việc thử làm mát bếp trong ngày nóng bằng cách để cửa tủ lạnh mở!

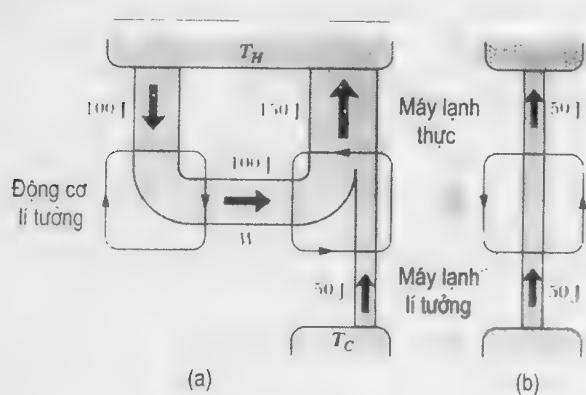
22.4. ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Những cách diễn đạt ngắn hơn của hai dạng của định luật thứ hai của nhiệt động lực học là:

Dạng thứ nhất: Không có động cơ lí tưởng.

Dạng thứ hai: Không có máy lạnh lí tưởng

Dẫu cho những cách phát biểu này có vẻ như hoàn toàn khác nhau, ta muốn chứng minh rằng chúng hoàn toàn tương đương với nhau với nghĩa là sự vi phạm của dạng này, kéo theo sự vi phạm dạng kia. Điều đó có nghĩa là, nếu bạn thành công trong việc chế tạo được một động cơ lý tưởng, thì bạn cũng có thể chế tạo được một máy lạnh lý tưởng và ngược lại.



HÌNH 22-7

- (a) Công W do một động cơ (xem như lý tưởng) thực hiện dùng để chạy một máy lạnh thực.
- (b) Tổ hợp hai thiết bị này (mà ta gọi là thiết bị X) hoạt động như là một máy lạnh lý tưởng.

Xét một thí dụ bằng số. Trên h.22.7a, động cơ lý tưởng lấy 100J từ nguồn nhiệt độ cao và biến nó thành 100J. Công phần máy lạnh của tổ hợp lấy 50J từ nguồn có nhiệt độ thấp, kết hợp với 100J do động cơ cung cấp và nhả ra 150J cho nguồn có nhiệt độ cao. Như h.22.7b cho thấy hiệu quả toàn phần của thiết bị X là lấy từ nguồn nhiệt độ thấp một nhiệt lượng 50J và chuyển nó cho nguồn nhiệt độ cao mà không cần công nào từ bên ngoài. Thiết bị X là một máy lạnh lý tưởng. Như vậy, nếu bạn có thể chế tạo được một động cơ lý tưởng thì bạn cũng có thể chế tạo được máy lạnh lý tưởng.

Coi như một bài tập, bạn có thể chứng minh rằng nếu ta có thể chế tạo được một máy lạnh lý tưởng thì ta cũng có thể dùng nó để biến một động cơ có thực thành động cơ lý tưởng. Hai cách phát biểu của định luật thứ hai của nhiệt động lực học thực chất là khẳng định cùng một định luật. Nếu bạn vi phạm cái này, bạn tự động vi phạm cái kia.

22.5. MỘT ĐỘNG CƠ LÝ TƯỞNG

Không có động cơ lý tưởng. Điều đó có nghĩa là không có động cơ có thực nào có hiệu suất 100%. Một câu hỏi còn lại là nếu không phải 100% thì hiệu suất của một động cơ thực có thể là bao nhiêu? Để trả lời câu hỏi này, ta phải xét kỹ các hoạt động chi tiết của động cơ.

Giả thiết đầu tiên rằng, bạn chế tạo được một động cơ lý tưởng. Bạn có thể dùng động cơ này để cung cấp công cho một máy lạnh (thực!) và như vậy biến nó thành một máy lạnh lý tưởng. Hình 22.7 trình bày làm như vậy bằng cách nào. Ghép động cơ và máy lạnh với nhau thành một máy độc nhất và điều chỉnh sao cho công thực hiện trong một chu trình bởi động cơ đúng bằng lượng công cần thiết để chạy máy lạnh trong một chu trình. Khi đó sẽ không có công bên ngoài bao gồm trong tổ hợp động cơ + máy lạnh mà ta gọi là thiết bị X.

Khi nghiên cứu các chất khí ta đã tránh mọi sự phức tạp của khí thực bằng cách đưa ra một ý tưởng có ích: khí lý tưởng. Ích lợi của nó nằm ở sự kiện là khí lý tưởng là đại diện cho tính chất giới hạn của khí thực. Khi nghiên cứu động cơ, chúng ta cũng theo một cách như vậy. Chúng ta tránh những sự phức tạp của động cơ thực bằng cách đưa vào một ý tưởng hữu ích khác: *động cơ lý tưởng*. Một động cơ lý tưởng. Theo cách mà ta sẽ khai thác biểu diễn cách xử sự giới hạn của động cơ thực.

Động cơ lý tưởng của ta gồm một bộ pittông xylanh chứa một chất khí lý tưởng. Một nguồn nhiệt ở nhiệt độ T_H , và một nguồn nhiệt khác ở nhiệt độ T_C , và cũng có một giá đỡ cách nhiệt. Khí lý tưởng tạo thành hệ mà ta có thể áp dụng các định luật của nhiệt động lực cho nó. Xy lanh với pittông có tải trọng, giá cách nhiệt và hai nguồn nhiệt tạo thành *môi trường của hệ*.

Đầu tiên chúng ta giả thiết rằng động cơ lý tưởng của ta không có ma sát, không có chuyển động xoáy của chất lưu, và không có những trao đổi nhiệt lượng mà ta không muốn. Đó là tất cả các điều hiển nhiên mà một kỹ sư cố gắng loại trừ. Ngoài những điều đó ra, chúng ta còn giả thiết rằng, tất cả các quá trình tạo thành chu trình hoạt động của động cơ: Mọi sự giãn, nén, thay đổi nhiệt độ và áp suất đều được tiến hành hết sức chậm, có nghĩa là ta giả thiết đó là những quá trình *chuẩn tĩnh*. Làm như vậy ta chắc rằng hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt động tại mọi thời điểm và ta có thể vẽ mọi trạng thái của hệ trên giản đồ p.V.

Một quá trình tiến hành theo cách như thế gọi là *quá trình thuận nghịch*, mà cách thử nghiệm là quá trình có thể được tiến hành theo chiều ngược lại chỉ cần tạo những sự thay đổi nhỏ - Nói một cách chặt chẽ, những biến đổi vi phân của các điều kiện bên ngoài.

Chẳng hạn nếu ta từ từ bỏ tải trọng khỏi pittông chịu tải, làm khí giãn ra, ta có thể tại mỗi giai đoạn-quyết định *thêm* thay cho *bớt* giá lượng phụ tải, như vậy chuyển sự giãn thành nén.

Vì mọi quá trình của nó là thuận nghịch, nên toàn bộ chu trình cũng là thuận nghịch. Điều đó có nghĩa là, nếu muốn một động cơ có thể chạy theo chiều ngược như một máy lạnh lí tưởng, sự trao đổi nhiệt và công thay đổi về dấu, nhưng không thay đổi về độ lớn. Động cơ lí tưởng của ta là một động cơ thuận nghịch. Thật vậy, nó lí tưởng chính là ở chỗ đó.

22.6. CHU TRÌNH CARNOT

Ta còn phải mô tả một chu trình, trong đó ta sẽ buộc chất khí lí tưởng dùng phải làm chất công tác trong động cơ lí tưởng, thuận nghịch của ta. Ta chọn *chu trình Carnot*^(*) gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt. Hình 22.8 gợi ý cơ

^(*) Gọi tên theo nhà khoa học và kĩ sư pháp, người đầu tiên đề nghị khái niệm này năm 1824.

chế của quá trình này. Hình 22.9 trình bày chu trình trên giản đồ p.V bốn bước sau đây lập thành chu trình.

Bước 1: Bắt đầu với xilanh ở nguồn nhiệt độ cao sao cho hệ là chất khí lý tưởng ở trạng thái được biểu diễn bởi điểm a trên hình 22.9.

Dần dần bỏ một vài tải trọng khỏi pittông, cho phép hệ giãn chậm tới điểm b ở nhiệt độ không đổi T_H . Trong quá trình này, nhiệt lượng Q_H được hệ hấp thụ từ nguồn có nhiệt độ cao. Vì quá trình là đẳng nhiệt, nên nội năng của hệ không đổi và toàn bộ nhiệt lượng hệ hấp thụ được biến thành công dương do hệ thực hiện trong quá trình giãn.

Bước 2: Đặt xilanh lên giá cách nhiệt, rồi bằng cách bỏ bớt tải trọng khỏi pittông để hệ tiếp tục giãn tới điểm c trên hình 22.9. Sự giãn là đoạn nhiệt vì không có nhiệt lượng vào hay ra khỏi hệ. Hệ thực hiện công dương khi nâng pittông tiếp lên cao và nhiệt độ của hệ giảm xuống T_C , vì năng lượng dùng để thực hiện công phải lấy từ nội năng của hệ.

Bước 3: Đặt xilanh lên nguồn nhiệt lạnh hơn. Bằng cách thêm dần dần tải trọng lên pittông, nén khí chậm chạp tới điểm d ở nhiệt độ không đổi T_C . Trong quá trình này, nhiệt lượng Q_C được chuyển từ chất khí sang nguồn nhiệt. Vì quá trình nén khí là đẳng nhiệt nên Q_C bằng công âm thực hiện bởi chất khí khi pittông cùng với tải trọng hạ xuống.

Bước 4: Đặt xilanh lên giá cách nhiệt và tăng thêm nữa tải trọng để nén khí từ từ trở về trạng thái ban đầu a của hình 22-9, do đó hoàn thành chu trình. Quá trình nén là đoạn nhiệt vì không có nhiệt vào hay ra khỏi hệ.

Tính chất đặc biệt của động cơ Carnot-như ta thấy sau này-là hiệu suất nhiệt của nó có thể viết:

$$e_{car} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (\text{động cơ Carnot}) \quad (22-7)$$

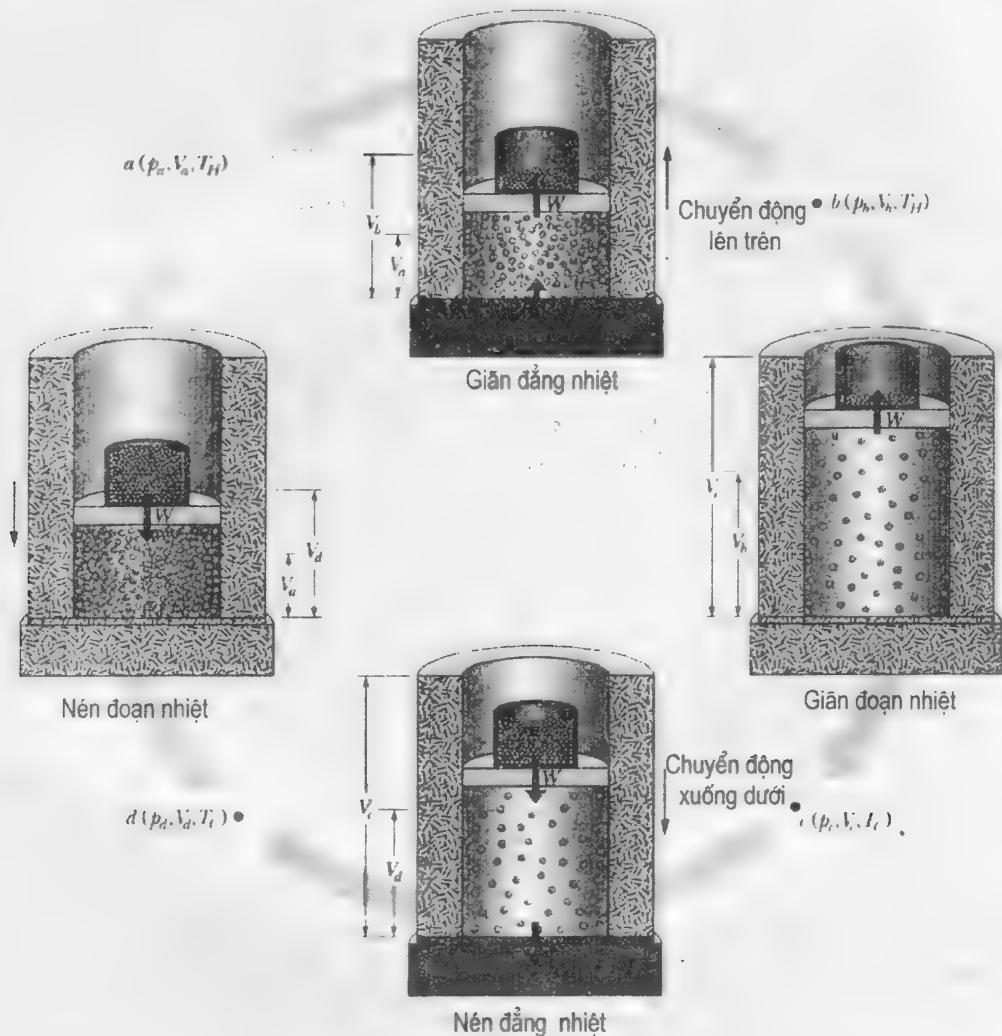
Như vậy, hiệu suất của động cơ Carnot phụ thuộc chỉ vào nhiệt độ của hai nguồn nhiệt mà giữa chúng động cơ hoạt động. Tầm quan trọng của động cơ Carnot là ở chỗ, như bạn sẽ thấy trong mục tiếp theo. Không có một động cơ nào làm việc giữa hai nguồn nhiệt độ lại có thể có hiệu suất cao hơn một động cơ Carnot làm việc với cùng hai nguồn nhiệt đó. Chính trên ý nghĩa đó, động cơ Carnot là đại diện cho tính chất giới hạn của động cơ thực. Nếu như một kỹ sư thực hành, bạn cố gắng nâng cao hiệu suất của một động cơ (hoàn toàn có thực tế) thì sẽ là có ích nếu biết rằng có một giới hạn cơ bản quyết định bởi các định luật của nhiệt động lực học, mà bạn không có khả năng vượt qua được.

Bạn không thể vượt quá hiệu suất của một động cơ Carnot lí tưởng, ngay cả với một động cơ lí tưởng khác. Chú ý, như một ví dụ, rằng biểu thức của phương trình 22.5 cho hiệu suất của động cơ lý tưởng Stirling phù hợp với phương trình 22.7 cho một động cơ Carnot (chúng ta sẽ trả lại sự phù hợp này trong mục sau).

Một động cơ Carnot-vì tính thuận nghịch của nó-Có thể chạy theo chiều ngược như một máy lạnh Carnot như ta sẽ thấy sau này, hiệu suất của nó tính theo:

$$K_{car} = \frac{T_c}{T_H - T_c} \quad (\text{máy lạnh Carnot}) \quad (22-8)$$

Phương trình 22.8 cho ta thấy hệ số thực hiện của máy lạnh Carnot tăng lên khi $T_H \rightarrow T_c$. Thật kì lạ, ta càng cần ít độ lạnh, máy càng thực hiện tốt hơn.



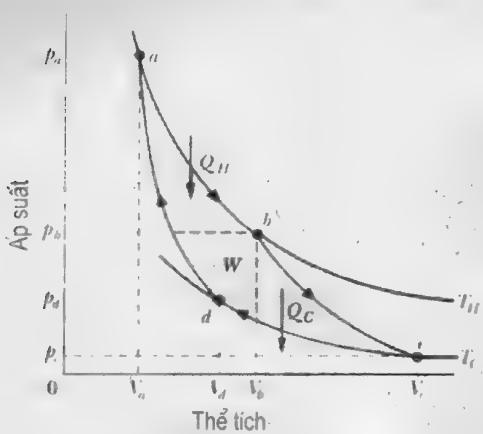
HÌNH 22.8

Một chu trình Carnot. Các điểm a, b, c và d ứng với các điểm cùng ký hiệu trên hình 22.9. Hệ pittông tròn bày các bước trung gian trong các quá trình nối các điểm kề nhau của chu trình. Trên cùng, trong bước 1, sự giảm tải trọng trên pittông và sự chuyển nhiệt từ nguồn nhiệt có nhiệt độ cao cho phép, chất khí lý tưởng trong xilanh giãn đẳng nhiệt từ thể tích V_a tới thể tích V_b . Bên phải trong bước 2, một tải trọng nhỏ hơn nữa và hệ cách nhiệt cho phép khí giãn đoạn nhiệt tới thể tích lớn hơn V_c . Ở phần dưới, trong bước 3, sự tăng tải trọng và sự mất nhiệt cho nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp làm chất khí bị nén đẳng nhiệt tới thể tích V_d . Bên trái, trong bước 4, với một tải trọng lớn hơn nữa và hệ cách nhiệt làm cho chất khí bị nén đoạn nhiệt tới thể tích nhỏ nhất V_a .

Chứng minh các phương trình 22.7 và 22.8

Đọc theo đường đẳng nhiệt ab trên hình 22.9, nhiệt độ giữ không đổi. Vì khí là lý tưởng, nên nội năng của nó chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ cũng giữ không đổi. Vậy từ

Dinh luat thu nhat cua nhanh động lực hoc $\Delta E_{in} = 0$ va do do nhanh luhong chuyen tu nguon nhanh co nhanh do cao phai bang cong thuc hien do khí gian.



HÌNH 22.9. Giản đồ p-V cho chu trình Carnot minh họa trên hình 22.8. Chất công tác là một chất khí lí tưởng.

Từ phương trình 21.8, ta có:

$$|Q_H| = |W_H| = nRT_H \ln \frac{V_b}{V_a}$$

Tương tự, với quá trình đắng nhanh cd trên hình 22.9, ta có thể viết:

$$|Q_C| = |W_C| = nRT_C \ln \frac{V_C}{V_D}$$

Chia hai phương trình này cho nhau, ta suy ra:

$$\frac{|Q_H|}{|Q_C|} = \frac{T_H (\ln V_b / V_a)}{T_C (\ln V_c / V_d)} \quad (22-9)$$

Phương trình 21.38 cho phép ta viết hai quá trình đoạn nhanh bc và dc.

$$T_H V_b^{\gamma-1} = T_C V_c^{\gamma-1} \text{ và } T_H V_a^{\gamma-1} = T_C V_d^{\gamma-1}$$

Chia hai phương trình này với nhau cho ta kết quả.

$$\frac{V_b^{\gamma-1}}{V_a^{\gamma-1}} = \frac{V_c^{\gamma-1}}{V_d^{\gamma-1}}$$

$$\text{hay là: } \frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d} \quad (22-10)$$

Kết hợp 22.9 và 22.10 ta suy ra:

$$\frac{|Q_H|}{|Q_C|} = \frac{T_H}{T_C} \quad (22-11)$$

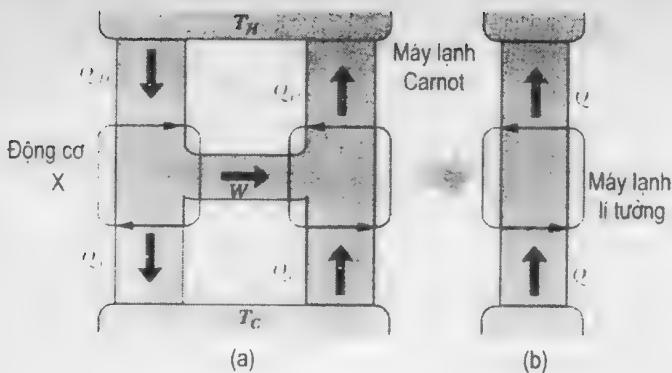
Kết hợp kết quả này với phương trình 22.2. cho ta ngay phương trình 22.7; kết hợp với phương trình 22.3. cho ta phương trình 22.8. Đó là những phương trình mà ta phải chứng minh.

22.7. HIỆU SUẤT CỦA CÁC ĐỘNG CƠ THỰC

Tâm quan trọng của động cơ Carnot được tóm lại trong định lý sau: "Không có một động cơ nào làm việc giữa hai nguồn nhiệt độ cho trước lại có hiệu suất lớn hơn hiệu suất của động Carnot làm việc với cùng hai nhiệt độ đó".

Để chứng minh lời phát biểu này, ta giả thiết, một nhà sáng chế làm việc, trong xưởng của mình, chế tạo được động cơ X mà hiệu suất e_X , theo ông là lớn hơn e_{car} , hiệu suất của động cơ Carnot, nghĩa là:

$$e_X > e_{car} \quad (\text{lời tuyên bố}) \quad (22.12)$$



HÌNH 22.10

a) Động cơ X kéo máy lạnh Carnot.

b) Nếu như lời tuyên bố động cơ X có hiệu suất lớn hơn động cơ Carnot, thì tổ hợp trình bày ở (a) sẽ tương đương với một máy lạnh kí tưởng trình bày ở đây (b). Điều này vi phạm định luật thứ hai của nhiệt động lực học, vì vậy ta kết luận rằng động cơ X không thể có hiệu suất lớn hơn động cơ Carnot.

Trong đó vé phải của bất đẳng thức là hiệu suất của động cơ Carnot, khi nó chạy như một động cơ. Bất đẳng thức này đòi hỏi:

$$|Q_H| > |Q'_H| \quad (22-13)$$

Vì công thực hiện bởi máy X bằng công thực hiện trên máy lạnh Carnot nên, từ phương trình 22.1, ta có:

$$|Q_H| - |Q_C| = |Q'_H| - |Q'_C|$$

mà ta có thể viết là:

$$|Q_H| - |Q'_H| = |Q_C| - |Q'_C| = Q \quad (22-14)$$

Từ phương trình 22.13, đại lượng Q trong phương trình 22.14 phải dương.

So sánh phương trình 22.10 với phương trình 22.7 cho ta thấy hiệu quả thực của động cơ X và máy lạnh Carnot làm việc như một tổ hợp là chuyển nhiệt lượng Q từ nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp tới nguồn nhiệt có nhiệt độ cao, mà không đòi hỏi công. Tổ hợp này tác dụng như một máy lạnh lý tưởng ở hình 22.10b, mà sự tồn tại là vi phạm định luật thứ hai của nhiệt động lực học.

Phải có một cái gì đó sai lầm trong giả thiết của chúng ta; đó chỉ có thể là phương trình 22.12. Ta kết luận rằng, không một động cơ có thực nào có hiệu suất lớn hơn hiệu suất của động cơ Carnot làm việc giữa hai nhiệt độ ấy. Nhiều nhất, nó chỉ có thể có hiệu suất bằng hiệu suất Carnot.

Chú ý về cách chứng minh

Trong chứng minh, chúng ta xét động cơ Carnot của mục 22.6 là một động cơ khí lý tưởng là chất công tác. Nó có thể là một động cơ Carnot với các chất khí công tác khác (chẳng hạn amôniac, hay etanol) hay một động cơ thuận nghịch nào đó khác dùng một chu trình khác có hiệu quả hơn động cơ Carnot mà ta xét không?

Chúng ta hãy ghép động cơ X với một động cơ Carnot, làm việc theo chiều ngược như một máy lạnh Carnot, như trên hình 22.10a. Ta điều chỉnh máy lạnh Carnot sao cho công mà nó đòi hỏi trong một chu trình đúng bằng công nó được động cơ X cung cấp.

Nếu phương trình 22.12 là đúng, thì từ định nghĩa của hiệu suất (xem phương trình 22.2) ta phải có:

$$\frac{|W|}{|Q'_H|} > \frac{|W|}{|Q_H|}$$

Đó là điều vô vọng. Ta có thể chứng minh rằng, mọi động cơ thuận nghịch làm việc giữa hai nhiệt độ cho ta đúng cùng một hiệu suất như một động cơ Carnot dùng một chất khí lí tưởng làm việc với cùng các nhiệt độ đó.

Vì thế cho nên, hiệu suất Carnot cho bởi phương trình 22.7 có thể mở rộng cho mọi động cơ thuận nghịch, không cần chú ý tới chu trình mà nó sử dụng (thí dụ: Hiệu suất có cùng một giá trị như phương trình 22.5 cho động cơ Stirling thuận nghịch) và đòi hỏi là khí lý tưởng đối với chất công tác không phải là chủ yếu. Cách chứng minh cũng giống như chúng ta vừa làm cho động cơ X.

Bài toán mẫu 22.4

Tuabin trong một nhà máy nhiệt điện dùng hơi nước, lấy hơi ở nồi hơi có nhiệt độ 520°C và thả nó vào buồng ngưng ở 100°C . Hiệu suất cực đại khả dĩ của nó là bao nhiêu?

Giải. Hiệu suất cực đại của tuabin là hiệu suất của động cơ Carnot làm việc cũng với hai nhiệt độ ấy. Từ phương trình 22.7 ta có:

$$e_{\max} = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{793\text{K} - 373\text{K}}{793\text{K}} = 0,53 \text{ hay } 53\% \quad (\text{Đáp số})$$

Vì ma sát, vì chuyển động xoáy, những chất ma sát nhiệt ngoài ý muốn, hiệu suất thực chỉ khoảng 40% với các động cơ hơi nước loại như vậy. Chú ý rằng hiệu suất lí thuyết chỉ phụ thuộc vào hai nhiệt độ mà không phụ thuộc vào áp suất và các yếu tố khác.

Hiệu suất lí thuyết của động cơ ôtô thông thường vào khoảng 56%, nhưng trong các điều kiện thực tế làm nó giảm chỉ còn khoảng 25%.

Bài toán mẫu 22.5

Một nhà sáng chế tuyên bố đã tạo được một động cơ mà trong một khoảng thời gian nào đó lấy 110MJ nhiệt lượng ở 415K và nhả 50MJ nhiệt lượng ở 212K , trong khi công sinh ra là $16,7\text{kWh}$. Bạn có đầu tư tiền vào dự án này không?

Giải. Từ p.t 22.2, hiệu suất được tuyên bố của thiết bị này là:

$$e = \frac{|W|}{|Q|} = \frac{16,7\text{kW} \cdot 3,6\text{MJ / kWh}}{110\text{MJ}} = 0,55 \text{ hay } 55\%$$

Từ p.t 22.7, hiệu suất lí thuyết cực đại với hai nhiệt độ đã cho là:

$$e = \frac{T_H - T_C}{T_H} = \frac{415\text{K} - 212\text{K}}{415\text{K}} = 0,49 \text{ hay } 49\%$$

Hiệu suất tuyên bố lớn hơn hiệu suất lí thuyết cực đại. Lời tuyên bố tốt nhất: không đầu tư.

Bài toán mẫu 22.6

Một *bơm nhiệt* là một thiết bị hoạt động như một máy lạnh, có thể sưởi ấm nhà bằng cách lấy nhiệt lượng từ ngoài nhà rồi thực hiện trên hệ một công nào đó và nhả nhiệt lượng vào trong nhà.

Giả thiết nhiệt độ bên ngoài là -10°C và bên trong phải giữ ở 22°C . Cần phải nhường nhiệt cho bên trong với tốc độ 16kW để bù cho sự mất nhiệt thông thường. Phải cung cấp năng lượng cho bơm nhiệt với tốc độ tối thiểu là bao nhiêu?

Giải. Từ p.t 22.8 hiệu suất cực đại của bơm nhiệt hoạt động như máy lạnh là:

$$K = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{(273 - 10)\text{K}}{(273 + 22)\text{K} - (270 - 10)\text{K}} = 8,22$$

ta có thể viết lại pt 22.6 như sau:

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_H| - |W|}{|W|}, \text{ giải với } |W| \text{ và chia cho thời gian để tính công suất, ta}$$

được:

$$\frac{|W|}{t} = \frac{|Q_H| / t}{K + 1} = \frac{16\text{kW}}{8,22 + 1} = 1,7 \text{ kW} \quad (\text{đáp số})$$

Ở đây có điều "kì lạ" của máy bơm nhiệt - Khi dùng máy bơm nhiệt như một máy lạnh để làm lạnh không gian rộng bên ngoài bạn có thể nhả 16kW vào trong nhà mà chỉ cần trả có $1,7\text{kW}$ để chạy máy bơm. Thực tế, $1,7\text{kW}$ là đòi hỏi lí thuyết tối thiểu vì dựa trên hiệu suất lí tưởng. Trong thực tế, công suất cần thiết lớn hơn, nhưng còn tiết kiệm hơn rất nhiều so với sưởi ấm nhà trực tiếp bằng điện chẳng hạn. Trong trường hợp đó bạn phải trả trực tiếp cho mỗi kW của sự truyền nhiệt lượng. Khi nhiệt độ bên ngoài lớn hơn bên trong, bơm nhiệt có thể sử dụng như một máy điều hoà không khí. Tuy nhiên, làm việc như một máy lạnh, bây giờ nó bơm nhiệt từ trong nhà ra không gian rộng bên ngoài. Một lần nữa, công phải được thực hiện (và phải trả tiền), nhưng năng lượng lấy ra dưới dạng nhiệt lượng từ trong nhà vượt quá năng lượng tương đương của công thực hiện. Lại một món hời nhiệt động lực học nữa!

22.8. ENTROPI - MỘT BIẾN SỐ MỚI

Mỗi định luật trong ba định luật của nhiệt động lực học liên hệ với một biến số nhiệt động lực học xác định. Với định luật thứ nhất (Xem chương 19) biến số là nhiệt độ T . Với định luật thứ nhất (Xem chương 20) đó là nội năng E_{int} . Với định luật thứ hai, biến số là một đại lượng mà bạn chưa hề gặp từ trước, nó được gọi là *entropi* S .

Trong mục này, ta phải định nghĩa entropi và trong các mục sau phải phát biểu định luật thứ hai của nhiệt động lực học theo biến số này.

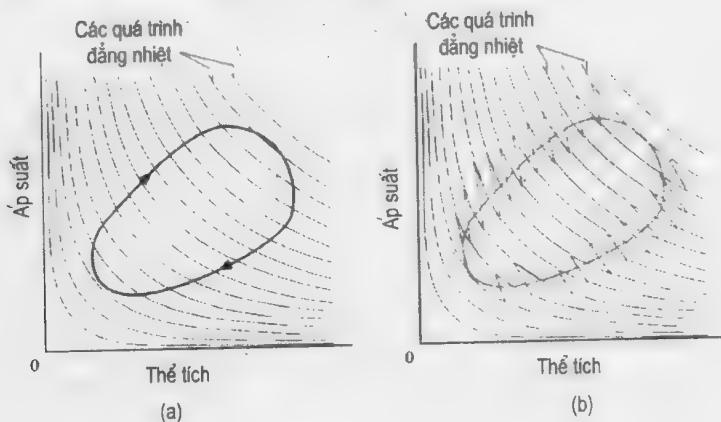
Chúng ta bắt đầu bằng cách xét chu trình Carnot của h.22.9, với nó, ta có (từ p.t22.11)

$$\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_C|}{T_C} \quad (22-14)$$

Bây giờ chúng ta bỏ kí hiệu giá trị tuyệt đối đi mà thừa nhận rằng trong quá trình mà chu trình Carnot thực hiện theo chiều kim đồng hồ là động cơ, và theo chiều ngược lại là máy lạnh, Q_H , Q_C có những dấu đại số trái nhau. Hiểu như vậy, ta có thể viết phương trình trên như sau:

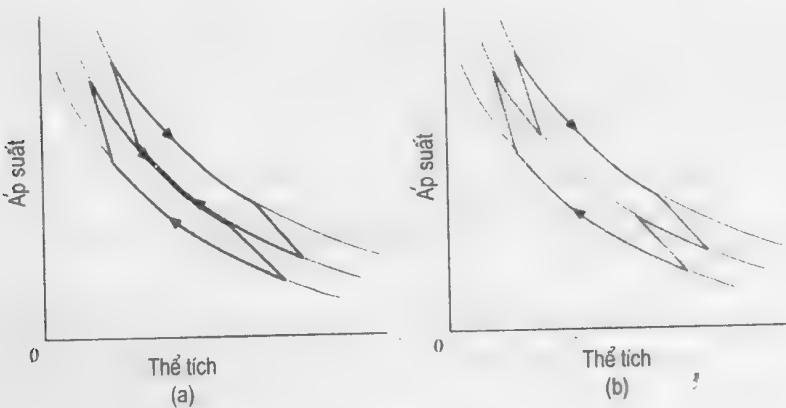
$$\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \quad (22-15)$$

Vì Q_H và Q_C là nhiệt lượng trao đổi chu trình (kín) của hình 22.9 nên phương trình 2.15 cho ta biết rằng tổng đại số của đại lượng Q/T lấy theo chu trình bằng 0.



HÌNH 22.11

- a) Một chu trình thuận nghịch bất kỳ trên giản đồ p.V có một họ các đường đẳng nhiệt làm nền.
- b) Chu trình được biểu diễn bằng tập hợp các chu trình Carnot kề nhau.



HÌNH 22.12

- a) Hai trong các chu trình của hình 22.11.
- b) Chu trình tương đương với chúng.

Bây giờ ta muốn khái quát hoá p.t 22.15 mà viết nó dưới dạng có thể áp dụng không những chỉ cho chu trình Carnot mà còn cho một chu trình thuận nghịch bất kì. Hình 22.11 a trình bày một chu trình khái quát hoá như vậy, được chồng lên họ các đường đẳng nhiệt. Ta có thể làm gần đúng chu trình bất kì này theo ý muốn bằng cách nối các đường đẳng nhiệt kề nhau bằng các đường đoạn nhiệt ngắn, chọn thích hợp như trên hình 22.16b. Bằng cách như vậy, ta tạo được một tập hợp các chu trình Carnot dài, hẹp. Bạn có thể tự thuyết phục mình rằng đi liên tiếp theo các chu trình Carnot riêng rẽ trên h.22.11b thì hoàn toàn tương đương với (theo nghĩa truyền nhiệt và thực hiện công) đi theo hàng loạt các đường mấp mô đẳng nhiệt và đoạn nhiệt xấp xỉ như chu trình thực. Điều đó đúng là vì các chu trình Carnot ở cạnh nhau (như trên hình 22.12) có chung một đường đẳng nhiệt nhưng hai lần đi qua lại theo hai chiều ngược nhau nên bù trừ lẫn nhau cả về nhiệt lượng trao đổi cũng như về công thực hiện.

Chúng ta mở rộng p.t.22.15 bằng cách viết cho tập hợp các chu trình Carnot và do đó cho dãy các đường đẳng - đoạn nhiệt dịch dắc trong hình 22.11b.

$$\sum \frac{Q}{T} = 0$$

Trong giới hạn các nhiệt độ vô cùng nhỏ giữa các cặp đường đẳng nhiệt trên hình 22.11b các đường dịch dắc này trở thành chu trình khái quát của h.22.11a và phương trình trên trở thành.

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \text{ (chu trình thuận nghịch)} \quad (22.16)$$

Vòng tròn trên dấu tích phân cho ta biết tích phân lấy theo toàn bộ đường đi của chu trình thuận nghịch mà điểm bắt đầu và kết thúc là điểm chọn bất kì.

Chúng ta đã thiết lập được rằng nhiệt độ T và nội năng là tính chất nội tại của hệ. Một cách thử nghiệm sự đúng đắn của một biến số trạng thái như vậy là, nếu ta cho hệ đi qua một chu trình đầy đủ, thuận nghịch thì tổng đại số của tất cả các độ biến thiên xảy ra với biến số đó phải bằng không. Nếu điều đó không đúng như thực tế, thì biến số đó không thể trở về giá trị ban đầu và không thể là tính chất nội tại của riêng mình hệ. Vì thế phép thử của bất kì một biến số trạng thái X nào được nêu, sẽ là:

$$\oint dX = 0 \text{ (chu trình thuận nghịch)} \quad (22.17)$$

So sánh các phương trình 22-16 và 22-17 ta thấy $\frac{dQ}{T}$ phải đại diện cho một độ biến thiên vi phân của một biến số trạng thái nào đấy mà chúng ta còn chưa kể đến từ trước đến nay. Chúng ta gọi biến số mới này là *entropi S* của hệ, và ta viết từ phương trình 22-17.

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ và } \oint dS = 0 \quad (22.18)$$

Đơn vị SI của entropi là đơn vị nhiệt lượng chia cho đơn vị nhiệt độ tức là J/K.

Chú ý là nhiệt lượng Q và công W không phải là tham số trạng thái, vì $\oint dQ \neq 0$

và $\int dW \neq 0$, như bạn có thể dễ dàng thử lại cho trường hợp đặc biệt là chu trình Carnot.

Chúng ta sẽ chứng minh dưới đây rằng tính chất của biến số trạng thái X biểu diễn bởi p.t 22.7 là hoàn toàn tương đương với cách nói rằng $\int dX$ giữa hai trạng thái bất kì là có cùng một giá trị cho mọi đường đi thuận nghịch nối các trạng thái đó. thí dụ, giả thiết rằng một hệ thay đổi từ trạng thái đầu i, tới trạng thái cuối f có nhiệt độ cao hơn 15K. Cùng một hiệu nhiệt độ như vậy sẽ giữ nguyên dù có vô số đường đi khác nhau để đưa hệ đi từ trạng thái i tới trạng thái f. Điều đó cũng đúng với các tham số trạng thái khác. Hiệu áp suất cũng phải như nhau cho tất cả các đường đi, và hiệu thể tích cũng vậy. Vì entropi cũng là một biến số trạng thái, nên hiệu entropi cũng phải như nhau cho mọi đường đi. Vì vậy ta có thể viết cho hiệu entropi giữa hai trạng thái i và f.

$$S_f - S_i = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (22-19)$$

(đường đi thuận nghịch)

Ở đây tích phân được lấy theo bất kì đường đi thuận nghịch nào giữa hai trạng thái ấy.

Phương trình 22.19 xác định hiệu entropi của hai trạng thái hơn là chính entropi của một trạng thái. Tuy nhiên, chúng ta chỉ luôn luôn quan tâm tới hiệu như vậy. Có thể thêm một hàng số bất kì vào entropi tuyệt đối (cũng như nó được thêm vào nội năng tuyệt đối) của một trạng thái bất kì mà không làm thay đổi chút nào kết luận của chúng ta.

Sự biến thiên của entropi trong các quá trình thuận nghịch

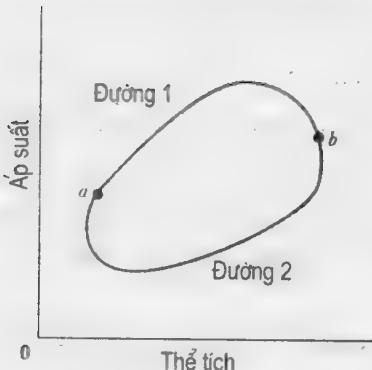
Phương trình 22.19 chỉ đúng cho *quá trình thuận nghịch* tức là các quá trình tiến hành không có ma sát và khá chậm sao cho quá trình có thể đảo ngược tại bất kì giai đoạn nào bằng cách làm thay đổi *vô cùng nhỏ* môi trường của hệ. Nếu có trao đổi nhiệt lượng giữa hệ và môi trường trong những quá trình như vậy, thì p.t 22-9 cho ta biết entropi của hệ cũng sẽ thay đổi. Nếu nhiệt lượng *thêm* cho hệ thì độ tăng dQ trong phương trình 2.18 (theo quy ước về dấu của nhiệt lượng) là *dương* sao cho sự thay đổi tổng entropi của hệ là một *sự tăng*. Đồng thời entropi của môi trường xung quanh hệ, tức là nguồn nhiệt lượng mà từ đó nhiệt lượng được rút ra và chuyển cho hệ, sẽ giảm với cùng một lượng như entropi của hệ tăng. Điều đó phải như vậy vì cứ mỗi lúc một milijun nhiệt lượng đi vào hệ ở một nhiệt độ đã cho, thì cũng có một milijun nhiệt lượng rời nguồn nhiệt ở cùng một nhiệt độ.

Quá trình ngược cũng đúng. Nếu nhiệt lượng được lấy khỏi hệ thì entropi của hệ sẽ giảm và entropi của môi trường sẽ tăng *cùng* một lượng. Từ đó ta có *kết luận* sau:

Với các quá trình thuận nghịch, entropi của hệ có thể tăng, giảm hoặc giữ nguyên không đổi. Độ biến thiên entropi ở môi trường của hệ luôn luôn bằng về độ lớn nhưng ngược dấu với độ biến thiên của entropi của hệ. Vì vậy trong một quá trình thuận nghịch, entropi của hệ + một môi trường được giữ không đổi.

Trong mục tiếp theo, chúng ta sẽ xét kĩ sự biến thiên của entropi trong các quá trình thuận nghịch và ta sẽ kết hợp với các kết luận của chúng ta lại thành một dạng mới của định luật thứ hai của nhiệt động lực học. Dẫu sao, đầu tiên là chứng minh như đã hứa:

Chứng minh sự độc lập đối với đường đi cho phương trình 22.19



HÌNH 22.13. Các đường đi 1 và 2 là các
đường độc lập nối các điểm a và b.

Trong phương trình 22.20 ta đã đơn giản quyết định là đi đường 2 theo chiều ngược lại có nghĩa là từ a đến b chứ không đi từ b đến a. Chúng ta làm như vậy, bằng cách thay đổi thứ tự hai cận của tích phân thứ hai, nó đòi hỏi ta cũng phải đổi dấu của tích phân, vì vậy ta thu được p.t.22.20. Vậy ta có thể viết p.t.22.20 như sau:

$$\int_a^b dS = \int_a^b dS \quad (22-21)$$

đường 1 đường 2

Đây là điều mà ta phải chứng minh. Các phương trình 22.19 và 22.21 cả hai chỉ cho ta thấy nếu hiệu entropi giữa hai trạng thái (hoặc i , f hoặc a , b) không phụ thuộc vào đường đi thì ta có thể tính hiệu này theo đường bất kì (thuận nghịch).

Bài toán mẫu 22.7

Một miếng nước đá khối lượng 235 g nóng chảy (thuận nghịch) thành nước, nhiệt độ giữ ở 0°C trong suốt quá trình.

a) Hỏi entropi của nước đá biển thiên bao nhiêu, nhiệt nóng chảy của nước đá là 333 kJ/kg .

Giải. Đòi hỏi rằng nước đá nóng chảy thuận nghịch có nghĩa là chúng ta phải để nước đá tiếp xúc với nguồn nhiệt có nhiệt độ chỉ vượt quá 0°C một lượng vi phân (Nếu sau đó ta hạ thấp nhiệt độ của nguồn nhiệt một lượng vi phân cho xuống thấp hơn 0°C

thì nước đá nóng chảy sẽ bắt đầu đóng băng). Vì quá trình là thuận nghịch nên ta có thể dùng phương trình 22.19 và được:

$$S_{\text{nước}} - S_{\text{nước đá}} = \int \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int \partial Q = \frac{Q}{T}$$

nhưng $Q = mL = (0,235\text{kg}) (333\text{kJ/kg} = 7,83 \times 10^4\text{J}$

Từ đó:

$$S_{\text{nước}} - S_{\text{nước đá}} = \frac{Q}{T} = \frac{7,83 \times 10^4\text{J}}{273\text{ K}} = 287\text{ J/K (Đáp số)}$$

b) entropi của môi trường xung quanh thay đổi bao nhiêu?

Giải. Trong trường hợp này, môi trường là nguồn nhiệt từ đó nhiệt lượng truyền tới làm nước đá tan. Mỗi đơn vị nhiệt lượng đi vào nước đá phải đi ra từ nguồn với nhiệt độ của cả nước đá lẫn nguồn sấp xỉ bằng nhau. Vì vậy độ biến thiên của entropi của nguồn nhiệt bằng về độ lớn nhưng có dấu ngược với độ biến thiên của entropi của nước đá, tức là $\Delta S_{\text{nguồn}} = -287\text{J/K (Đáp số)}$.

Độ biến thiên của entropi của hệ nước đá + nguồn nhiệt do đó bằng không; phải như thế với quá trình thuận nghịch.

Trong thực tế, sự nóng chảy của nước đá có vẻ là bất thuận nghịch, chẳng hạn khi bạn thả một cục nước đá vào trong cốc ở nhiệt độ phòng. Hiệu nhiệt độ giữa nước đá và nguồn nhiệt nước trong trường hợp này, không phải là một lượng vi phân, mà là khoảng 20°C. Quá trình chỉ diễn tiến theo một chiều – nước đá nóng chảy – và không thể quay ngược tại bất kì giai đoạn nào bằng cách tạo một độ biến thiên vi phân của nhiệt độ nước. Bạn không thể dùng phương trình 2.19 cho trường hợp như vậy, và các tính toán ta làm ở trên là không có giá trị.

22.9. ĐỘ BIẾN THIÊN CỦA ENTROPI VỚI NHỮNG QUÁ TRÌNH BẤT THUẬN NGHỊCH

Phương trình 22.19 cho ta cách tính độ biến thiên của entropi của một hệ khi chịu các quá trình thuận nghịch. Nói một cách chặt chẽ, không có những quá trình như vậy trong thế giới thực. Ma sát và những sự truyền nhiệt không mong muốn luôn luôn có mặt và hiệu áp suất, nhiệt độ giữa hệ và môi trường thường không phải là một vô cùng bé. Mỗi quá trình nhiệt động lực học có thực đều ở mức độ nhiều hay ít, là quá trình bất thuận nghịch.

Ta tính như thế nào độ biến thiên của entropi giữa trạng thái đầu và trạng thái cuối trong những trường hợp như vậy? Ta lợi dụng điều rằng hiệu entropi, hay của bất kì một biến số trạng thái nào khác, chẳng hạn như nhiệt độ hoặc nội năng giữa hai trạng thái cân bằng không phụ thuộc vào cách chuyển hệ như thế nào từ trạng thái này tới trạng thái kia.

Để tìm độ biến thiên entropi của một quá trình *bất thuận nghịch* giữa hai trạng thái cân bằng, ta tìm *một quá trình thuận nghịch* nối cùng hai trạng thái đó và tính độ biến thiên entropi cho quá trình đó bằng cách dùng phương trình 2.19.

Ta xét hai ví dụ:

1. Sự giãn tự do

Như trong mục 20-6 (xem hình 20-6) ta cho một chất khí lỏng tăng thể tích của nó bằng cách giãn vào chân không. Vì không cần công thực hiện để chống lại chân không nên $W = 0$. Vì hệ được khép kín bằng các thành cách nhiệt $Q = 0$. Định luật thứ nhất của nhiệt động lực học, $\Delta E_{int} = Q - W$, kéo theo $\Delta E_{int} = 0$ hay

$$E_{intf} = E_{inti} \quad (22-22)$$

Ở đây i và f là chỉ các trạng thái cân bằng ban đầu và cuối. Vì khí là lỏng nên nội năng E_{int} chỉ hụ thuộc vào nhiệt độ, do đó p.t 22.22 cho ta:

$$T_f = T_i$$

Nếu ta thử dùng pt.22-19 để tính hiệu entropi $S_f - S_i$ với sự giãn tự do, ta có một khó khăn ngay lập tức. Sự việc $Q = 0$, sẽ có thể dẫn ta tới tiên đoán rằng $\Delta S = 0$, mà như ta đã thấy là không đúng. Theo cách cho ở trên, ta phải tìm một quá trình thuận nghịch bất kì nối các trạng thái đầu và cuối và áp dụng p.t 22.19 không phải cho quá trình giãn tự do, mà cho *chính* quá trình đó.

Vì $T_f - T_i$ với quá trình giãn tự do của khí lỏng nên một quá trình thuận nghịch thích hợp là quá trình giãn đẳng nhiệt tiến hành giữa hai điểm a và b của quá trình Carnot trên hình 22.9. Quá trình giãn đẳng nhiệt sẽ gồm một loạt các tiếp diễn hoàn toàn khác với sự giãn tự do, hai quá trình chỉ có một cái chung là có cùng các trạng thái đầu và cuối. áp dụng p.t 22.19 cho quá trình giãn đẳng nhiệt ta suy ra:

$$S_f - S_i = \int_{V_i}^{V_f} \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_{V_i}^{V_f} dQ$$

Ta đã đưa nhiệt độ T ra khỏi dấu tích phân, vì nhiệt độ không đổi trong quá trình đẳng nhiệt. Trong một quá trình đẳng nhiệt $Q = W$ (và do đó $dQ = dW$), từ đó ta có thể viết phương trình này như sau:

$$S_f - S_i = \frac{1}{T} \int_{V_i}^{V_f} dW \quad (22-23)$$

Tích phân trong p.t. 22.23 chính là công thực hiện trong quá trình đẳng nhiệt là (xem p.t 21-8)

$$W = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \quad (22-24)$$

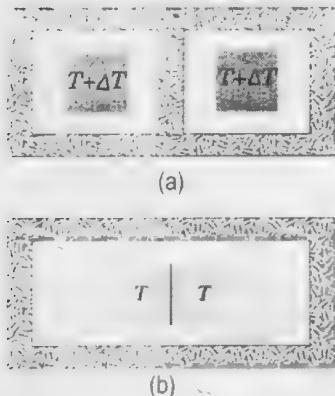
Thay 22.24 vào 22.23 ta được:

$$S_f - S_i = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \text{ (giãn tự do)} \quad (22.25)$$

Dẫu rằng ta tính độ biến thiên này của entropi là chính cho quá trình giãn nở nhiệt giữa hai trạng thái, nó cũng đúng cho quá trình bất kỳ nối hai trạng thái đó, kể cả quá trình giãn nở tự do.

Vì $V_f > V_i$ nên p.t 22.25 cho ta thấy, entropi của hệ tăng trong quá trình giãn nở tự do. Ta chú ý rằng entropi của môi trường không thay đổi trong quá trình giãn tự do vì quá trình giãn xảy ra trong một hộp cách nhiệt cứng như ta thấy ở h.20.6. Vì vậy entropi của hệ + môi trường tăng trong quá trình giãn tự do.

2. Sự chuyển nhiệt bất thuận nghịch



HÌNH 22.14

- a) Trạng thái đầu: hai khối kim loại ở nhiệt độ khác nhau, cách nhiệt với nhau và môi trường.
- b) trạng thái cuối: tách cách nhiệt giữa các khối được bỏ ra và cho phép chúng tiến tới cân bằng nhiệt ở nhiệt độ T .

Chúng ta có thể tiến hành một quá trình thuận nghịch bằng cách dùng một nguồn nhiệt độ có nhiệt dung lớn mà nhiệt độ có thể điều khiển được, chẳng hạn bằng cách vặn một núm điều chỉnh. Chúng ta, thoát đầu điều chỉnh nhiệt độ của nguồn tới $T + \Delta T$ là nhiệt độ của khối kim loại nóng và đặt cho khối này tiếp xúc nhiệt với nguồn. Sau đó ta hạ rất chậm (thuận nghịch) nhiệt độ của nguồn từ $T + \Delta T$ tới T như thế là ta rút nhiệt lượng từ khối nóng. Vì nhiệt lượng thoát ra khỏi khối nên entropi của khối này giảm, và độ biến thiên của entropi là:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_{T+\Delta T}^T \frac{mc dT}{T} = mc \int_{T+\Delta T}^T \frac{dT}{T} = mc \ln \frac{T}{T+\Delta T} \quad (22-26)$$

Ở đây ta đã thay dQ nhiệt lượng rút khỏi khối nóng khi nhiệt độ của nó biến thiên dT bằng $mc dT$. Vì đại lượng mà ta lấy trong p.t.22-26 là bé hơn đơn vị nên loga của nó là một số âm, kiểm chứng là entropi giảm trong quá trình này.

Để tiếp tục quá trình thuận nghịch, bây giờ ta điều chỉnh nguồn nhiệt tới nhiệt độ $T - \Delta T$ là nhiệt độ của khối lạnh và đặt cho chính khối này tiếp xúc nhiệt với nguồn. Sau đó ta nâng chậm chạp thuận nghịch nhiệt độ của nguồn từ $T - \Delta T$ tới T , như thế

Hình 22.14a trình bày hai khối kim loại mỗi khối có khối lượng m , nhiệt dung riêng c , đặt cách nhiệt với nhau trong một hộp cách nhiệt. Hai khối giống nhau về mọi phương diện chỉ trừ một điều là một khối có nhiệt độ cao hơn khối kia. Nếu ta bỏ tách cách nhiệt giữa hai khối và cho chúng tiếp xúc nhiệt với nhau (như ở hình 22.14b) thì chúng sẽ phải đạt tới một nhiệt độ chung T . Giống như sự giãn tự do, quá trình này là bất thuận nghịch vì chúng ta hoàn toàn không thể điều khiển được nó, một khi ta đặt hai khối tiếp xúc nhiệt với nhau.

Để tìm độ biến thiên của entropi giữa trạng thái đầu ở h.22.14a và trạng thái cuối ở h.22-14b, ta lại phải một lần nữa tìm một quá trình thuận nghịch nối các trạng thái này và tính độ biến thiên của entropi bằng cách áp dụng phương trình 22-19 cho quá trình đó.

là làm tăng thêm nhiệt lượng cho khối lạnh. Vì nhiệt lượng được thêm vào nên entropi của khối lạnh tăng lên độ biến thiên của entropi là:

$$\Delta S_c = mc \ln \frac{T}{T - \Delta T} \quad (22-27)$$

Cả hai khối bây giờ ở trạng thái cân bằng nhiệt cuối cùng và quá trình thuận nghịch hoàn thành. Độ biến thiên entropi của hệ có thể tìm được bằng cách cộng các p.t. 22-26 và 22.27 ta được:

$$S_f - S_i = \Delta S_H + \Delta S_c = mc \ln \frac{T}{T + \Delta T} + mc \ln \frac{T}{T - \Delta T}$$

hay

$$S_f - S_i = mc \ln \frac{T^2}{T^2 - \Delta T^2} \text{ (sự chuyển nhiệt bất thuận nghịch)} \quad (22-28)$$

Để thu được p.t. 22-28 ta dùng công thức $\ln a + \ln b = \ln ab$ và $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$

Đại lượng lấy loga trong 22-28 lớn hơn đơn vị, do đó loga của nó là dương. Điều đó chứng tỏ rằng $S_f > S_i$. Do đó entropi của hệ tăng trong quá trình chuyển nhiệt bất thuận nghịch này. Vì hệ cách nhiệt với môi trường entropi của *hệ + môi trường* cũng tăng trong quá trình bất thuận nghịch, đúng như ta đã có với quá trình bất thuận nghịch giãn tự do.

Bài toán mẫu 22.8

Một mol khí lí tưởng giãn tự do tới thể tích gấp đôi giá trị ban đầu như trên h.20-6. Độ biến thiên entropi của khí là bao nhiêu? Của môi trường là bao nhiêu?

Giải. Độ biến thiên entropi của khí được tính theo p.t. 22.25.

$$S_f - S_i = nR \ln \frac{V_T}{V_i} = (1,00 \text{ mol}) (8,31 \text{ J/mol.K}) (\ln 2) = 5,76 \text{ J/K} \text{ (Đáp số)}$$

Đây là độ tăng của entropi.

Entropi của môi trường trong sự giãn tự do không thay đổi vì khi giãn nở khí là cách nhiệt với môi trường chung quanh. Do vậy độ biến thiên của *hệ + môi trường* là $+5,76 \text{ J/K}$.

Bài toán mẫu 22.9

Hai khối đồng, khối lượng mỗi khối là 850g đặt tiếp xúc nhiệt với nhau trong một hộp cách nhiệt, như trên h.22.14b. Nhiệt độ ban đầu của hai khối là 325K và 285K. Nhiệt dung riêng của đồng là $c = 0,386 \text{ J/g.K}$.

a) *Nhiệt độ cân bằng cuối cùng T của hai khối là bao nhiêu?*

Giải. Nhiệt lượng mất từ khối nóng phải bằng nhiệt lượng hấp thụ bởi khối lạnh, do đó:

$$mc(325\text{K} - T) = mc(T - 285\text{K}).$$

Khử mc và giải với T ta thu được:

$$T = \frac{1}{2}(325K + 285K) = 305 K \quad (\text{Đáp số})$$

b) Độ biến thiên entropi của hai khối là bao nhiêu?

Giải. Đại lượng ΔT trong p.t 22.28 là

$$\Delta T = 324K - 305K = 20K$$

Để kiểm tra, ta chú ý rằng $305K - 285K = 20K$, cũng thế.

Từ p.t 22.28, ta có:

$$\begin{aligned} S_f - S_i &= mc \ln \frac{T^2}{T^2 - \Delta T^2} \\ &= (0,850 \text{ kg}) (386 \text{ J/kgK}) \times \ln \frac{(305K)^2}{(305K)^2 - (20K)^2} = 1,41 \text{ J/K} \quad (\text{Đáp số}) \end{aligned}$$

Cũng như với quá trình giãn tự do, sự độ biến thiên của entropi cho quá trình bất thuận nghịch này là một sự tăng. Vì quá trình tiến hành trong một hộp cách nhiệt nên độ biến thiên entropi của môi trường là bằng không, vì thế độ biến thiên toàn phần của hệ môi trường là $+1,41 \text{ J/K}$, là một độ tăng.

22.10. ENTROPI VÀ ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Bây giờ ta sẵn sàng để phát biểu Định luật thứ hai của nhiệt động lực học theo entropi:

Định luật thứ hai nhiệt động lực học (dạng thứ ba):

Trong một quá trình nhiệt động lực học bất kì diễn tiến từ một trạng thái cân bằng này sang một trạng thái cân bằng khác, entropi của *hệ + môi trường* hoặc giữ nguyên hoặc tăng.

Bạn không có cách nào có thể làm cho entropi của *hệ + môi trường* giảm. Đúng là có thể làm cho entropi của một hệ giảm, nhưng chỉ với điều kiện là sự giảm này phải luôn luôn kèm theo một sự tăng bằng hoặc lớn hơn entropi của môi trường của hệ.

Điều phi lí thứ 3 nêu lên ở mục 22.1, sự chuyển động tự phát của không khí trong phòng vào một góc, mà ta có thể gọi là *sự nén tự do*, ngược với giãn tự do. Ta đã thấy trong phần trước, sự giãn tự do luôn luôn kèm theo sự tăng entropi của *hệ + môi trường*. Một sự nén tự do sẽ cho kết quả là entropi giảm và như vậy là vi phạm dạng entropi của định luật thứ hai.

Bây giờ ta phải chứng tỏ rằng dạng entropi của định luật thứ hai là phù hợp với hai dạng đã trình bày trước.

1. Không có động cơ lí tưởng

Đây là dạng ngắn của dạng thứ nhất của định luật thứ hai. Vì động cơ thực hiện một chu trình, sự biến thiên entropi của hệ đó là chất khí dùng làm chất công tác, phải bằng không cho mỗi chu trình hoạt động. Vì vậy, ta chỉ cần quan tâm tới sự biến thiên entropi của môi trường. Với động cơ lý tưởng, môi trường là nguồn nhiệt đơn giản ở h. 22-2b và sự biến thiên của entropi là một sự giảm, vì nhiệt lượng được rút ra khỏi nguồn. Như vậy, một động cơ lí tưởng (là sự vi phạm dạng thứ nhất) sinh ra một sự giảm của entropi, là sự vi phạm dạng entropi của định luật thứ hai.

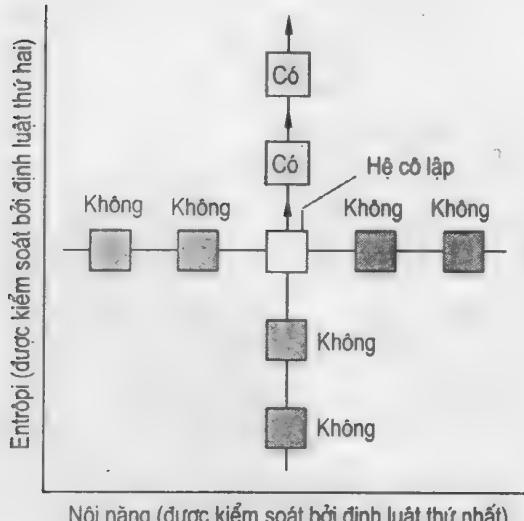
2. Không có máy lạnh lý tưởng

Đây là dạng thức ngắn của dạng thứ hai của định luật thứ hai. Cũng như trên, sự biến thiên entropi của chất khí trong một máy lạnh lý tưởng là bằng không cho mỗi chu trình hoạt động, và ta chỉ cần quan tâm tới sự biến thiên entropi của môi trường. Trong trường hợp này, môi trường là hai nguồn nhiệt ở h.22.6b, và độ biến thiên entropi là:

$$\Delta S = \frac{Q}{T_H} - \frac{Q}{T_C}$$

Vì $T_H > T_C$ nên độ biến thiên của entropi là âm. Vì vậy một máy lạnh lý tưởng (nó vi phạm dạng thứ nhất) cũng vi phạm dạng entropi của định luật thứ hai.

Entropi, nội năng và các quá trình tự phát.



HÌNH 22.15

Khối trung tâm biểu diễn trạng thái ban đầu S của một hệ nhiệt động lực học cô lập. Các khối khác biểu diễn các trạng thái cuối có thể nghĩ ra được. Chỉ có các sự chuyển đổi các trạng thái thẳng đứng phía trên S là phù hợp với cả hai định luật thứ nhất và thứ hai của nhiệt động lực học. Các sự chuyển đổi khác là bị cấm bởi một trong hai định luật trên.

Một quá trình tự phát ra là một quá trình xảy ra không cần có nguyên nhân bên ngoài mà chỉ do bản chất bên trong của hệ chịu tác động của quá trình đó.

Thí dụ Mặt Trời chiếu sáng một cách tự phát là do các quá trình hạt nhân bên trong, mà không phải do bất kì nguyên nhân bên ngoài nào.

Làm thế nào ta có thể quyết định được xem một quá trình nào đó nêu lên có thể tự phát xảy ra trong thế giới thực? Ngay cả khi quá trình đó thoả mãn mọi nguyên lý bảo toàn của vật lý (như nguyên lý bảo toàn năng lượng) nó cũng phải có một đòi hỏi nữa để có thể tự phát xảy ra đó là: nó phải luôn luôn cho kết quả là entropi tăng.

Hình 22.15 tổng kết lại các quá trình có thể tự phát xảy ra một cho một hệ cô lập, dựa trên sự xét entropi và nội năng.

Cái hộp ở chính giữa trình bày một hệ như vậy, ở trạng thái ban đầu S với các giá trị xác định của nội năng đo theo trục nằm ngang và của entropi đo theo trục thẳng đứng. Chỉ các sự chuyển xảy ra một cách tự phát với hệ là sự chuyển tới các trạng thái nằm trực tiếp phía trên trạng thái ban đầu. Với các sự chuyển năng lượng giữ không đổi, còn entropi tăng đúng như sự đòi hỏi của các định luật thứ nhất và thứ hai.

Các sự chuyển tới các trạng thái trực tiếp ở dưới S là không thể xảy ra vì chúng biểu hiện sự giảm entropi; các sự giảm như thế là bị cấm - đối với một hệ cô lập - theo định luật thứ hai. Các sự chuyển tới các trạng thái bên trái hoặc bên phải của S trên h.22.15 cũng không thể xảy ra, vì chúng biểu hiện sự biến thiên của năng lượng; những biến thiên này là bị cấm - đối với các hệ cô lập - theo định luật thứ nhất.

Dẫu rằng việc xem xét entropi và năng lượng cho biết một quá trình liệu có thể tự phát xảy ra hay không, nhưng chúng không cho ta biết khi nào quá trình tự phát đó xảy ra. Một vài quá trình như vậy, chẳng hạn sự giãn tự do của một chất khí vào buồng đã hút chân không, xảy ra tức thời. Một số quá trình tự phát khác, chẳng hạn như sự phân rã phóng xạ của các chất đồng vị uran có thời gian sống dài, kéo dài hàng tỉ năm.

22.11. TÓM LẠI, ENTROPI LÀ GÌ ?

Vì cách xử lý với entropi của ta khá là hình thức, nên bạn có thể còn chưa cảm nhận được ý nghĩa vật lí của khái niệm quan trọng này. Nay giờ ta hãy tổng kết những gì chúng ta đã thảo luận và cố gắng làm nổi rõ thêm ý nghĩa vật lí của khái niệm bằng cách mở rộng nghĩa của nó theo các phương hướng ta còn chưa khai thác.

Entropi - mũi tên của thời gian

Entropi S, giống như năng lượng E_{int} và nhiệt độ T đơn giản là một trong số tính chất vật lí của hệ mà ta có thể đo được trong phòng thí nghiệm và gán cho một *con số* và *đơn vị đo* (Thật vậy, có những người tin rằng, ở mức độ sâu xa nhất, entropi là tính chất *đơn giản nhất* trong ba tính chất mà ta phải hiểu theo các từ ngữ vật lí).

Xét một hệ, cô lập với môi trường, có thể tồn tại trong hai trạng thái gọi là A và B có cùng một năng lượng. Nếu hệ đang ở trạng thái A thì theo thời gian hệ có thể tự phát chuyển sang trạng thái B không? Còn nếu hệ đang ở trạng thái B, liệu nó có thể tự phát chuyển sang trạng thái A?

Entropi cho ta câu trả lời. Định luật thứ hai của nhiệt động lực học cho ta: "Những thay đổi khả dĩ duy nhất với một hệ cô lập là những thay đổi trong đó entropi của hệ hoặc tăng, hoặc giữ không đổi. Những thay đổi trong đó entropi giảm sẽ không xảy ra".

Entropi chỉ giữ không đổi với những quá trình thuận nghịch. Không có quá trình nào trong tự nhiên thực sự là thuận nghịch vì thế trong hầu hết các trường hợp khi thấy một quá trình xảy ra tự phát, ta phải chờ đợi entropi tăng.

Bạn có thể tìm thấy entropi của một hệ đặc biệt nào đó *giảm* trong một quá trình tự phát, nhưng bạn có thể tin chắc rằng một sự tăng (lớn hơn) của entropi đang đồng thời tiến hành một cách tự phát ở đâu đó trong môi trường của hệ. Hệ sắp xếp có trật tự trên h.22-16 xảy ra với sự tăng entropi như vậy của môi trường các định luật thứ nhất và thứ hai của nhiệt động lực học có thể tổng hợp lại theo cách sau:

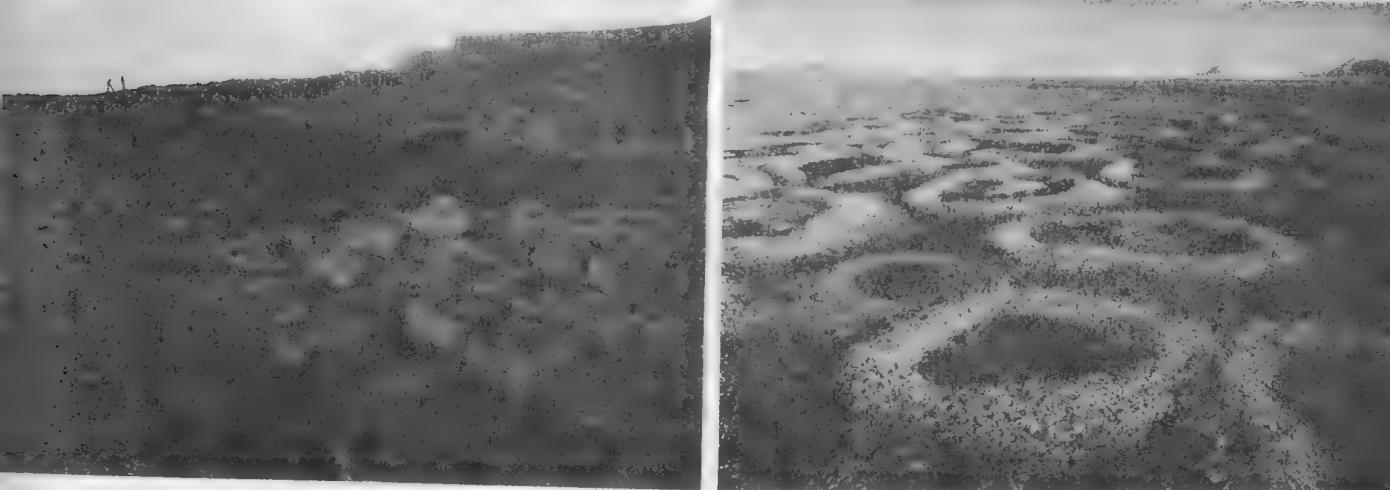
"*Năng lượng của vũ trụ giữ không đổi, entropi của vũ trụ luôn luôn tăng*".

Năng lượng tuân theo định luật bảo toàn, còn entropi thì không.

Entropi : Mức độ của sự hỗn độn nguyên tử.

Entropi cũng liên kết với *sự không trật tự* của hệ, một khái niệm lôi kéo sự chú ý rộng rãi nào đó. Lời tuyên bố rằng sự không trật tự của vũ trụ (hay của góc cô lập nhỏ bé của chúng ta trong vũ trụ) luôn luôn tăng theo thời gian là điều mà đa số trong chúng ta có thể chấp nhận không chút bối rối. Nếu sự không trật tự và entropi cả hai đều tăng theo thời gian thì có lẽ chúng có liên hệ với nhau. Thực tế đúng là như vậy. Thủ thuật ở đây là định nghĩa *sự không trật tự* một cách định lượng và hữu ích.

Việc xử lý một cách hình thức khía cạnh này của entropi là chủ đề của *nhiệt động lực học thống kê*, ta không đề cập tới trong cuốn sách này. Chúng ta có thể thảo luận một vài ví dụ định tính, tuy nhiên, nó cho ta cách trong đó sự không trật tự của hệ - như đã được định nghĩa một cách hình thức có thể tăng.



HÌNH 22.16. Thỉnh thoảng sự có trật tự rõ rệt xuất hiện một cách tự nhiên.

- Thí dụ ở Giant's Causeway vùng Bắc Ai-rơ-len gồm nhiều cột đá cao, da số trong chúng có tiết diện lục giác và có vẻ như đã được thiết kế trước. Các cột này xuất hiện khi magma nóng phun trào ra khỏi mặt đất và nguội đi.
- Trật tự cũng có thể thấy trong loạt vòng tròn trật tự sỏi đá xảy ra một cách tự nhiên trên một hòn đảo ở Bắc Na-Uy. Các cột và các vòng tròn này sinh ra như thế nào hya còn đang tranh luận, nhưng chúng ta có thể chắc chắn rằng entropi của magma và của đá thì giảm còn entropi môi trường của chúng tăng còn nhiều hơn.

1. Sự tăng gấp đôi thể tích một cách đột ngột của một bình chứa khí cách nhiệt như trong một sự giãn nở tự do. Như ta thấy trước kia, một quá trình giãn như vậy kéo theo entropi tăng. Sự không trật tự nguyên tử của khí *cũng* tăng vì bây giờ có nhiều vị trí trung không gian mà các nguyên tử khí riêng rẽ có thể chiếm.

2. Sự tăng nhiệt độ của một chất khí trong một thùng chứa có thể tích xác định bằng cách cung cấp nhiệt lượng. Ngay cả khi ta cung cấp nhiệt cho chất khí một cách thuận nghịch thì p.t 22-19 cũng cho ta thấy rằng entropi của khí phải tăng. Sự không trật tự *cũng* tăng vì bây giờ có khoảng vận tốc mà các phân tử của khí có thể chiếm trở thành lớn hơn.

3. Khi chuyển động xoáy của cà phê trong cốc giảm đi dần dần. Ta đã thấy rằng quá trình tự phát này cho ta kết quả là entropi tăng. Kết quả cũng là sự không trật tự nguyên tử tăng lên, vì chuyển động xoáy ban đầu của cà phê là trạng thái tương đối có trật tự.

Các thí dụ loại này có thể thêm vào không giới hạn. Chỉ cần nói rằng sự không trật tự có thể được định nghĩa một cách định lượng và có thể liên hệ với entropi một cách hình thức. Người đầu tiên chỉ ra cách này là Ludwig Boltzmann (1844-1906) mà hằng số k mang tên ông đã được ta sử dụng.

Phương trình $S = k \log W$ mà ông là người đưa ra đầu tiên là phương trình trung tâm của nhiệt động lực học thống kê và liên hệ entropi với sự không trật tự một cách định lượng. Nó được khắc trên mộ chí của ông. Ở đây S là entropi của hệ và W (nó thường là một số rất lớn) là số đo sự không trật tự. Ta có thể định nghĩa W là số cách khác nhau mà nguyên tử của một hệ có thể được sắp xếp mà không làm thay đổi tính chất *vĩ mô* bên ngoài của hệ.

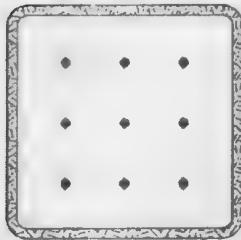
Nói một cách sơ lược, thì W (và do đó S) lớn hơn cho món trứng trắng so với trứng quả. Điều đó có nghĩa là có nhiều cách để làm thành trứng trắng từ các thành phần của nó hơn số cách để tạo nên quả trứng nguyên. Nếu bạn đập một quả trứng nó sẽ chảy ra một cách tự phát, nó chẳng bao giờ xảy ra theo một cách khác.

Một ứng dụng thú vị của entropi

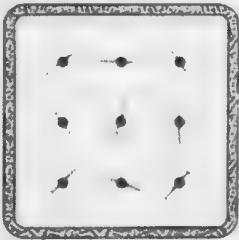
Các khảo sát entropi giữ một vị trí trung tâm trong một phương pháp quan trọng để tạo các nhiệt độ rất thấp được gọi là *sự khử từ đoạn nhiệt*. Một mẫu vật chất rắn, chẳng hạn muối crôm-nhôm, một số trong các nguyên tử của chúng tương đương với những nam châm cực nhỏ được đặt vào một ngăn cách nhiệt ở nhiệt độ thấp nhất có thể đạt được (có lẽ một vài mK). Một nam châm cực mạnh được đặt gần mẫu sao cho, như h.22.17a trình bày, các nam châm nguyên tử tí xíu trong muối được sắp xếp theo một hướng, tạo thành một trạng thái rất có trật tự.

Nam châm bây giờ được kéo ra xa, sao cho nó không còn ảnh hưởng tới mẫu nữa.

Nhờ có sự chuyển động nhiệt hỗn độn, các nam châm nguyên tử chịu các định hướng ngẫu nhiên, như trên h.22.17b. Sự không có trật tự (và do đó entropi) liên kết với sự định hướng nguyên tử tăng rõ rệt.



Trạng thái đầu
(a)



Vỏ cách nhiệt

Trạng thái cuối
(b)

HÌNH 22.17. Một phương pháp tạo ra nguyên tử thấp

- Nam châm nguyên tử trong muối crôm-nhôm được xếp thẳng hàng bằng một nam châm lớn.
- Khi nam châm điện được bỏ đi, sự không trật tự (entropi) liên kết với sự định hướng của nguyên tử tăng lên. Vì ở đây không thể có sự thay đổi của entropi trong quá trình thuận nghịch, cách nhiệt này nên sự không trật tự (entropi) liên hệ với nhiệt độ của mẫu phải giảm cùng một lượng.

Hệ cách nhiệt, và như vậy không có nhiệt lượng vào hay ra khỏi hệ. Quá trình bỏ đi nam châm và (hệ quả) sự định hướng một cách ngẫu nhiên của các nam châm nguyên tử là rất gần thuận nghịch. Vì vậy, theo định luật thứ hai ta chờ đợi rằng hệ sẽ không có thay đổi về entropi. Tuy nhiên, chúng ta thấy sự hỗn độn hoá bao gồm một sự *tăng* của entropi

Ở đâu có sự giảm của entropi để bù trừ? Nó chỉ có thể được thể hiện ở sự giảm dao động của cấu trúc của mẫu. Nói một cách khác, nhiệt độ của mẫu phải giảm - và quả thực như vậy. Kỹ thuật này đã được sử dụng với kết quả mĩ mãn là giảm nhiệt độ tới các giá trị thấp kỷ lục.

22.12. BẢN CHẤT CỦA CÁC ĐỊNH LUẬT VẬT LÍ: MỘT ĐỀ TÀI RIÊNG^(*)

Tới nay, trong quyển sách này, ta đã đề cập tới một số định luật vật lí, trong đó có các định luật Newton về chuyển động, định luật Newton về hấp dẫn, các định luật bảo toàn năng lượng, động lượng và mômen động lượng, các định luật thứ nhất và thứ hai của nhiệt động lực học. Trước khi kết thúc chủ đề về nhiệt động lực học, có lẽ sẽ tốt đẹp nếu ta quay lại và xét bản chất của các định luật vật lí nói chung.

Một định luật vật lí chỉ đơn giản là một phát biểu bằng lời như với định luật thứ hai của nhiệt động lực học hoặc dưới dạng một phương trình, như với định luật Newton về sự hấp dẫn, để tổng kết những kết quả thực nghiệm và quan sát về một nhóm hiện tượng vật lý nào đó. Vì "sự thật" là một từ ngữ trừu tượng mang nặng ý nghĩa triết học và đạo đức nên các nhà vật lí ít khi hỏi về một định luật "Định luật này có đúng không". Câu hỏi hâu như bao giờ cũng xác định hơn và dễ trả lời hơn. "Những kết quả tiên đoán bởi định luật này có phù hợp với thực nghiệm không?"

^(*) Xem Richard Feynmann. Dự tính của các định lý - MIT Press Cambridge, MA. 1965.

Các nhà vật lí thường liên tục đẩy giới hạn của các biến số trong đó các định luật được thể hiện, để thử xem khi đó liệu định luật còn đúng hay không? Định luật có thể áp dụng ở nhiệt độ cao và vận tốc cao không? Một định luật vật lí không phải là một sự thật vĩnh hằng mà là một điều khẳng định cần được thử nghiệm và chứng minh. Định luật có thể tồn tại với các thử nghiệm đó mà không thay đổi hoặc cũng có thể bị thay đổi theo một cách nào đó. Trong mỗi trường hợp, nó phải luôn luôn chờ đợi thử thách của các dữ kiện thực nghiệm mới. Như Enstein nói: "Rất nhiều thí nghiệm có thể chứng minh tôi đúng, và chỉ cần thực nghiệm để có thể chứng minh tôi sai".

Thí dụ: định luật Newton về chuyển động, tầm quan trọng của nó ai cũng rõ, lại không phù hợp với thực nghiệm khi thử trên các hạt có vận tốc bằng một phân số đáng kể của vận tốc ánh sáng. Sự thất bại không phải là bất thình lình mà từ từ, sai lệch giữa lý thuyết và thực nghiệm càng lớn dần lên khi vận tốc của hạt càng gần với tốc độ ánh sáng.

Như đã xảy ra, một định luật khác, lý thuyết tương đối hẹp của Einstein, hoá ra lại phù hợp với thực nghiệm trong toàn bộ vùng tốc độ của hạt quan sát được. Điều đó đặt các định luật Newton ở đâu? Nó đặt các định luật Newton như là một trường hợp đặc biệt hết sức có ích của một định luật khái quát hơn. Ích lợi của định luật Newton vẫn giữ nguyên không giảm trong một phạm vi quan trọng trong đó nó phù hợp với thực nghiệm.

Còn về định luật thứ hai của nhiệt động lực học thì sao? Tình trạng hiện nay của nó như sau: nếu chúng ta tự hạn chế trong những quá trình bắt đầu và kết thúc ở trạng thái cân bằng nhiệt thì chẳng bao giờ tìm thấy ngoại lệ nào. Nếu một nhà phát minh nào đó tuyên bố chế tạo được một động cơ vi phạm định luật này, thì sức nặng đè bẹp của bao nhiêu thập niên kinh nghiệm tích luỹ của các nhà khoa học và kỹ sư tài năng trên thế giới sẽ đè nặng lên, chống lại lời tuyên bố đó. Một mình nhà phát minh có thể đúng nhưng anh phải có khả năng chứng minh lời tuyên bố. Tuy nhiên không một nhà vật lý nào chối cãi rằng, định luật thứ hai của nhiệt động lực học một ngày nào đó có thể được giải thích lại và được xem như là một trường hợp riêng của một định luật khái quát hơn.

Có lẽ cái gây ấn tượng mạnh nhất của các định luật vật lý là sự tồn tại của chúng ta và sự đơn giản trong hình thức. Nguồn gốc của điều kỳ diệu đối với các nhà tư tưởng sâu sắc là một phạm vi rộng lớn của các thí nghiệm như vậy lại có thể tổng kết thành một câu đơn giản hay là một phương trình đơn giản. Einstein một lần nữa lại đặt đúng vấn đề đó khi ông nhận xét rằng: "Điều khó hiểu nhất về vũ trụ chính là điều nó có thể hiểu được".

ÔN TẬP VÀ TÓM TẮT

Động cơ

Động cơ là một thiết bị nhận theo chu trình một nhiệt lượng Q_H từ một nguồn nhiệt có nhiệt độ cao (ở nhiệt độ Kelvin T_H) và thực hiện một công W luôn luôn có kèm theo sự thải một nhiệt lượng Q_C , ở nhiệt độ thấp hơn T_C . Hiệu suất nhiệt e của một động cơ là:

$$e = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{|Q_H - Q_C|}{|Q_H|} \quad (22-2)$$

Định luật thứ hai của nhiệt động lực học phủ nhận sự tồn tại của động cơ lí tưởng có hiệu suất nhiệt $e = 1$. Không thể chuyển nhiệt lượng hoàn toàn thành công mà không có sự thay đổi nào khác xảy ra.

Máy lạnh

Máy lạnh là một thiết bị lấy nhiệt lượng theo chu trình từ một nơi lạnh và bằng cách thực hiện công, nhường nó cho nơi ấm hơn.

Hiệu quả của nó được đo bằng *hiệu suất làm lạnh K* định nghĩa như sau :

$$K = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|} \quad (22-6)$$

Định luật thứ hai của nhiệt động lực học phủ nhận sự tồn tại của máy lạnh lí tưởng có hiệu suất $K = \infty$. Không thể có nhiệt lượng truyền từ một vật sang một vật khác có nhiệt độ cao hơn mà không có sự thay đổi nào khác xảy ra.

Quá trình thuận nghịch

Một quá trình thuận nghịch là sự biến đổi lí tưởng hoá từ một trạng thái đầu i sang trạng thái cuối f, có thể đảo ngược được bằng cách dùng một sự biến thiên vi phân của các điều kiện bên ngoài.

Chu trình Carnot

Chu trình Carnot mô tả hoạt động của một động cơ nhiệt lí tưởng (tức là thuận nghịch). Như h.22-8 và 22-9 trình bày, nó gồm hai *quá trình đoạn nhiệt* (trong đó $Q = 0$) xen kẽ với hai quá trình đẳng nhiệt (trong đó $T = \text{const}$). Hiệu suất của động cơ chạy theo chu trình Carnot là:

$$e_{car} = \frac{T_H - T_C}{T_H} (\text{động cơ Carnot}) \quad (22-7)$$

Và hiệu suất làm lạnh của một máy lạnh Carnot là:

$$K_{car} = \frac{T_C}{T_H - T_C} (\text{máy lạnh Carnot})$$

Hai dạng của định luật 2 nhiệt động lực học

Không có động cơ (hay máy lạnh) thực nào làm việc với 2 nhiệt độ có thể làm cho hiệu suất lớn hơn (hay hiệu suất làm lạnh) hiệu suất của động cơ Carnot (hay máy lạnh) cùng làm việc giữa hai nhiệt độ ấy.

Entropi

Entropis S giống như áp suất và thể tích là một tính chất (một *biến số trạng thái*, của một hệ ở cân bằng. Độ biến thiên của S với một hệ biến đổi thuận nghịch từ trạng thái i tới trạng thái f được định nghĩa là:

$$S_f - S_i = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ}{T} \text{ (đường đi thuận nghịch)} \quad (22-19)$$

trong đó dQ là độ tăng của nhiệt lượng trao đổi ở nhiệt độ T . Độ biến thiên của entropi $S_f - S_i$ chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối mà không phụ thuộc gì vào bản chất của đường đi thuận nghịch nối giữa chúng. Đơn vị SI của entropi là J/K.

Độ biến thiên của entropi với quá trình bất thuận nghịch

Độ biến thiên của entropi với quá trình bất thuận nghịch có thể được xác định theo

(1) Tìm một quá trình thuận nghịch nối với các trạng thái i và f.

(2) Tính $S_f - S_i$ cho quá trình này bằng cách dùng p.t 22-19. Kết quả chính là độ biến thiên của entropi với quá trình bất thuận nghịch.

Dạng entropi của định luật thứ hai

Tâm quan trọng của entropi là ở chỗ: *trong một quá trình nhiệt động lực bất kì diễn tiến từ một trạng thái cân bằng này tới một trạng thái cân bằng khác, entropi của hệ + môi trường hoặc giữ nguyên không đổi hoặc tăng*. Cách phát biểu này của định luật hai nhiệt động lực học thì tương đương với các dạng "động cơ" và "máy lạnh" đã nói ở trên.

Định luật vật lí

Một định luật vật lí là một lời phát biểu tổng kết các kết quả thực nghiệm và quan sát cho một phạm vi nào đó của hiện tượng vật lí. Nó luôn luôn phải chịu các quan sát tiếp theo và đôi khi chịu sự thay đổi khi có những bằng chứng mới có giá trị. Khi một dạng cũ của một định luật được thay thế bằng một dạng mới, thì dạng cũ thường được giữ lại như một trường hợp đặc biệt có ích của một định luật mới tổng quát hơn.

CÂU HỎI

1. Con người có phải là một động cơ nhiệt không? Giải thích.
2. Ta có thể định nghĩa hiệu suất của động cơ là: $e = \frac{W}{Q_C}$ thay cho $e = \frac{W}{Q_H}$ được không? Tại sao chúng ta không thể làm như vậy?
3. Hiệu suất của một nhà máy nhiệt điện nguyên tử thấp hơn hiệu suất của nhà máy nhiệt điện dùng chất đốt hoá thạch. Tại sao?
4. Có thể biến một lượng công cơ học cho trước hoàn toàn thành nhiệt lượng không? Nếu có hãy cho một thí dụ.
5. Một nhà phát minh gợi ý có thể sưởi ấm một căn nhà theo cách sau đây: một hệ giống như một máy lạnh thu nhiệt từ Trái Đất và nhả nhiệt đó cho ngôi nhà. Ông

tuyên bố rằng nhiệt cung cấp cho ngôi nhà có thể vượt quá công thực hiện bởi động cơ của hệ. Bạn bình luận như thế nào?

6. Hãy giải thích định tính tại sao lực ma sát giữa hai mặt chuyển động làm tăng nhiệt độ của các mặt này. Tại sao quá trình ngược lại không xảy ra.

7. Một khối quay trở lại vị trí ban đầu của nó sau khi tiêu tốn năng lượng cơ học vì ma sát. Tại sao quá trình này không phải là thuận nghịch về phương diện nhiệt động lực học.

8. Những quá trình nào là thuận nghịch trong các quá trình sau;

a. Làm vỡ một chai sô đa rỗng.

b. Trộn một cốc tai

c. Sự nóng chảy của một khối nước đá trong cốc nước chè đá.

d. Đốt cháy một thanh củi

e. Chọc thủng một lốp ôtô.

f. Kết thúc bản "Giao hưởng dở dang"

g. Viết quyển sách này.

9. Cho một vài thí dụ về các quá trình tự nhiên gần như thuận nghịch.

10. Ta có thể tính công thực hiện trong một quá trình bất thuận nghịch theo diện tích trên giản đồ p-V hay không? Có công nào được thực hiện không?

11. Gợi ý một quá trình thuận nghịch nhờ đó nhiệt lượng có thể thêm cho một hệ. Tại sao thêm nhiệt lượng bằng một bếp Bunsen lại không thể là một quá trình thuận nghịch được?

12. Để thực hiện một chu trình Carnot, ta không cần thiết phải bắt đầu từ điểm a trên h.22-9, mà có thể bắt đầu từ điểm b, c, d hay điểm trung gian nào đó cũng được. Giải thích.

13. Nếu động cơ Carnot là độc lập đối với chất công tác thì có lẽ các động cơ thực cũng độc lập tương tự như vậy trong một chừng mực nào đấy. Vậy thì tại sao, với các động cơ thực, chúng ta lại rất quan tâm tới việc tìm một nhiên liệu thích hợp như than đá, dầu xăng, hay các vật liệu phân hạch được? Tại sao ta không dùng đá làm nhiên liệu?

14. Trong những điều kiện nào một động cơ nhiệt lý tưởng là 100% hiệu quả?

15. Các yếu tố nào làm giảm hiệu suất của một động cơ nhiệt so với giá trị lý tưởng của nó?

16. Bạn muốn tăng hiệu suất của động cơ Carnot càng nhiều càng tốt. Bạn có thể làm điều đó bằng cách tăng T_H một lượng nào đó trong khi giữ T_C không đổi hoặc bằng cách giảm T_C một lượng bằng như thế, trong khi giữ T_H không đổi - Bạn sẽ làm theo cách nào?

17. Có thể làm lạnh bếp bằng cách để ngỏ cửa tủ lạnh được không? Giải thích.

18. Tại sao số dặm đường đi được (với mỗi lít xăng) của ôtô bạn, về mùa đông lại ít hơn mùa hè.

19. Thỉnh thoảng các nhà phát minh lại tuyên bố đã hoàn thiện một thiết bị có khả năng thực hiện công có ích mà không tiêu thụ hoặc tiêu thụ rất ít nhiên liệu. Bạn nghĩ điều gì có thể là đúng nhất trong các trường hợp sau:

a) Những người tuyên bố đó nói đúng

b) Người tuyên bố đó mắc sai lầm trong các phép đo của họ

c) Những người tuyên bố là những người lừa dối. Bạn có nghĩ rằng những lời tuyên bố trên nên được xem xét lại một cách chặt chẽ bởi một tập hợp các nhà khoa học và kỹ sư? Theo ý bạn liệu thời gian và nỗ lực có được biện minh?

20. Ta đã thấy rằng, các động cơ có thực luôn luôn nhả một lượng khá lớn nhiệt lượng cho các nguồn nhiệt độ thấp. Hình như là một sự xấu hổ khi phải vứt nhiệt lượng này đi. Tại sao không dùng nó để chạy một động cơ thứ hai lấy nguồn nhiệt độ thấp của máy thứ nhất làm nguồn nhiệt độ cao của máy thứ hai?

21. Cho các thí dụ trong đó entropi của hệ giảm, và giải thích tại sao định luật thứ hai của nhiệt động lực học không bị vi phạm.

22. Có phải các sinh vật vi phạm định luật thứ hai của nhiệt động lực học? Khi một con gà con lớn lên từ một quả trứng chẳng hạn, nó trở nên ngày càng có tổ chức và trật tự hơn. Tuy nhiên sự tăng của entropi lại đòi hỏi không trật tự và suy thoái? Có phải entropi của gà con đúng thực là giảm khi nó lớn lên không?

23. Hai mẫu chất khí ban đầu ở cùng một nhiệt độ và áp suất được nén từ thể tích V đến thể tích V/2, một mẫu theo cách đẳng nhiệt, mẫu kia theo cách đoạn nhiệt. Trong mẫu nào, áp suất cuối cùng lớn hơn. Entropi của khí thay đổi trong quá trình nào?

24. Giả thiết ta phải chọn để biểu diễn trạng thái của một hệ bằng entropi và nhiệt độ của nó (theo nhiệt giai Kelvin) thay cho áp suất và thể tích của nó).

(a) Chu trình Carnot như thế nào trên giản đồ T – S.

(b) Ý nghĩa vật lí nếu có, có thể gán cho diện tích dưới đường cong trên giản đồ T-S?

25. Có phải sự thay đổi của entropi xảy ra thuần tuý do những chuyển động cơ học.

26. Chứng minh rằng tổng entropi khi động năng được tiêu tán do ma sát giữa các mặt trượt trên nhau. Hãy mô tả sự tăng lên của sự không trật tự.

27. Hai miếng đất sét có khối lượng bằng nhau, chuyển động ngược chiều nhau với cùng một tốc độ. Chúng va vào nhau và dính với nhau. Coi cả hai miếng như một hệ và phát biểu xem các đại lượng sau đây là dương, âm hay bằng không cho quá trình đó: ΔE_{int} , Q, W và ΔS . Chứng minh câu trả lời của bạn.

28. Nhiệt lượng được chuyển từ Mặt Trời tới Trái Đất. Chứng minh rằng entropi của hệ Trái Đất - Mặt Trời giảm trong quá trình này.

29. Có thật là năng lượng của vũ trụ không ngừng trả nên ít sử dụng được? Nếu đúng thì tại sao?

30. Thảo luận lời bình luận sau đây của các nhà vật lý Panofski và Phillip. "Từ quan điểm của vật lí hình thức, chỉ có một khái niệm là không đối xứng với thời gian đó là entropi. Nhưng điều đó là hợp lí khi giả thiết rằng định luật thứ hai của nhiệt động lực học có thể dùng để biết chắc chiều của thời gian một cách độc lập trong bất kì hệ quy chiếu nào; điều đó có nghĩa là ta lấy chiều dương của thời gian là chiều tăng thống kê của sự không trật tự, hay là chiều tăng của entropi (về vấn đề này, xem "Mũi tên thời gian" của David Layzer. Scientific American 12-1975).

31. Giải thích lời phát biểu "các tia vũ trụ làm giảm liên tục entropi của Trái Đất, nơi chúng rơi xuống". Tại sao lời phát biểu này không mâu thuẫn với định luật thứ hai của nhiệt động lực học?

BÀI TẬP VÀ BÀI TOÁN

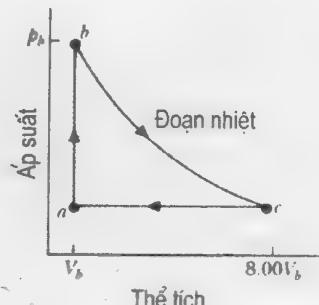
Mục 22.2. ĐỘNG CƠ

1E. Một động cơ nhiệt hấp thụ 52kcal nhiệt lượng và thải ra 36 kcal nhiệt lượng trong mỗi chu trình. Tính (a) Hiệu suất và (b) công thực hiện tính theo kcal trong mỗi chu trình.

2E. Một động cơ ôtô cung cấp 8,2kJ công trong 1 chu trình. a) Trước khi điều chỉnh hiệu suất là 25%. Tính nhiệt lượng hấp thụ từ sự đốt cháy nhiên liệu và nhiệt lượng thải ra bầu khí quyển. b) Sau khi điều chỉnh hiệu suất là 31%. Các giá trị mới của các đại lượng tính ở câu a) là bao nhiêu?

3E. Tính hiệu suất của một nhà máy nhiệt điện dùng nhiên liệu hoá thạch tiêu thụ 880 tấn than mỗi giờ, để sinh công có ích với tốc độ là 750MW. Nhiệt đốt cháy của 1,0kg than là 28MJ (năng suất tỏa nhiệt).

4P. Một mol khí đơn nguyên tử lí tưởng thực hiện một chu trình như trình bày trên h.28-18. Quá trình bc là sự giãn đoạn nhiệt: $p_b = 10,0\text{atm}$, $V_b = 1,00 \times 10^{-3}\text{m}^3$ và $V_c = 8,00V_b$. Tính (a) nhiệt lượng cung cấp cho chất khí; (b) nhiệt lượng chất khí thải ra; (c) Công toàn phần mà chất khí thực hiện; (d) Hiệu suất của chu trình.



HÌNH 22.18. Bài toán 4

5P. Một mol khí đơn nguyên tử lí tưởng đầu tiên có thể tích $10l$, nhiệt độ $300K$ được nung nóng đẳng tích tới nhiệt độ $600K$, sau đó giãn đẳng nhiệt tới áp suất cuối và cuối cùng lại được nén đẳng áp nghĩa là dưới áp suất không đổi tới thể tích, áp suất và nhiệt độ ban đầu: (a) Tính nhiệt lượng hệ nhận trong một chu trình. (b) Công toàn phần mà chất khí thực hiện trong một chu trình. (c) Hiệu suất của chu trình là bao nhiêu?

Mục 22.3. MÁY LẠNH

6E. Một máy lạnh sinh một công 150J để lấy đi 560J nhiệt lượng từ buồng lạnh.
a) Hiệu suất của một máy lạnh là bao nhiêu? b) Bao nhiêu nhiệt lượng trong mỗi chu trình được thải ra cho bếp?

7E. Để làm nước đá, một tủ lạnh lấy 42kcal nhiệt lượng ở -12°C trong mỗi chu trình. Tủ lạnh có hiệu suất 5,7. Nhiệt độ phòng là 26°C . a) Bao nhiêu nhiệt lượng nhả ra cho phòng trong mỗi chu trình? Công cần thiết trong một chu trình là bao nhiêu để chạy tủ lạnh?

Mục 22.7. HIỆU SUẤT CỦA ĐỘNG CƠ THỰC

8E. Một động cơ nhiệt dùng khí lí tưởng chạy theo chu trình Carnot giữa 235 và 115°C . Nó hấp thụ $6,3 \cdot 10^4\text{cal}$ trong mỗi chu trình ở nhiệt độ cao hơn. (a) Hiệu suất của động cơ là bao nhiêu? (b) Trong mỗi chu trình động cơ có khả năng thực hiện một công là bao nhiêu?

9E. Bao nhiêu công phải được thực hiện để lấy $1,0\text{J}$ nhiệt lượng. (a) Từ một nguồn nhiệt ở $7,0^{\circ}\text{C}$ và chuyển nó cho một nguồn khác ở 27°C bằng cách dùng một máy lạnh chạy theo chu trình Carnot. (b) Từ một nguồn ở -73°C đến một nguồn khác ở 27°C . (c) Từ một nguồn ở -173°C đến một nguồn khác ở 27°C . (d) Từ một nguồn ở -223°C đến một nguồn ở 27°C .

10E. Trong một chu trình Carnot, sự giãn đẳng nhiệt của một chất khí lí tưởng xảy ra ở 400K và sự nén đẳng nhiệt ở 300K . Trong khi giãn 500cal nhiệt lượng được chuyển cho chất khí. Xác định (a) Công mà chất khí thực hiện trong quá trình giãn đẳng nhiệt. (b) Nhiệt lượng mà chất khí thải ra trong quá trình nén đẳng nhiệt và (c) Công thực hiện trên chất khí trong quá trình nén đẳng nhiệt.

11E. Trong một lò tổng hợp hạt nhân giả định, nhiên liệu là khí đوتéri (D) ở nhiệt độ khoảng $7 \cdot 10^8\text{K}$. Nếu khí này có thể được dùng để chạy một động cơ nhiệt lí tưởng có nhiệt độ $T_c = 100^{\circ}\text{C}$ thì hiệu suất của nó sẽ là bao nhiêu?

12E. Một động cơ Carnot có hiệu suất 22% . Nó hoạt động giữa hai nguồn nhiệt có hiệu nhiệt độ 75°C . Nhiệt độ của các nguồn nhiệt là bao nhiêu?

13E. Một máy hóa lỏng hêli đặt trong một phòng ở nhiệt độ 300K . Nếu hêli trong máy có nhiệt độ 4K , thì tỉ số cực tiểu của nhiệt lượng nhả cho phòng và nhiệt lượng lấy từ hêli là bao nhiêu?

14E. Một máy điều hòa không khí thuận nghịch lí tưởng lấy nhiệt từ một phòng ở nhiệt độ 70°F và chuyển nó ra bên ngoài nơi có nhiệt độ 96°F . Hỏi cứ mỗi jun năng lượng cần để chạy máy điều hòa không khí thì có bao nhiêu jun nhiệt lượng được lấy đi từ phòng?

15E. Với chu trình Carnot minh họa trên h.22-9, hãy chứng minh rằng công mà chất khí thực hiện trong quá trình bc (bước 2) có cùng một giá trị tuyệt đối như công thực hiện trên chất khí trong quá trình da (bước 4).

16E. a) Với một máy lạnh Carnot lí tưởng, chứng minh rằng:

$$|W| = |Q_C| \frac{T_H - T_C}{T_C}$$

b) Trong một máy lạnh có thực, cuộn ống ở nhiệt độ thấp có nhiệt độ -13°C và khí nén trong buồng ngưng có nhiệt độ 26°C . Hiệu suất làm lạnh lí thuyết là bao nhiêu?

17E. a) Một động cơ Carnot chạy giữa một nguồn nóng có nhiệt độ 320K ở một nguồn lạnh có nhiệt độ 260K . Nếu nó hấp thụ 500J nhiệt lượng trong mỗi chu trình từ nguồn nóng, thì nó cho công bằng bao nhiêu trong một chu trình? b) Nếu cũng động cơ đó, chạy theo chiều ngược lại như một máy lạnh giữa hai nguồn nhiệt trên, thì phải cung cấp một công là bao nhiêu trong mỗi chu trình để có thể lấy đi 1000J nhiệt lượng từ nguồn lạnh.

18E. Một tổ hợp - thuỷ ngân - tuabin hơi nước lấy hơi thuỷ ngân bão hòa từ nồi hơi ở 876°F và dùng nó để làm nóng nồi hơi nước ở 460°F . Tuabin hơi nước nhận hơi từ nhiệt độ này và nhả nó cho buồng ngưng ở nhiệt độ 100°F . Hiệu suất cực đại của tổ hợp này là bao nhiêu?

19E. Trong một bơm nhiệt, nhiệt lượng từ bên ngoài ở $-5,0^{\circ}\text{C}$ được chuyển cho một căn phòng ở 17°C còn năng lượng được cung cấp bởi một môtơ điện. Hỏi nhiệt lượng cung cấp cho căn phòng là bao nhiêu jun khi động cơ điện tiêu thụ một jun. Cho rằng bơm nhiệt là bơm lí tưởng.

20P. Một bơm nhiệt được dùng để sưởi ấm một toà nhà. Nhiệt độ bên ngoài là $-5,0^{\circ}\text{C}$ và nhiệt độ bên trong toà nhà phải được giữ ở 22°C . Hiệu suất làm lạnh là $3,8$ và bơm nhiệt cung cấp $1,8 \text{ Mcal}$ nhiệt lượng trong mỗi giờ cho toà nhà. Hỏi phải cung cấp công với tốc độ bao nhiêu để chạy bơm nhiệt?

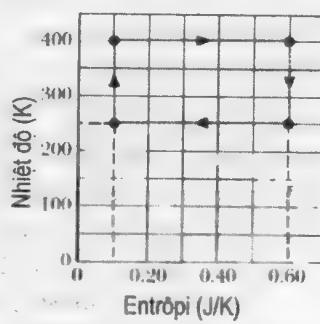
21P. Một động cơ Carnot có công suất 500W , nó hoạt động giữa hai nguồn nhiệt có nhiệt độ 100 và $60,0^{\circ}\text{C}$.

Tính (a) Tốc độ nhiệt lượng thu vào và (b) Tốc độ nhiệt lượng thải ra tính theo kilocalo trên giây.

22P. Môtơ trong một máy lạnh có công suất 200W . Nếu buồng lạnh có nhiệt độ 270K và không khí bên ngoài có nhiệt độ 300K , giả thiết hiệu suất là lí tưởng thì nhiệt lượng cực đại cần rút khỏi buồng lạnh là bao nhiêu trong $10,0$ phút?

23P. Tìm mối liên hệ giữa hiệu suất của động cơ nhiệt lí tưởng, thuận nghịch và hiệu suất làm lạnh của một máy lạnh thuận nghịch thu được bằng cách chạy theo chiều ngược lại.

24P. (a) Chứng minh rằng khi chu trình Carnot vẽ theo nhiệt độ (trong nhiệt kế Kelvin) là hàm số của entropi trong giản đồ $T - S$ thì ta được một hình chữ nhật. Với chu trình Carnot trình bày trên h.22-19 tính (b) nhiệt lượng nhận được và (c) công thực hiện bởi hệ.



HÌNH 22-19. Bài toán 24

25P. Trong một động cơ nhiệt Carnot hai tầng, tầng thứ nhất hấp thụ nhiệt lượng Q_1 ở nhiệt độ T_1 , thực hiện công W_1 , nhả nhiệt lượng Q_2 ở nhiệt độ T_2 . Tầng thứ hai hấp thụ nhiệt lượng mà tầng thứ nhất nhả ra, thực hiện công W_2 thải ra một nhiệt lượng Q_3 ở nhiệt độ thấp hơn T_3 . Chứng minh rằng hiệu suất của động cơ

$$\text{tổng hợp là } \frac{T_1 - T_3}{QT_1}.$$

26P. (a) Vẽ chính xác một chu trình Carnot trên giản đồ p-V cho 1,00 mol khí lí tưởng (xem h.22-9). Lấy điểm a ứng với $p = 1,00\text{ atm}$, $T = 300\text{K}$, điểm b ứng với $p = 0,500\text{ atm}$, $T = 300\text{K}$, nhiệt độ nguồn nhiệt độ thấp là 100K , $\gamma = 1,5$. (b) Tính bằng đồ thị công thực hiện trong chu trình đó. (c) Tính công bằng phương pháp giải tích.

27P. Một động cơ Carnot làm việc giữa hai nhiệt độ T_1 và T_2 . Nó kéo một máy lạnh làm việc giữa hai nhiệt độ khác T_3 và T_4 . (H.20-20). Tính tỉ số $|Q_3|/|Q_1|$ theo bốn nhiệt độ nói trên.

28P. Một máy điều hoà không khí làm việc giữa 93 và 70°F với tốc độ làm lạnh 400 Btu/h . Máy có hiệu suất làm lạnh bằng 27% của hiệu suất của máy lạnh Carnot làm việc với cùng những nhiệt độ ấy. Công mà mô tơ đòi hỏi là bao nhiêu mã lực?

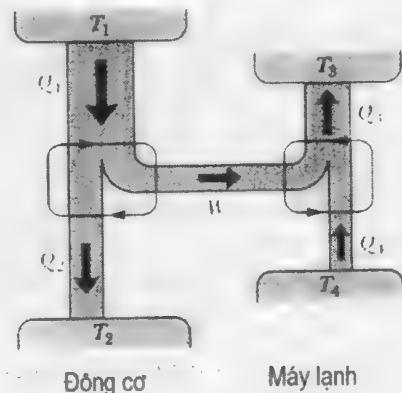
29P. Giả thiết một mũi khoan sâu được vào vỏ Trái Đất gần địa cực có nhiệt độ bề mặt -40°C , tới độ sâu có nhiệt độ 800°C .

(a) Hiệu suất giới hạn theo lý thuyết của động cơ làm việc giữa hai nguồn nhiệt độ này là bao nhiêu?

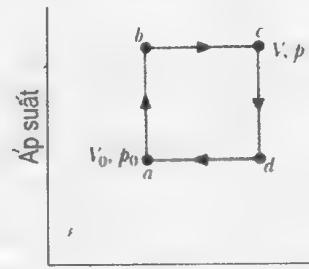
(b) Nếu tất cả nhiệt lượng thải ra cho nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp được dùng để làm nóng chảy băng lúc đầu ở nhiệt độ -40°C , thì tốc độ sản xuất nước lạnh ở 0°C sẽ là bao nhiêu, với nhà máy nhiệt điện có công suất lối ra là 100MW ? Nhiệt dung riêng của băng là $0,50\text{ cal/g.}^\circ\text{C}$ nhiệt nóng chảy của nó là 80 cal/g. (chú ý động cơ chỉ có thể làm việc giữa 0 và 800°C trong trường hợp này, năng lượng thải ra ở -40°C không thể dùng để nâng nhiệt độ của bất kỳ vật nào lên trên -40°C).

30P. Một mol khí lí tưởng đơn nguyên tử được dùng làm chất công tác của một động cơ theo chu trình trình bày trên h.22.21. Giả thiết $p = 2p_o$, $V = 2V_o$, $p_o = 1,01 \cdot 10^5\text{ Pa}$ và $V_o = 0,0225\text{ m}^3$.

Tính (a) Công thực hiện trong mỗi chu trình (b) Nhiệt lượng hệ nhận trong một chu trình ứng với thời kì giãn abc. (c) Hiệu suất của động cơ. (d) Hiệu suất Carnot của một động cơ hoạt động giữa hai nhiệt độ cao nhất và thấp nhất của chu trình là bao nhiêu? So sánh nó với hiệu suất tính trong câu c.



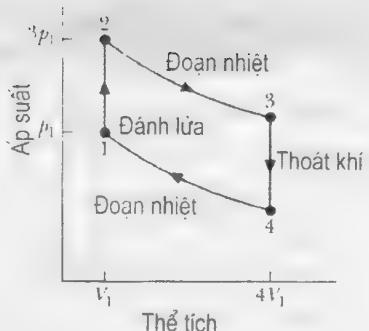
HÌNH 22.20. Bài toán 27



HÌNH 22.21. Bài toán 30

31P. Tính hiệu suất của chu trình Carnot trong bài toán 83, ở chương 21. Trong trường hợp này, nhiệt lượng nhận vào sẽ không có một nhiệt độ không đổi như trong chu trình Carnot.

32P*. Một động cơ đốt trong dùng xăng thực hiện một chu trình gần đúng như chu trình trên h.22.22. Giá thiết khí là lí tưởng và tỉ số nén được dùng 4: 1 ($V_4 = 4V_1$) và $p_2 = 3p_1 \cdot a$. Xác định áp suất và nhiệt độ tại các đỉnh của giàn đỡ p-V theo p_1 , T_1 và tỉ số các nhiệt dung riêng của chất khí. (b) hiệu suất của chu trình là bao nhiêu?



HÌNH 22.22. Bài toán 32

Mục 22.8. ENTROPI - MỘT BIẾN SỐ MÔI

33E. Trong h.22.14 giả thiết độ biến thiên entropi của hệ khí chuyển từ trạng thái a sang trạng thái b dọc theo đường 1 l.i + 0,602 cal/K. Hỏi độ biến thiên của entropi khí di (a) từ trạng thái a đến b theo đường 2 và (b) từ trạng thái b đến a theo đường 2.

34E. Tìm (a) Nhiệt lượng hấp thụ và (b) Độ biến thiên của entropi của một khối đồng 1,0kg có nhiệt độ tăng thuận nghịch từ 25 đến 100°C. Nhiệt dung riêng của đồng là $9,2 \cdot 10^{-2}$ cal/g.°C.

35E. Nhiệt có thể lấy đi từ nước ở 0,0°C và áp suất khí quyển mà không làm cho nước đóng băng nếu ta thực hiện với sự khuấy nhẹ nước. Giả thiết một giọt nước bị làm lạnh bằng cách như vậy đến khi nhiệt độ của nó bằng nhiệt độ môi trường xung quanh là -5,0°C. Giọt nước sau đó bị đóng băng đột ngột và truyền nhiệt lượng cho không khí và giọt nước đá lại có nhiệt độ -5,0°C. Độ biến thiên của entropi của mỗi gam nước trong quá trình đóng băng và truyền nhiệt này là bao nhiêu?

36P. Một nhà phát minh tuyên bố đã phát minh ra 4 động cơ, mỗi động cơ hoạt động giữa các nguồn nhiệt lượng có nhiệt độ 400 và 300K. Số liệu của mỗi động cơ, cho mỗi chu trình hoạt động như sau:

Động cơ (a): $Q_H = 200J$, $Q_C = -175J$, $W = 40J$

Động cơ (b): $Q_H = 500J$, $Q_C = -200J$, $W = 400J$.

Động cơ (c): $Q_H = 600J$, $Q_C = -200J$, $W = 400J$

Động cơ (d): $Q_H = 100J$, $Q_C = -90J$, $W = 10J$.

Mỗi động cơ này vi phạm định luật nào hay cả hai định luật thứ nhất và thứ hai của nhiệt động lực học?

37P. Ở nhiệt độ rất thấp, nhiệt dung riêng phân tử gam của nhiều loại chất rắn (gần đúng) tỷ lệ với T^3 là $C_v = AT^3$ trong đó A tùy thuộc vào từng chất ta xét. Với nhôm $A = 7,53 \cdot 10^{-6}$ cal/mol.K³. Tìm độ biến thiên entropi của 4,00 mol nhôm khi nhiệt độ của nó tăng từ 5,00 tới 10,0K.

Mục 29.9. ĐỘ BIẾN THIÊN CỦA ENTROPI VỚI NHỮNG QUÁ TRÌNH BẤT THUẬN NGHỊCH

38E. Một chất khí lí tưởng bị giãnձang nhiệt, thuận nghịch ở $77,0^{\circ}\text{C}$ làm tăng thể tích của nó từ 1,30 đến 3,40L. Độ biến thiên entropi của khí là 22,0 J/K. Có bao nhiêu mol khí bị giãn?

39E. Một chất khí lí tưởng bị giãnձang nhiệt thuận nghịch ở 132°C . Entropi của khí tăng được 46,0J/K. Nhiệt lượng hấp thụ là bao nhiêu?

40E. Một mol khí lí tưởng giãnձang nhiệt ở 360K tới khi thể tích của nó tăng gấp đôi. Độ tăng entropi của khí là bao nhiêu?

41E. Giả thiết cùng truyền một nhiệt lượng là 260J do dẫn nhiệt từ một nguồn nhiệt ở nhiệt độ 400K tới một nguồn nhiệt khác ở nhiệt độ lần lượt (a) 100K, (b) 200K, (c) 300K và (d) 360K. Tính độ biến thiên của entropi và biện luận chiều hướng của chúng.

42E. Một dây đồng tiếp xúc nhiệt một đầu với một nguồn nhiệt ở 130°C , đầu kia với một nguồn nhiệt ở $24,0^{\circ}\text{C}$. (a) Tính độ biến thiên tổng cộng của entropi khi dẫn 1200cal nhiệt lượng qua dây. (b) Entropi của dây có thay đổi trong quá trình hay không?

43E. Trong một thí nghiệm về nhiệt dung riêng, 200g nhôm ($c = 0,215 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$) ở 100°C được trộn với 50,0g nước ở 20°C . (a) Tính nhiệt độ cân bằng. Tính độ biến thiên của entropi của hệ. (Gợi ý: Xem các p.t 22-26 và 22-27)

44P. Một khối 10g nước đá ở -10°C được vò vào một cái hố có nhiệt độ 15°C . Tính độ biến thiên entropi của hệ khi khối nước đá cân bằng nhiệt với hố. Nhiệt dung riêng của nước đá là $0,50 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$. (Gợi ý: liệu khối nước đá sẽ ảnh hưởng tới nhiệt độ của hố).

45P. Một khối 8,0g nước đá ở -10°C được thả vào trong một phích nước chứa 100cm^3 nước ở 20°C . Độ biến thiên entropi của hệ là bao nhiêu khi sự cân bằng cuối cùng được thiết lập? Nhiệt dung riêng của nước đá là $0,50 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

46P. Bốn mol khí lí tưởng giãn từ thể tích V_1 đến thể tích $V_2 = 2V_1$ (a). Nếu giãn làձang nhiệt ở nhiệt độ $T = 400\text{K}$, thì công thực hiện khi khí giãn là bao nhiêu? (b) Tim độ biến thiên của entropi nếu có. (c) Nếu thay sự giãnձang nhiệt bằng sự giãn đoạn nhiệt thuận nghịch thì độ biến thiên của entropi là bao nhiêu?

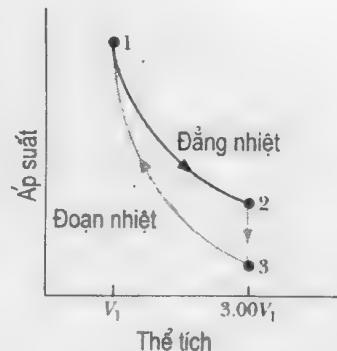
47P. Một khối 50g đồng có nhiệt độ 400K được đặt vào trong một hộp cách nhiệt chứa một khối 100g chì ở nhiệt độ 200K . (a) Nhiệt độ cân bằng của hệ hai khối là bao nhiêu? (b) Độ biến thiên nội năng của hệ hai khối khi nó tiến từ điều kiện ban đầu tới điều kiện cân bằng là bao nhiêu? Xem bảng (20-1).

48P. Một mol khí lí tưởng đơn nguyên tử được chuyển từ trạng thái đầu có áp suất p , thể tích V tới trạng thái cuối có áp suất $2p$ và thể tích $2V$ theo 2 quá trình khác nhau. (I) Giãn nởձang nhiệt tới khi có thể tích $2V$, sau đó áp suất được tăngձang tích tới trạng thái cuối (II). Nénձang nhiệt tới khi áp suất tăng gấp đôi, sau đó tăng thể tíchձang áp tới trạng thái cuối. Trình bày đường đi của mỗi quá trình trên giản đồ $p-V$. Với mỗi quá trình, tính theo p và V . (a) Nhiệt lượng hấp thụ bởi chất khí trong mỗi phần

trong quá trình. (b) Công thực hiện bởi chất khí trong mỗi phần của quá trình. (c) Độ biến thiên nội năng của khí $E_{intf} - E_{inti}$ và (d) Độ biến thiên entropi của khí $S_f - S_i$.

49P. Một chất khí lưỡng nguyên tử lí tưởng phải thực hiện chu trình tròn bảy trên giản đồ p-V ở h.22-23 trong đó $V_2 = 3,00V_1$. Xác định theo p_1 , V_1 , T_1 và R (a) p_2 , p_3 và T_1 và (b) W , Q , ΔE_{int} và ΔS cho mỗi mol với cả ba quá trình.

50P. Một vật có nhiệt dung không đổi C được nung nóng từ một nhiệt độ ban đầu T_i với nhiệt độ cuối T_f bằng cách cho tiếp xúc với nguồn nhiệt ở nhiệt độ cuối T_f .



HÌNH 22.23. Bài toán 49

a) Trình bày quá trình đó trên giản đồ C/T theo T và chứng minh bằng đồ thị rằng độ biến thiên tổng cộng của entropi ΔS (vật cộng nguồn nhiệt) là dương. (b) Trình bày ta sử dụng như thế nào các nguồn nhiệt ở các nhiệt độ trung gian để quá trình xảy ra theo cách mà ΔS bé như ý muốn.

51P. Một hỗn hợp gồm 1773g nước và 227g nước đá ở $0,00^\circ\text{C}$ trong một quá trình thuận nghịch được đưa tới trạng thái cân bằng cuối tại đó tỷ số nước - nước đá, tính theo khối lượng là 1:1 ở $0,00^\circ\text{C}$.

a) Tính độ biến thiên entropi của hệ trong quá trình này (Nhiệt nóng chảy của nước đá là 79,5 cal/g).

b) Hệ bây giờ được đưa trở về trạng thái ban đầu nhưng bằng một quá trình bất thuận nghịch (bằng cách dùng bếp Bunsen chẳng hạn). Tính độ biến thiên của entropi của hệ trong quá trình này..

c) Câu trả lời của bạn có phù hợp với định luật thứ hai nhiệt động lực học không?

52P. Một thanh bằng bạc tròn dài 15cm, đường kính 1,0cm có các đầu tiếp xúc với các nguồn nhiệt ở nhiệt độ 60°C và 20°C và một dòng nhiệt ở trạng thái dừng được thiết lập. Tốc độ ban đầu của độ biến thiên entropi của sợi dây là bao nhiêu nếu: (a) Đầu nóng bất thình lình tách khỏi nguồn nhiệt ở 60°C hoặc (b) Toàn bộ sợi dây bất thình lình được cách nhiệt.

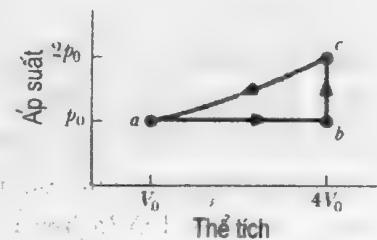
53P. Một mol khí lí tưởng đơn nguyên tử thực hiện chu trình tròn bảy trên h.22.24.

a) Công khí thực hiện là bao nhiêu khi giãn từ a tới c theo đường abc.

b) Độ biến thiên nội năng và entropi khi đi từ b đến c là bao nhiêu?

c) Độ biến thiên nội năng và entropi là bao nhiêu khi thực hiện một chu trình.

Biểu thị các đáp số theo áp suất p_0 , thể tích V_0 và nhiệt độ T_0 ở điểm a trên giản đồ.



HÌNH 22.24. Bài toán 53

BÀI TOÁN BỔ SUNG

54. Một chất khí lí tưởng đơn nguyên tử ở nhiệt độ ban đầu T_0 (theo kenvin) giãn từ thể tích ban đầu V_0 tới thể tích $2V_0$ theo một trong năm quá trình vẽ trên giản đồ đồ thị nhiệt độ theo thể tích như trình bày ở trên h.22.25. Quá trình nào là quá trình (a) đẳng nhiệt, (b) đẳng áp (áp suất không đổi) và (c) đoạn nhiệt. Giải thích câu trả lời của bạn. (d) Trong quá trình nào entropi của chất khí giảm.

55. Một động cơ Carnot mà nguồn nhiệt ở nhiệt độ thấp là 17°C có hiệu suất 40%. Phải tăng thêm nhiệt độ của nguồn nhiệt ở nhiệt độ cao bao nhiêu để hiệu suất tăng lên đến 50%.

56. Một mol khí lí tưởng dùng làm chất công tác của một động cơ chạy theo chu trình trình bày trên h.22.26 BC và DA là những quá trình thuận nghịch đoạn nhiệt. (a) Chất khí là đơn nguyên tử, lưỡng nguyên tử hay đa nguyên tử. (b) Hiệu suất của động cơ là bao nhiêu.

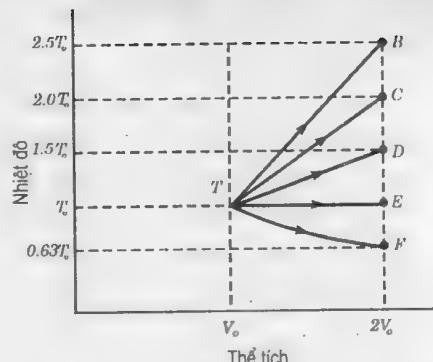
57. Một mol khí lí tưởng đơn nguyên tử có áp suất ban đầu $5,00\text{kN/m}^2$ và nhiệt độ ban đầu 600K , giãn từ thể tích ban đầu $V_i = 1,00\text{m}^3$ tới thể tích cuối $V_f = 2,00\text{m}^3$. Trong khi giãn, áp suất p và thể tích V liên hệ với nhau theo công thức

$$p = 5,00 e^{-\frac{(V_i - V)}{a}}$$

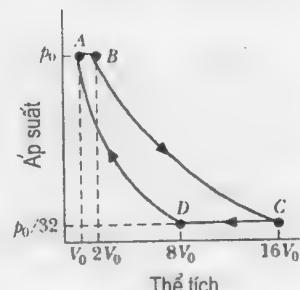
Trong đó p tính theo kN/m^2 , V_i và V tính theo m^3 và $a = 1.00\text{m}^3$. Hỏi: (a) áp suất cuối, (b) nhiệt độ cuối của chất khí. (c) Công do suất khí thực hiện trong quá trình giãn là bao nhiêu? (d) Độ biến thiên entropi của chất khí trong quá trình giãn là bao nhiêu?

(Gợi ý: dùng 2 quá trình đơn giản thuận nghịch để tìm độ biến thiên entropi).

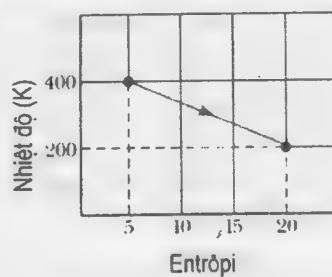
58. Hai mol khí lí tưởng đơn nguyên tử thực hiện quá trình thuận nghịch trình bày theo đồ thị nhiệt độ phụ thuộc vào entropi trên h.22.27 (a) Nhiệt lượng hấp thụ bởi chất khí là bao nhiêu? (b) Độ biến thiên nội năng của chất khí là bao nhiêu? (c) Công do chất khí thực hiện là bao nhiêu?



HÌNH 22.25. Bài toán 54



HÌNH 22.26. Bài toán 56



HÌNH 22.27. Bài toán 58

CÁC PHỤ LỤC

PHỤ LỤC A

HỆ ĐƠN VỊ QUỐC TẾ (SI)^(*)

1. NHỮNG ĐƠN VỊ CƠ BẢN CỦA SI

<i>Đại lượng</i>	<i>Tên</i>	<i>Kí hiệu</i>	<i>Định nghĩa</i>
Độ dài	met	m	".. độ dài của quãng đường mà ánh sáng đi được trong chân không trong $\frac{1}{299.792.458}$ giây (1983)
Khối lượng	kilôgam	kg	"... chuẩn gốc [một hình trụ bằng platin-iriđi nào đó] được lấy làm đơn vị khối lượng từ đây về sau" (1989).
Thời gian	giây	s	"... khoảng thời gian bằng $9.192.631.770$ chu kì của bức xạ tương ứng với dịch chuyển giữa hai mức siêu tinh tế của trạng thái cơ bản của nguyên tử xêdi 133" (1967)
dòng điện	ampe	A	"... dòng điện không đổi mà nếu được duy trì trong hai dây dẫn thẳng, song song dài vô hạn, tiết diện không đáng kể, đặt cách nhau 1 mét trong chân không, sẽ gây ra trong các dây dẫn này một lực bằng 2×10^{-7} nittơn trên một mét độ dài". (1946).
nhiệt độ nhiệt động lực học	kelvin	K	"... phần $\frac{1}{273,16}$ của nhiệt động lực học của điểm ba của nước" (1967).
lượng chất	mol	mol	"... lượng của chất của một hệ chứa cùng một lượng phân tử cơ bản bằng số nguyên tử trong 0,012 kilôgam cacbon 12" (1971).
cường độ sáng	candela	cd	"... cường độ phát sáng theo phương vuông góc của một diện tích $\frac{1}{600.000}$ mét vuông của một vật đen ở nhiệt độ đồng đặc của platin dưới áp suất 101,325 niutơn trên một mét vuông" (1967).

^(*) Theo: "Hệ đơn vị quốc tế(SI)". ấn phẩm đặc biệt số 390 của Cục đo lường tiêu chuẩn quốc gia xuất bản năm 1972. Những định nghĩa trên đây được thừa nhận ở Đại hội Cân Đo, một tổ chức quốc tế, vào các năm đã ghi. Trong sách này chúng tôi không dùng candela.

2. MỘT SỐ ĐƠN VỊ DÂN SUẤT SI

<i>Đại lượng</i>	<i>Tên đơn vị</i>	<i>Kí hiệu</i>
diện tích	met vuông	m^2
thể tích	met khối	m^3
tần số	hec	Hz
khối lượng riêng	kilôgam trên mét khối	kg/m^3
tốc độ, vận tốc	met trên giây	m/s
vận tốc góc	radian trên giây	rad/s
gia tốc	met trên giây trên giây	m/s^2
gia tốc góc	radian trên giây trên giây	rad/s^2
lực	niutơn	N
áp suất	patxcan	Pa
công, năng lượng, nhiệt lượng	jun	J
công suất	oat	W
hiệu điện thế, suất điện động	vôn	V
cường độ điện trường	vôn trên met (hoặc niutơn trên culông)	V/m
điện trở	ôm	Ω
điện dung	fara	F
từ thông	vêbe	Wb
độ tự cảm	henry	H
độ cảm ứng từ	tesla	T
cường độ từ trường	ampe trên mét	A/m
entropi	jun trên kenvil	J/K
nhiệt dung riêng	jun trên kilôgam kelvin	$J/(kg.K)$
độ dẫn nhiệt	oat trên met kelvin	$W(m.K)$
cường độ bức xạ	oat trên stêradian	W/sr

3. CÁC ĐƠN VỊ PHỤ SI

<i>Đại lượng</i>	<i>Tên đơn vị</i>	<i>Kí hiệu</i>
góc phẳng	radian	rad
góc đặc	steradian	sr

PHỤ LỤC B

MỘT SỐ HẰNG SỐ VẬT LÝ CƠ BẢN*

Hằng số	Kí hiệu	Giá trị ước tính	Giá trị tốt nhất(1986)	
			Giá trị ^(a)	Sai số ^(b)
Tốc độ ánh sáng trong chân không	c	3.00×10^8 m/s	2,99792458	chính xác
Điện tích nguyên tử	e	$1,60 \times 10^{-19}$ C	1,6217738	0,30
Khối lượng electron	m_e	$9,11 \times 10^{-31}$ kg	9,1093897	0,59
Khối lượng proton	m_p	$1,67 \times 10^{-27}$ kg	1,676230	0,59
Tỷ số khối lượng proton trên khối lượng electron	m_p/m_e	1840	1836,152701	0,020
Khối lượng neutron	m_n	$1,68 \times 10^{-27}$ kg	1,6749286	0,59
Khối lượng muon	m_μ	$1,88 \times 10^{-28}$ kg	1,8835326	0,61
Khối lượng electron ^(c)	m_e	$5,49 \times 10^{-4}$ u	5,48579902	0,023
Khối lượng proton ^(c)	m_p	1,0073 u	1,007266470	0,0012
Khối lượng neutron ^(c)	m_n	1,0087 u	1,008664704	0,14
Khối lượng nguyên tử hidro ^(c)	$m_{^1H}$	1,0078 u	1,007825035	0,011
Khối lượng nguyên tử đoteri ^(c)	$m_{^2H}$	2,0141 u	2,0141019	0,053
Khối lượng nguyên tử hêli ^(c)	$m_{^4He}$	4,0026 u	4,0026032	0,067
Thương số điện tích trên khối lượng của electron	e/m_e	$1,76 \times 10^{11}$ C/kg	1,75881961	0,30
Hằng số điện	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-2}$ F/m	8,85418781762	chính xác
Hằng số (từ) thấm	μ_0	$1,26 \times 10^{-6}$ H/m	1,2563706143	chính xác
Hằng số Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}$ Js	6,6260754	0,60
Bước sóng Compton của electron	λ_c	$2,43 \times 10^{-12}$ m	2,42531058	0,089
Hằng số khí lý tưởng	R	8,31 J/mol K	8,314510	8,4
Hằng số Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23}$ mol ⁻¹	6,0221367	0,59
Hằng số Boltzmann	k	$1,38 \times 10^{-23}$ J/K	1,380 657	11
Thể tích mol của khí lý tưởng ở STPd)	V_m	$2,24 \times 10^{-2}$ m ³ /mol	2,241409	8,4
Hằng số Faraday	F	$9,65 \times 10^4$ C/mol	9,6485309	0,30
Hằng số Stefan-Boltzmann	σ	$5,67 \times 10^{-8}$ W/m ² .K ⁴	5,67050	34
Hằng số Rydberg	R	$1,10 \times 10^7$ m ⁻¹	1,0973731534	0,0012
Hằng số hấp dẫn	G	$6,67 \times 10^{-11}$ m ³ /s ² .kg	6,67260	100
Bán kính Bohr	r _B	$5,29 \times 10^{-11}$ m	5,29177249	0,045
Momen từ của electron	μ_e	$9,28 \times 10^{-24}$ J/T	9,2847700	0,34
Momen từ proton	μ_p	$1,41 \times 10^{-26}$ J/T	1,41060761	0,34
Manheton Bohr	μ_B	$9,27 \times 10^{-24}$ J/T	9,2740154	0,34
Manheton hạt nhân	μ_N	$5,50 \times 10^{-27}$ J/T	5,0507865	0,34

a) Các giá trị ghi trong cột này phải cùng đơn vị và lũy thừa của 10 như giá trị ước tính b) Phần triệu.

c) Khối lượng được ghi theo đơn vị khối nguyên tử (u) trong đó 1u = $1,6605402 \cdot 10^{-27}$ kg d) STP (standard temperature and pressure) có nghĩa là nguyên tử và áp suất tiêu chuẩn 0°C và 1,0 atm (0,1 MPa).

Các giá trị trong bảng được lựa chọn từ một bảng dài hơn trong Symbols, Units and Nomenclature in Physics (IUPAP), do E. Richard Cohen và Pier Giacomo biên soạn năm 1986.

PHỤ LỤC C

MỘT SỐ SỐ LIỆU THIÊN VĂN (*)

VÀI KHOẢNG CÁCH TỪ TRÁI ĐẤT

Tới Mặt Trăng	$3,82 \times 10^8$ m
Tới Mặt Trời	$1,50 \times 10^{11}$ m
Tới ngôi sao gần nhất (Proxima Centauri)	$4,04 \times 10^{16}$ m
Tới tâm Thiên hà của chúng ta	$2,2 \times 10^{20}$ m
Tới thiên hà Andromed	$2,1 \times 10^{22}$ m
Tới biên của vũ trụ quan sát được	$\sim 10^{26}$ m

* Khoảng cách trung bình

MẶT TRỜI, TRÁI ĐẤT VÀ MẶT TRĂNG

Tính chất	Đơn vị	Mặt Trời	Trái Đất	Mặt Trăng
Khối lượng	kg	$1,99 \times 10^{30}$	$5,98 \times 10^{24}$	$7,36 \times 10^{22}$
Bán kính trung bình	m	$6,96 \times 10^8$	$6,37 \times 10^6$	$1,74 \times 10^6$
Khối lượng riêng trung bình	kg/m ³	1410	5520	3340
Gia tốc rơi tự do trên bề mặt	m/s ²	274	9,81	1,67
Vận tốc thoát	km/s	618	11,2	2,38
Chu kỳ quay a)		37 ngày tại các cực b) 26 ngày tại xích đạo	23h 56 phút	27,3 ngày
Năng suất bức xạ c)	W	$3,90 \times 10^{26}$		

a) Được đo đối với những ngôi sao ở xa

b) Mặt Trời một khối khí không quay như một vật thể rắn

c) Ngay ở ngoài khí quyển Trái Đất, năng lượng nhận được từ Mặt Trời, coi như tới vuông góc, với tốc độ 1340 W/m².

VÀI TÍNH CHẤT CỦA CÁC HÀNH TINH

	Sao Thủy	Sao Kim	Trái Đất	Sao Hoá	Sao Mộc	Sao Thủ	Sao Thiên Vương	Sao Hải Vương	Sao Diêm Vương
Khoảng cách trung bình từ Mặt Trời, 10^6km	57,9	108	150	228	778	1430	2870	4500	5900
Chu kỳ vòng quay, năm	0,241	0,615	1,00	1,88	11,9	29,5	84,0	165	248
Chu kỳ quay ^{a)} ngày	5,87	-243 ^{b)}	0,997	1,03	0,409	0,426	-0,451b	0,658	6,39
Tốc độ quỹ đạo, km/s	47,9	35,0	29,8	24,1	13,1	9,64	6,81	5,43	4,74
Độ nghiêng của trục so với quỹ đạo	< 28°	≈ 3°	23,4°	25,0°	3,08°	26,7°	97,9°	29,6°	57,5°
Độ nghiêng của quỹ đạo so với quỹ đạo Trái Đất	7,00°	3,39°		1,18°	1,30°	2,49°	0,77°	1,77°	17,2°
Tâm sai của quỹ đạo	0,206	0,0068	0,0167	0,0934	0,00485	0,0056	0,0472	0,0086	0,250
Đường kính xích đạo, km	4880	12.100	12.800	6790	143.000	120.000	51.800	49.500	2300
Khối lượng (Trái Đất = 1)	00558	0,815	1,000	0,107	318	95,1	14,5	17,2	0,002
Tỉ trọng (nước = 1)	5,60	5,20	5,52	3,95	1,31	0,704	1,21	1,67	2,03
Giá trị của $g^c)$ trên bề mặt m/s^2	3,78	8,60	9,78	3,7	22,9	9,05	7,77	11,0	0,5
Vận tốc thoát ^{d)} km/s	4,3	10,3	11,2	5,0	59,5	35,6	21,2	23,6	1,1
Các vệ tinh đã biết	0	0	1	2	16+ một vành	18 + nhiều vành	15 + nhiều vành	8 + nhiều vành	1

a) Được đo đối với những ngôi sao xa.

b) Sao Kim và Sao Thiên vương quay ngược với chuyển động quỹ đạo của chúng.

c) Gia tốc trọng trường được đo ở xích đạo của hành tinh.

PHỤ LỤC D
TÍNH CHẤT CÁC NGUYÊN TỐ

Tất cả các tính chất vật lí được đo tại áp suất 1atm, nếu không có ghi chú.

Nguyên tố	Kí hiệu	Nguyên tử số Z	Khối lượng mol, g/mol	Khối lượng riêng g/cm ³ ở 20°C	Điểm nóng chảy °C	Điểm sôi, °C	Nhiệt dung riêng J/(g°C) ở 25°C
Actini	Ac	89	(227)	10,06	1323	(3473)	0,092
Amerixi	Am	95	(243)	13,67	1541	-	-
Antimon	Sb	51	121,75	6,691	630,5	1380	0,205
Agon	Ar	18	38,948	$1,6626 \times 10^{-3}$	-189,4	-185,8	0,523
Asen	As	33	74,9216	5,78	817 (28atm)	613	0,331
Atatin	At	85	(210)	-	(302)	-	-
Bạc	Ag	47	107,870	10,49	960,8	2210	0,234
Bari	Ba	56	137,34	3,594	729	1640	0,205
Beckeli	Bk	97	(247)	14,79	-	-	-
Beri	Be	4	9,0122	1,848	1287	2770	1,83
Bitmut	Bi	83	208,980	9,747	271,37	1560	0,122
Bo	B	5	10,811	2,34	2030	-	1,11
Brom	Br	35	79,909	(3,12 (lỏng))	-7,2	58	0,293
Cadimi	Cd	48	112,40	8,65	321,03	765	0,226
Canxi	Ca	20	40,08	1,55	838	1440	0,624
Califoni	Cf	98	(251)	-	-	-	-
Cacbon	C	6	12,01115	2,26	3727	4830	0,691
Chì	Pb	82	207,19	11,35	327,45	1725	0,129
Clo	Cl	17	35,453	$3,214 \times 10^{-3}(0°C)$	-101	-34,7	0,486
Crom	Cr	24	51,996	7,19	1857	2665	0,448
Coban	Co	27	58,9332	8,85	1495	2900	0,423
Curi	Cm	96	(247)	13,3	-	-	-
Disprozi	Dy	66	162,50	8,55	1409	2330	0,172
Đồng	Cu	29	63,54	8,96	1083,40	2595	0,385
Ecbi	Er	68	167,26	9,15	1522	2630	0,167
Ensteni	Es	99	(254)	-	-	-	-
Europi	Eu	63	151,96	5,243	817	1490	0,163
Fecmi	Fm	100	(237)	-	-	-	-
Flo	F	9	18,9984	$1,696 \times 10^{-3}(0°C)$	-219,6	-188,2	0,753
Franxi	Fr	87	(223)	-	(27)	-	-
Gadolini	Gd	64	157,25	7,90	1312	2730	0,234
Gali	Ga	31	69,72	5,907	29,75	2237	0,377
Gemanii	Ge	32	72,59	5,323	937,25	2830	0,322
Hafini	Hf	72	178,49	13,31	2227	5400	0,144
Heli	He	2	4,0026	$0,1664 \times 10^{-3}$	-269,7	-268,9	5,23
Honmi	Ho	67	164,930	8,79	1470	2330	0,165
Hidro	H	1	1.00797	$0,08375 \times 10^{-3}$	-259,19	-252,7	14,4

<i>Nguyên tố</i>	<i>Kí hiệu</i>	<i>Nguyên tử số Z</i>	<i>Khối lượng mol, g/mol</i>	<i>Khối lượng riêng g/cm³ ở 20°C</i>	<i>Điểm nóng cháy °C</i>	<i>Điểm sôi, °C</i>	<i>Nhiệt dung riêng J/(g°C) ở 25°C</i>
Indi	In	49	114,28	7,31	156,634	2000	0,233
Iot	I	53	126,9044	4,93	113,7	183	0,218
Iridi	Ir	77	192,2	22,5	2447	(5300)	0,130
Kali	K	19	39,102	0,862	63,20	760	0,758
Kẽm	Zn	30	65,37	7,133	419,58	906	0,389
Kripton	Kr	36	83,80	$3,488 \times 10^{-3}$	-157,37	-152	0,247
Lantan	La	57	138,91	6,189	920	3470	0,195
Lorenxi	Lr	103	(257)	-	-	-	-
Liti	Li	3	6,939	0,534	180,55	1300	3,58
Lutexi	Lu	71	174,97	9,849	1663	1930	0,155
Lưu huỳnh	S	16	32,064	2,07	119,0	444,6	0,707
Magiê	Mg	12	24,312	1,738	650	1107	1,03
Mangan	Mn	25	54,9380	7,44	1244	2150	0,481
Mendelevi	Md	101	(256)	-	-	-	-
Molipen	Mo	42	95,54	10,22	2617	5560	0,251
Natri	Na	11	22,9898	0,9712	97,85	892	1,23
Neodim	Nd	60	144,24	7,007	1016	3180	0,188
Neon	Ne	10	20,183	$0,8387 \times 10^{-3}$	-248,597	-246,0	1,03
Neptuni	Np	93	(237)	20,25	637	-	1,26
Nhôm	Al	13	26,9815	2,699	660	2450	0,900
Niken	Ni	28	58,71	8,902	1453	2730	0,444
Niobi	Nb	41	92,906	8,57	2468	4927	0,264
Nitơ	N	7	14,0067	$1,1649 \times 10^{-3}$	-210	-195,8	1,03
Nobelii	No	102	(255)	-	-	-	-
Osimi	Os	76	190,2	22,59	3027	5500	0,130
Oxi	O	8	15,9994	$1,3318 \times 10^{-3}$	-218,80	-183,0	0,193
Paladi	Pd	46	106,4	12,02	1552	2980	0,243
Photpho	P	15	30,9738	1,83	44,25	280	0,741
Platin	Pt	78	195,09	21,45	1769	4530	0,134
Plutoni	Pu	94	(244)	19,8	640	3235	0,130
Polono	Po	84	(210)	9,32	254	-	-
Prazeodim	Pr	59	140,907	6,773	931	3020	0,197
Prometi	Pm	61	(145)	7,22	(1027)	-	-
Protactini	Pa	91	(231)	15,37 (ước lượng)	(1230)	-	-
Radi	Ra	88	(226)	5,0	700	-	-
Radon	Rn	86	(222)	$9,96 \times 10^{-3}$ (0°C)	(-71)	-61,8	0,092
Rêni	Re	75	186,2	21,02	3180	5900	0,134

Nguyễn tố	Kí hiệu	Nguyễn tử số Z	Khối lượng mol, g/mol	Khối lượng riêng g/cm ³ ở 20°C	Điểm nóng chảy °C	Điểm sôi, °C	Nhiệt dung riêng J/(g°C) ở 25°C
Rodi	Rh	45	102,905	12,41	1963	4500	0,243
Rubidi	Rb	37	85,47	1,532	34,49	588	0,364
Ruteni	Ru	44	101,107	12,37	2250	4900	0,239
Samari	Sm	62	150,35	7,52	1072	1630	0,197
Sắt	Fe	26	55,847	7,874	1536,5	3000	0,447
Scandi	Sc	21	44,956	2,99	1539	2730	0,569
Selen	Se	34	78,96	4,97	221	685	0,318
Silic	Si	14	28,086	2,33	1412	2680	0,712
Stronti	Sr	38	87,62	2,54	768	1380	0,737
Tali	Tl	81	204,37	11,85	304	1457	0,130
Tantan	Ta	73	180,948	16,6	3014	5425	0,138
Tecnexi	Tc	43	(99)	11,46	2200	-	0,209
Telu	Te	52	127,60	6,24	449,5	990	0,201
Tebi	Tb	65	158,924	8,229	1357	2530	0,180
Thiếc	Sn	50	118,69	7,2984	231,868	2270	0,226
Thori	Th	90	(232)	11,72	1755	(3850)	0,117
Thuỷ ngân	Hg	80	200,59	13,55 (lỏng)	-38,87	357	0,138
Titan	Ti	22	47,90	4,54	1670	3260	0,523
Tuli	Tm	69	168,934	9,32	1545	1720	0,159
Unipentii ^{a)}	Unp	105	262	-	-	-	-
Uniquadi ^{b)}	Unq	104	261	-	-	-	-
Urani	U	92	(238)	18,95	1132	3818	0,117
Vanadi	V	23	50,942	6,11	1902	3400	0,490
Vàng	Au	79	196,967	19,32	1064,43	2970	0,131
Vonfam	W	74	183,85	19,3	3380	5930	0,134
Xenon	Xe	54	131,30	5,495 × 10 ⁻³	-111,79	-108	0,159
Xêri	Ce	58	140,12	6,768	804	3470	0,188
Xêsi	Cs	55	132,905	1,873	28,40	690	0,243
Ytecbi	Yb	70	173,04	6,965	824	1530	0,155
Ytri	Y	39	88,905	4,469	1526	3030	0,297
Ziriconi	Zr	40	91,22	6,506	1852	3580	0,276

+ Các trị giá trong các ngoặc đơn ở cột khối lượng mol là các số khối lượng của các đồng vị phóng xạ của nguyên tố có thời gian sống dài nhất. Điểm nóng chảy và điểm sôi trong các ngoặc đơn là không chắc chắn.

+ Các giá trị đổi với các chất khí khi các chất khí này ở trạng thái phân tử thông thường như H₂, He, O₂, Ne v.v... Nhiệt dung riêng của chất khí là giá trị ở áp suất không đổi.

Xuất xứ: Theo Wehr, Richards, Adair, *Physics of the Atom*, xuất bản lần thứ tư, Addison-Wesley Reading, M.A, 1984 và theo J.Emsley, *The Elements*, xuất bản lần thứ hai, Nhà xuất bản Clarendon, Oxford 1991.

^{a)} Kusatovi, Ku

^{b)} Ninxbori, Ns.

PHỤ LỤC E

BẢNG TUẦN HOÀN CÁC NGUYÊN TỐ

• Ho Lantan

Họ Actini

PHỤ LỤC F

HỆ SỐ CHUYỂN ĐỔI

Hệ số chuyển đổi có thể được đọc trực tiếp từ những bảng này. Ví dụ $1 \text{ độ} = 2,778 \times 10^{-3}$ vòng, vậy $16,7^\circ\text{C} = 16,7 \times 2,778 \times 10^{-3}$ vòng. Các đại lượng SI được viết hoa hoàn toàn. Một phần lấy từ G.Shortley và D.Williams, Elements of Physics. Prentice - Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971.

GÓC PHẲNG

θ		"	RADIAN	Vòng
1 độ	= 1	60	3600	$1,754 \times 10^{-2}$
1 phút	$= 1,667 \times 10^{-2}$	1	60	$2,909 \times 10^{-4}$
1 giây	$= 2,778 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1	$4,848 \times 10^{-6}$
1 RADIANT	= 57,30	3438	$2,063 \times 10^5$	1
1 vòng	= 360	$2,16 \times 10^4$	$1,296 \times 10^6$	6,283
				1

GÓC KHỐI

$$1 \text{ hình cầu} = 4\pi \text{ steradian} = 12,57 \text{ steradian}$$

ĐỘ DÀI

cm	MET	km	in	ft	mi
1 centimet	$= 1 \times 10^{-2}$	10^{-5}	0,3937	$3,281 \times 10^{-2}$	$6,214 \times 10^{-6}$
1 MET	= 100	1	10^{-3}	39,37	3,281
1 kilomet	$= 10^5$	1000	1	$3,937 \times 10^4$	3281
1 inch	$= 2,540 \times 10^{-2}$	$2,540 \times 10^{-5}$	1	$8,333 \times 10^{-2}$	$1,578 \times 10^{-5}$
1 fult	$= 30,48$	0,3048	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1
1 dặm	$= 1,609 \times 10^5$	1609	$6,336 \times 10^4$	5280	1
1 angstrom	$= 10^{-10} \text{ m}$	$1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m}$	1 fathom = 6ft		$1 \text{ rod} = 16,5 \text{ ft}$
1 hải lí	$= 1852 \text{ m}$	$1 \text{ năm ánh sáng} = 9,460 \times 10^{12} \text{ km}$	$1 \text{ bán kính Bohr} = 5,292 \times 10^{-11} \text{ m}$		$1 \text{ mil} = 10^{-3} \text{ in}$
	$= 1,151 \text{ dặm} = 670 \text{ ft}$	$1 \text{ parsec} = 3,084 \times 10^{13} \text{ km}$	1 yard = 3ft		$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

DIỆN TÍCH

	MET ²	cm ²	ft ²	in ²
1 MET vuông	= 1	10^4	10,76	1550
1 centimet vuông	$= 10^{-4}$	1	$1,076 \times 10^{-3}$	0,1550
1 fut vuông	$= 9,290 \times 10^{-2}$	929,0	1	144
1 inch vuông	$= 6,452 \times 10^{-4}$	6,452	$6,944 \times 10^{-3}$	1
1 dặm vuông	$= 2,788 \times 10^7 \text{ ft}^2 = 640 \text{ acre}$		$1 \text{ acre} = 43,560 \text{ ft}^2$	
1 barn	$= 10^{-28} \text{ m}^2$		$1 \text{ hecta} = 10^4 \text{ m}^2 = 2,471 \text{ acre}$	

THỂ TÍCH

	MET^3	cm^3	L	ft^3	in^3
1 MET khối	= 1	10^6	1000	35,31	$6,102 \times 10^4$
1 centimet khối	$= 10^{-6}$	1	$1,000 \times 10^{-3}$	$3,531 \times 10^{-5}$	$6,102 \times 10^{-2}$
1 lit	$= 1,000 \times 10^{-3}$	1000	1	$3,531 \times 10^{-2}$	61.02
1 fut khối	$= 2,832 \times 10^{-2}$	$2,832 \times 10^4$	28.32	1	1728
1 inch khối	$= 1,639 \times 10^{-5}$	16,39	$1,639 \times 10^{-2}$	$5,787 \times 10^{-4}$	1

1 gallon chất lỏng U.S = 4 quart chất lỏng U.S = 8 pint U.S = 128 aoxo chất lỏng U.S = 231 in³.

1 gallon hoàng gia Anh = 277.4 in³ = 1.201 gallon chất lỏng U.S.

KHỐI LƯỢNG

Các đại lượng ở bên phải hoặc ở phía dưới đường chấm chấm không phải là đơn vị khối lượng như thường được dùng như thế. Ví dụ khi ta viết 1kg "=" 2.205 lb nghĩa là 1 kilôgam là một khối lượng nặng 2,205 pound tại nơi mà g có giá trị tiêu chuẩn là 9,80662 m/s².

g	KILÔGAM	<i>slug</i>	u	oz	lb	ton
1 gam	= 1	0.001	$6,852 \times 10^{-5}$	$6,022 \times 10^{-3}$	$3,527 \times 10^{-3}$	$2,205 \times 10^{-3}$
1 Kilôgam	= 1000	1	$6,852 \times 10^{-2}$	$6,022 \times 10^{26}$	35,27	2,205
1 slug	$= 1,459 \times 10^4$	14,59	1	$8,786 \times 10^{27}$	514.8	32.17
1 đơn vị khối lượng nguyên tử	$= 1,661 \times 10^{-24}$	$1,661 \times 10^{-27}$	$1,138 \times 10^{-26}$	1	$5,857 \times 10^{-25}$	$3,662 \times 10^{-27}$
1 aoxo	= 28,35	$2,835 \times 10^{-2}$	$1,943 \times 10^{-3}$	$1,718 \times 10^{-5}$	1	$6,250 \times 10^{-2}$
1 pao	= 453,6	0,4536	$3,108 \times 10^{-2}$	$2,732 \times 10^{-35}$	16	1
1 ton	$= 9,072 \times 10^5$	907,2	62,16	$5,463 \times 10^{29}$	$3,2 \times 10^1$	2000

1 tấn hệ met = 1000kg

KHỐI LƯỢNG RIÊNG

Các đại lượng ở bên phải hoặc ở phía dưới đường chấm chấm là trọng lượng riêng, có thể nguyên khai khối lượng riêng, xin xem chú thích về khối bảng lượng.

	$slug/ft^3$	KILGAM/MET³	g/cm^3	lb/ft^3	lb/in^3
1 slug trên fút ³	= 1	515,4	0,5154	32,17	$1,862 \times 10^{-2}$
1 KILOGAM trên MET ³	$= 1,940 \times 10^{-3}$	1	0,001	$6,243 \times 10^{-2}$	$3,613 \times 10^{-5}$
1 gam trên centimet ³	= 1,940	1000	1	62,43	$3,613 \times 10^{-2}$
1 pao trên fút ³	$= 3,108 \times 10^{-2}$	16,02	$1,602 \times 10^{-2}$	1	$5,787 \times 10^{-4}$
1 pao trên inch ³	= 53,71	$2,768 \times 10^4$	27,68	1728	1

THỜI GIAN

<i>năm</i>	<i>ngày</i>	<i>giờ</i>	<i>phút</i>	<i>GIÂY</i>
1 năm = 1	$365,25$	$8,766 \times 10^3$	$5,259 \times 10^5$	$3,156 \times 10^7$
1 ngày = $2,738 \times 10^3$	1	24	1440	$8,640 \times 10^4$
1 giờ = $1,141 \times 10^4$	$4,167 \times 10^2$	1	60	3600
1 phút = $1,901 \times 10^{-2}$	$6,944 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1	60
1 GIÂY = $3,169 \times 10^{-8}$	$1,157 \times 10^{-5}$	$2,778 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1

TỐC ĐỘ

	<i>ft/s</i>	<i>km/h</i>	<i>MET/GIÂY</i>	<i>mi/h.</i>	<i>cm/s</i>
1 fut trên giây	= 1	1,097	0,3048	0,6818	30,48
1 kilomet trên giờ	= 0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78
1 MET trên GIÂY	= 3,281	3,6	1	2,237	100
1 mile trên giờ	= 1,467	1,609	0,4470	1	44,70
1 centimet trên giây	= $3,281 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	0,01	$2,237 \times 10^{-2}$	1

1 nút = 1 hải lí/h = 1,688 ft/s

1 mi/min = 88,00 ft/s = 60,00 mi/h.

LỰC

Các đơn vị lực ở bên phải hoặc phía dưới đường chấm hiện nay ít dùng. Để làm sáng tỏ; 1 gam lực (1gl) là trọng lực tác dụng lên một vật có khối lượng 1 gam tại địa điểm mà g có giá trị tiêu chuẩn là $9,800665 \text{ m/s}^2$.

	<i>dyn</i>	<i>NIU TƠN</i>	<i>lb</i>	<i>pal</i>	<i>glực</i>	<i>kglực</i>
1 dyn	= 1	10^{-5}	$2,248 \times 10^{-6}$	$7,233 \times 10^{-5}$	$1,020 \times 10^{-3}$	$1,020 \times 10^{-6}$
1 NIU TƠN	= 10^5	1	0,2248	7,233	102,0	0,1020
1 pao	= $4,448 \times 10^5$	4,448	1	32,17	453,6	0,4536
1 paodal	= $1,383 \times 10^4$	0,1383	$3,108 \times 10^{-2}$	1	14,10	$1,410 \times 10^{-2}$
1 gam lực	= 980,7	$9,807 \times 10^{-3}$	$2,205 \times 10^{-2}$	$7,093 \times 10^{-2}$	1	0,001
1 kilôgam lực	= $9,807 \times 10^5$	9,807	2,205	70,93	1000	1

ÁP SUẤT

	<i>atm</i>	<i>dyn/cm²</i>	<i>inch of water</i>	<i>cmHg</i>	<i>PAXCAN</i>	<i>1b/in²</i>	<i>1b/ft²</i>
1 atmophere	= 1	$1,013 \times 10^6$	406,8	76	$1,013 \times 10^5$	14,70	2116
1 dyn trên centimet ²	= $9,869 \times 10^{-1}$	1	$4,015 \times 10^{-4}$	$7,501 \times 10^{-5}$	0,1	$1,405 \times 10^{-5}$	$2,089 \times 10^{-3}$
1 inch nước ở 4°C	= $2,458 \times 10^{-3}$	2491	1	0,1868	249,1	$3,613 \times 10^{-2}$	5,202
1 centimet thủy ngân ở 0°C)	= $1,316 \times 10^2$	$1,333 \times 10^4$	5,353	1	1333	0,1934	27,85
1 PAXCAN	= $9,869 \times 10^{-6}$	10	$4,015 \times 10^{-3}$	$7,501 \times 10^{-4}$	1	$1,450 \times 10^{-4}$	$2,089 \times 10^{-2}$
1 pao trên inch ²	= $6,805 \times 10^{-2}$	$6,895 \times 10^4$	27,68	5,171	$6,895 \times 10^3$	1	144
1 pao trên fút ²	= $4,725 \times 10^{-2}$	478,8	0,1922	$3,591 \times 10^{-2}$	47,88	$6,944 \times 10^{-3}$	1

a) Tại nơi mà giá tốc trọng trường có giá trị tiêu chuẩn $47,88$ là $9,80065\text{m/s}^2$

$1 \text{ bar} = 106 \text{ dyn/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$

$1 \text{ milibar} = 103 \text{ dyn/cm}^2 = 10^2 \text{ Pa}$

$1 \text{ tor} = 1 \text{ mmHg}$

NĂNG LƯỢNG, CÔNG, NHIỆT

Những đại lượng ở bên phải hoặc phía dưới đường chấm không thực sự là đơn vị năng lượng nhưng đưa vào cho tiện. Chúng phát sinh từ công thức tương đương khối lượng - năng lượng tương đối tính $E = mc^2$ và biểu diễn năng lượng tỏa ra nếu một kg hoặc một đơn vị khối lượng được chuyển hoàn toàn thành một đơn vị năng lượng (hai cột cuối bên phải).

	<i>Btu</i>	<i>erg</i>	<i>ft.lb</i>	<i>hp.h</i>	<i>JUN</i>	<i>cal</i>	<i>kW.h</i>	<i>eV</i>	<i>MeV</i>	<i>kg</i>	<i>u</i>
1 British thermal unit (đơn vị nhiệt của Anh)	1 $\times 10^{10}$	1,055 $\times 10^{-4}$	777,9 $\times 10^{-4}$	3,929 $\times 10^{-4}$	1055	252,0 $\times 10^{-4}$	2,930 $\times 10^{-4}$	6,585 $\times 10^{21}$	6,585 $\times 10^{15}$	1,174 $\times 10^{-14}$	7,070 $\times 10^{12}$
1 erg	9.481 $\times 10^{-11}$	1 $\times 10^{-8}$	7.376 $\times 10^{-14}$	3,725 $\times 10^{-14}$	10⁻⁷	2,389 $\times 10^{-8}$	2,778 $\times 10^{-14}$	6,242 $\times 10^{11}$	6,242 $\times 10^5$	1,113 $\times 10^{-24}$	670,2
1 fút-pao	1.285 $\times 10^{-3}$	1,356 $\times 10^7$	1 $\times 10^{-7}$	5,051 $\times 10^{-7}$	1,356	0,3238	3,766 $\times 10^{-7}$	8,464 $\times 10^{18}$	8,464 $\times 10^{12}$	1,509 $\times 10^{-17}$	9,037 $\times 109$
1 mã lực-giờ	2545 $\times 10^{13}$	2,685 $\times 10^6$	1,980 $\times 10^6$	1	2,685 $\times 10^6$	6,413 $\times 10^5$	0,7457 $\times 10^5$	1,676 $\times 10^{25}$	1,676 $\times 10^{19}$	2,988 $\times 10^{-11}$	1,799 $\times 10^{16}$
1 JUN	9,481 $\times 10^{-4}$	10⁷ $\times 10^{-4}$	0,7376 $\times 10^{-7}$	3,725 $\times 10^{-7}$	1	0,2389	2,778 $\times 10^{-7}$	6,242 $\times 10^{18}$	6,242 $\times 10^{12}$	1,113 $\times 10^{-17}$	6,702 $\times 10^9$
1 calo	3,969 $\times 10^{-3}$	4,186 $\times 10^7$	3,088 $\times 10^6$	1,560 $\times 10^{-6}$	4,186	1	1,163 $\times 10^{-6}$	2,613 $\times 10^{19}$	2,613 $\times 10^{13}$	4,660 $\times 10^{-17}$	2,806 $\times 10^{10}$
1 kiloát-giờ	3413 $\times 10^{13}$	3,600 $\times 10^6$	2,655 $\times 10^6$	1,341 $\times 10^6$	3,600 $\times 10^6$	3,600 $\times 10^5$	1 $\times 10^{25}$	2,247 $\times 10^{19}$	2,247 $\times 10^{13}$	4,007 $\times 10^{-11}$	2,413 $\times 10^{16}$
1 electron-vôn	1,519 $\times 10^{-22}$	1,602 $\times 10^{-12}$	1,182 $\times 10^{-19}$	5,967 $\times 10^{-26}$	1,602 $\times 10^{-19}$	3,827 $\times 10^{-20}$	4,450 $\times 10^{-26}$	1 $\times 10^{25}$	10⁻⁶ $\times 10^{19}$	1,783 $\times 10^{-36}$	1,074 $\times 10^{-9}$
1 mèga eletron-vôn	1,519 $\times 10^{-16}$	1,602 $\times 10^{-6}$	1,182 $\times 10^{-13}$	5,967 $\times 10^{-20}$	1,602 $\times 10^{-13}$	3,827 $\times 10^{-14}$	4,450 $\times 10^{-20}$	10⁻⁶ $\times 10^{25}$	1 $\times 10^{25}$	1,783 $\times 10^{-30}$	1,074 $\times 10^{-3}$
1 kilôgam	8,521 $\times 10^{13}$	8,987 $\times 10^{23}$	6,629 $\times 10^{16}$	3,348 $\times 10^{10}$	8,987 $\times 10^{16}$	2,146 $\times 10^{10}$	2,497 $\times 10^{10}$	5,610 $\times 10^{10}$	5,610 $\times 10^{35}$	1 $\times 10^{29}$	6,002 $\times 10^{26}$
1 đơn vị khối lượng nguyên tử hợp nhất	1,415 $\times 10^{-13}$	1,492 $\times 10^{-3}$	1,101 $\times 10^{-10}$	5,559 $\times 10^{-17}$	1,492 $\times 10^{-10}$	3,564 $\times 10^{-11}$	4,146 $\times 10^{-17}$	9,320 $\times 10^8$	9,320 $\times 10^{-27}$	1,661 $\times 10^{27}$	1

CÔNG SUẤT

	<i>Btu/h</i>	<i>ft.lb/s</i>	<i>hp</i>	<i>calls</i>	<i>kW_i</i>	<i>OAT</i>
đơn vị nhiệt của Anh trên giờ	= 1	0,2161	$3,929 \times 10^{-4}$	$6,998 \times 10^{-2}$	$2,930 \times 10^{-4}$	0,2930
1 calo pao trên giây	= 4,628	1	$1,818 \times 10^{-3}$	0,3239	$1,356 \times 10^{-3}$	1,356
1 mã lực	= 2545	550	1	178,1	0,7457	745,7

1 calo trên giây	= 14,29	3,088	$5,615 \times 10^{-3}$	1	$4,186 \times 10^{-3}$	4,816
1 kilôoát	= 3413	737,6	$1,341 \times 10^{-3}$	238,9	1	1000
1 OAT	= 3,413	0,7376	$1,341 \times 10^{-3}$	0,2389	0,001	1

TỪ THÔNG

	<i>macxoen</i>	<i>VÊBE</i>
1 macxoen	= 1	10^{-8}
1 VÊBE	$= 10^8$	1

TỪ TRƯỞNG

	<i>gaoxđ</i>	<i>TESLA</i>	<i>miligaoxđ</i>
1 gaoxđ	= 1	10^{-4}	1000
1 TESLA	$= 10^4$	1	10^7
1 miligaoxđ	$= 0,001$	10^{-7}	1

1 tesla = 1 vêbe/m²

PHỤ LỤC G

CÔNG THỨC TOÁN

HÌNH HỌC

Đường tròn bán kính r : chu vi $2\pi r$; Diện tích πr^2 . Hình cầu bán kính r : diện tích = $4\pi r^2$, thể tích = $\frac{4}{3}\pi r^3$. Hình trụ tròn xoay, thăng đứng bán kính r và chiều cao h : diện tích = $2\pi r^2 + 2\pi rh$; thể tích = $\pi r^2 h$.

Tam giác đáy a và chiều cao h : diện tích = $\frac{1}{2} ah$.

NGHIỆM CỦA PHƯƠNG TRÌNH BẬC HAI

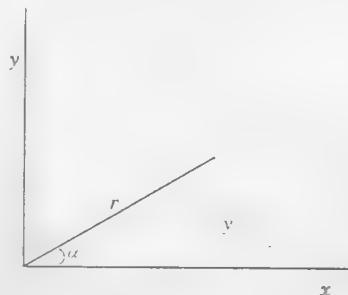
$$\text{Nếu } ax^2 + bx + c = 0 \text{ thì } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

HÀM LƯỢNG GIÁC CỦA GÓC θ

$$\sin \theta = \frac{y}{r}; \cos \theta = \frac{x}{r};$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}; \cot \theta = \frac{x}{y};$$

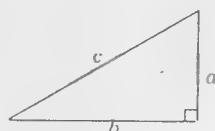
$$\sec \theta = \frac{r}{x}; \csc \theta = \frac{r}{y};$$



ĐỊNH LÍ PITAGO

Trong tam giác vuông

$$a^2 + b^2 = c^2.$$

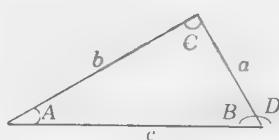


TAM GIÁC

Các góc là A, B, C .

Các cạnh đối là a, b, c .

Các góc $A + B + C = 180^\circ$



$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos C;$$

góc ngoài D = A + C.

DẤU VÀ KÍ HIỆU TOÁN HỌC

\equiv bằng

\approx xấp xỉ bằng

\sim độ lớn cùng bậc

\neq khác với

\equiv tương đương với, đồng nhất với

$>$ lớn hơn ($>>$ lớn hơn nhiều)

$<$ nhỏ hơn ($<<$ nhỏ hơn nhiều)

\geq lớn hơn hoặc bằng (hoặc không bé hơn)

\leq bé hơn hoặc bằng (hoặc không lớn hơn)

\pm cộng hoặc trừ

\propto tỷ lệ với

Σ tổng của

\bar{x} : giá trị trung bình của x

ĐỒNG NHẤT THỨC LƯỢNG GIÁC

$$\sin(90^\circ - \theta) = \cos\theta$$

$$\cos(90^\circ - \theta) = \sin\theta$$

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \tan\theta$$

$$\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$$

$$\sec^2\theta - \tan^2\theta = 1$$

$$\csc^2\theta - \cot^2\theta = 1$$

$$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$$

$$\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta = 2\cos^2\theta - 1 = 1 - 2\sin^2\theta$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha \cos\beta \pm \cos\alpha \sin\beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cos\beta \mp \sin\alpha \sin\beta$$

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$$

$$\sin\alpha \pm \sin\beta = 2\sin\frac{1}{2}(\alpha \pm \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$$

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\cos\alpha - \cos\beta = -2\sin\frac{1}{2}(\alpha + \beta)\sin\frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

ĐỊNH LÝ NHỊ THỨC

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots (x^2 < 1)$$

$$(1 \pm x)^{-n} = 1 \mp \frac{nx}{1!} + \frac{n(n+1)x^2}{2!} + \dots (x^2 < 1)$$

KHAI TRIỂN HÀM MŨ

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

KHAI TRIỂN HÀM LOGARIT

$$\ln(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \dots (|x| < 1)$$

KHAI TRIỂN LUỢNG GIÁC (θ bằng radian)

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \dots$$

$$\cos\theta = \theta - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \dots$$

$$\tan\theta = \theta + \frac{\theta^3}{3} + \frac{2\theta^5}{15} + \dots$$

TÍCH CÁC VÉCTƠ

i, j và k là véctơ đơn vị theo các phương x, y và z thì

$$i.i = j.j = k.k = 1 \quad i.j = j.k = k.i = 0,$$

$$i \times i = j \times j = k \times k = 0.$$

$$i \times j = k; \quad j \times k = i; \quad k \times i = j.$$

Bất kỳ véctơ a nào với các thành phần a_x, a_y, a_z theo các trục x, y, z có thể viết

$$a = a_x i + a_y j + a_z k.$$

Cho a, b, c ba véctơ bất kỳ có độ lớn a, b, c thì

$$a \times (b + c) = (a \times b) + (a \times c)$$

$$(s a) \times b = a \times (s b) = s(a \times b), \quad s = \text{một vô hướng.}$$

Cho θ là góc bé hơn trong hai góc giữa a và b thì

$$a.b = b.a = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = abc \cos\theta$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - b_y a_z) \mathbf{i} + (a_z b_x - b_z a_x) \mathbf{j} + (a_x b_y - b_x a_y) \mathbf{k}$$

$$|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \theta$$

$$\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = \mathbf{b} \cdot (\mathbf{c} \times \mathbf{a}) = \mathbf{c} \cdot (\mathbf{a} \times \mathbf{b})$$

$$\mathbf{a} \times (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}) \mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \mathbf{c}$$

ĐẠO HÀM VÀ TÍCH PHÂN

Sau đây các chữ u và v là các hàm của x và a và m là các hằng số. Với mỗi tích phân không xác định cần cộng vào một hằng số bất kỳ. Sách Tóm tắt Hóa học và Vật lý (liên hiệp các xí nghiệp IN CRC) sẽ cho một bảng đầy đủ hơn.

$$1. \frac{dx}{dx} = 1$$

$$1. \int dx = x$$

$$2. \frac{d}{dx}(au) = a \frac{du}{dx}$$

$$2. \int a u dx = a \int u dx$$

$$3. \frac{d}{dx}(u + v) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx}$$

$$3. \int (u + v) dx = \int u dx + \int v dx$$

$$4. \frac{d}{dx} x^m = nx^{m-1}$$

$$4. \int x^m dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} \quad (m \neq -1)$$

$$5. \frac{d}{dx} \ln x = \frac{1}{x}$$

$$5. \int \frac{dx}{x} = \ln |x|$$

$$6. \frac{d}{dx}(uv) = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}$$

$$6. \int u \frac{dv}{dx} dx = uv - \int v \frac{du}{dx} dx$$

$$7. \frac{d}{dx} e^x = e^x$$

$$7. \int e^x dx = e^x$$

$$8. \frac{d}{dx} \sin x = \cos x$$

$$8. \int \sin x dx = -\cos x$$

$$9. \frac{d}{dx} \cos x = -\sin x$$

$$8. \int \cos x dx = \sin x$$

$$10. \frac{d}{dx} \tan x = \sec^2 x$$

$$10. \int \tan x dx = \ln |\sec x|$$

$$11. \frac{d}{dx} \cot x = -\csc^2 x$$

$$11. \int \sin^2 x dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4}\sin 2x$$

$$12. \frac{d}{dx} \sec x = \tan x \sec x$$

$$12. \int e^{-ax} dx = -\frac{1}{a} e^{-ax}$$

$$13. \frac{d}{dx} \csc x = -\cot x \csc x$$

$$13. \int x e^{-ax} dx = -\frac{1}{a^2} (ax + 1) e^{-ax}$$

$$14. \frac{d}{dx} e^u = e^u \frac{du}{dx}$$

$$14. \int x^2 e^{-ax} dx = -\frac{1}{a^3} (a^2 x^2 + 2ax + 2) e^{-ax}$$

$$15. \frac{d}{dx} \sin u = \cos u \frac{du}{dx}$$

$$15. \int_0^\infty x^n e^{-ax} dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$$

$$16. \frac{d}{dx} \cos u = -\sin u \frac{du}{dx}$$

$$16. \int_0^{\infty} x^{2n} e^{-ax^2} dx = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-1)}{2^{n+1} a^n} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$$

$$17. \int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2})$$

ĐÁP SỐ CỦA CÁC BÀI TẬP VÀ BÀI TOÁN SỐ LỀ

Chương 19

1. 2,71K 3.31,5 5.291, 1K 7.348K
 9. 7 celisius 11. Không; 310K = 98,6°F
 13. a) 10,000°F b) 37,0°C c) - 57 °C
 d) - 297°F e) 25°C = 77°F chặng hạn.
 15. - 91,9°X 17. a) Kích thước là thời gian nghịch đảo
 21. 1,1 cm 23. 2,731cm 25. a) 13.10-6°F
 b) 0,17in 27. 23.10-6°C 29. 0,32cm²
 31. 29cm³ 33. 0,432cm³ 35. -157°C
 43. 9,1s. đồng hồ chạy chậm 45. a) + 9,0.10⁻⁶
 b) -1,3.10⁻⁵ 47. 7,5cm 49. Tăng lên 0,1mm
 51. 2,64.10⁸Pa 53. b) $E_1 E_2 (\alpha_1 + \alpha_2) \Delta T / (E_1 + E_2)$

Chương 20

1. 333J 3. 35,7m³ 5. $5,6,7 \times 10^{12}$ J 7. 42,7kJ
 9. 250g 11. 220m/s 13. 1,17°C 15. 160s
 17. a) 20.300cal b) 1110 cal c) 873°C
 19. 45,4°C 21.a) 18.700 b) 10,4h 23,28 ngày
 25. 82 cal 27. 13,5°C 29. a) 5,3°C không còn dư nước đá.
 b) 0°C, 60 gam nước đá còn lại. 31. 8,72g.
 33. b) $C \sim T^{-2/3}$; 35. A: 120J; B: 75J; C: 30J;
 37. a)- 200J; b)- 293J; c)-93J; 39.-5,0J;
 41. 33,3kJ.
 43. a) 0,36mg/s; b) 0,81J/s; c) -0,69J/s;
 45. a) 1,2 W/m.K; 0,70 Btu/ft.OF.h; b) 0,030 ft²°Fh/Btu.

47. 1660 J/s

51. Xấp xỉ theo (b).

53. a) 2,0.MW b) 220W

55. 2,0.107J.

57. 0,40 cm/h.

59. Cu-Al 84,3°C

Al - đồng thau 57,6°C.

Chương 21

1. a) $0,0127$ b) $7,65 \cdot 10^{21}$ 3. 6560

5. Số phân tử trong mực $\approx 3 \cdot 10^{16}$. Số dân $\approx 5 \cdot 10^{20}$. Lời phát biểu sai với thừa số khoảng 20.000.

7. a) $5,47 \cdot 10^{-8}$ mol.

b) $3,29 \cdot 10^{16}$. 9. a) 106. b) $0,892 \text{m}^3$

11. $27,0 \text{ l}/\text{in}^2$; 13. a) $2,5 \times 10^{25}$ b) 1,2kg

15. 5700N.m; 17. 1/5; 19. 100cm^3 21. 198°F

23. $2 \cdot 10^5 \text{Pa}$ 25. 180m/s 27. $9,53 \cdot 10^6 \text{m/s}$

29. 307°C 31. $1,9 \cdot 104 \text{ dyn/cm}^2$

33. a) 0,0353 eV; 0,0483 eV b) 3400J; 4650J

35. $9,1 \cdot 10^{-6}$ 37. a) $6,75 \cdot 10^{-20} \text{J}$ b) 10,7

39. 0,32 nm 41. 15cm 43. a) $3,26 \cdot 10^{10}$

b) 173m 45. a) 22,5L b) 2,25. c) $8,4 \cdot 10^{-5} \text{cm}$

d) Giống như câu c. 49. a) 3,2m/s; b) 3,4cm/s. c) 4,0cm/s

51. a) \bar{v} , v_{rms} , v_p b) v_p , \bar{v} , v_{rms}

53. a) $1,0 \cdot 10^4 \text{ K}$; 1,6. 10^5K b) 440K; 7000K.

55. 4,7 57. $2N/3v_o$ b) N/3 c) $122v_o$.

d) $1,31v_o$ 59. $RT \ln(\frac{v_f}{v_i})$ 61. a) 15,9J b) 34,4J/mol.K c) 26,1 J/mol.K

63. $(n_1 C_1 + n_2 C_2 + n_3 C_3)/(n_1 + n_2 + n_3)$

65. Đẳng tích 67. a) 0,375 mol. b) 1090 J

c) 0,714. 69. Lưỡng nguyên tử 71 a). 2,5 atm.340K

b) 0,40L 73. $1500 \text{ N.m}^{2,2}$ 75. 1,40

79. a) $p_o/3$ b) đa nguyên tử (lý tưởng). c) $K_f/K_i = 1,44$

81. Q, W và ΔE_{int} , tất cả đều lớn nhất a). bé nhất

với c)

83. a) Tính theo jun, theo thứ tự Q, ΔE_{int} , W

1 → 2; 3740; 3740, 0; 2-3: 0 - 1810 . 1810;

3 → 1: - 3220. - 1930. - 1290; Chu trình: 520, 0, 520

b) $V_2 = 0,0246m^3$; $p_2 = 2,00 \text{ atm}$; $V_3 = 0,373m^3$; $p_3 = 1,00 \text{ atm}$.

Chương 22

1 a) 31% b) 16kcal 3.25%

5. a) 7200J b) 960J c) 13%

7. a) 49kcal b) 31kJ 9. a) 0,071J b) 0,5J;

c) 2,0J d) 5,0J 11. 99,999947%

13. 75 17. a) 94J b) 230J

19. 13J 21. a) 1,11 kcal/s b) 0,995 kcal/s.

$$23. e = \frac{1}{K+1} \quad 27. \left[1 - \frac{T_2}{T_1} \right] \left/ \left[1 - \frac{T_4}{T_3} \right] \right.$$

29. a) 78% b) 81kg/s 31. 0,139

33. a) + 0,602 cal/K b) - 0,602 cal/K.

35. 4450 cal 41. a) 1,95 J/K b) 0,650 J/K

c) 0,217 J/K d) 0,072J/K 43. a) 57°C

b) ~ 5,27cal/K c) + 5,95 cal/K d) +0,68/K

45. + 0,15 cal/K 47. a) 320K b) số không

c) + 0,41 cal/K 49. a) $p_1/3; p_1/3^{1.4}; T_1/3^{0.4}$

b) Theo thứ tự W, Q, ΔE_{int} ; ΔS : 1 → 2: 1,10RT₁ 1,10 RT₁, 0, 1,10R;

2 → 3 : 0, - 889RT₁; - 889RT₁; - 1,10R; 3 → 1: - 0,889RT₁; 0; 0,880 RT₁; 0;

51. a) = 225 cal/K, b) + 225 cal/K

53. a) 3 p_oV b) $6RT_o = \frac{3}{2} R \ln 2$. c) cả hai đều bằng không.

MỤC LỤC

CƠ SỞ VẬT LÝ - TẬP 3 - NHIỆT HỌC

	Trang
Chương 19. NHIỆT ĐỘ	3
19.1 Nhiệt động lực học: Một môn học mới	4
19.2 Nhiệt độ	4
19.3. Định luật thứ không của nhiệt động lực học	5
19.4. Đo nhiệt độ	7
19.5. Nhiệt giao quốc tế	10
19.6. Nhiệt giao Celci và Fahrenheit	11
19.7 Sự nở vì nhiệt	13
Ôn tập và tóm tắt	18
Câu hỏi	19
Bài tập và bài toán	21
Chương 20. NHIỆT VÀ ĐỊNH LUẬT THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	29
20.1. Nhiệt lượng	30
20.2. Đo nhiệt lượng, các đơn vị	31
20.3 Sự hấp thụ nhiệt của chất rắn và chất lỏng . Nhiệt dung	32
20.4. Đi sâu thêm một chút về nhiệt lượng và công	38
20.5 Định luật thứ nhất của nhiệt động lực học	41
20.6. Một vài trường hợp đặc biệt của định luật thứ nhất của nhiệt động lực học.	42
20.7 Sự chuyển nhiệt lượng	45
Ôn tập và tóm tắt	52
Câu hỏi	54
Bài tập và bài toán	56
Tiểu luận 6. Sự sôi và hiệu ứng Lenidenfrost	66
Chương 21. THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ	72
21.1. Một cách mới để xem chất khí	73
21.2. Số Avôgadrô	73
21.3. Chất khí lý tưởng	75
21.4. áp suất và nhiệt độ theo quan điểm phân tử	78
21.5. Độ năng chuyển động tịnh tiến	81
21.6. Quãng đường tự do trung bình.	83
21.7. Sự phân bố tốc độ phân tử (tự chọn)	86

21.8. Nhiệt dung riêng phân tử gam khí lý tưởng	90
21.9. Sự phân bố đều của năng lượng	95
21.10. Một chút về thuyết lượng tử	97
21.11. Sự giãn đoạn nhiệt của khí lý tưởng	98
Ôn tập và tóm tắt	102
Câu hỏi	104
Bài tập và bài toán	107
Tiểu luận 7. Phải chăng sự tạo thành lớp CO ₂ làm ám khí hậu của chúng ta.	119
Chương 22. ENTROPI VÀ ĐỊNH LUẬT THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	125
22.1. Một sự việc chẳng bao giờ xảy ra	126
22.2. Động cơ	126
22.3. Máy lạnh	134
22.4. Định luật thứ hai của nhiệt động lực học	135
22.5. Một động cơ lý tưởng	136
22.6. Chu trình Carnot	137
22.7 Hiệu suất của động cơ thực	140
22.8. Entropi - một biến số mới	143
22.9. Độ biến thiên của entropi với những quá trình bất thuận nghịch.	148
22.10. Entropi và định luật thứ hai của nhiệt động lực học	152
22.11. Tóm lại entropi là gì?	154
22.12. Bản chất các định luật vật lí: một đề tài riêng.	157
Ôn tập và tóm tắt	158
Câu hỏi	160
Bài tập và bài toán	163
Các phụ lục	171
Đáp số của các bài toán số lẻ	189
Mục lục	192

Chịu trách nhiệm xuất bản

Giám đốc PHẠM VĂN AN

Tổng biên tập NGUYỄN NHƯ Ý

Chủ biên: NGÔ QUỐC QUÝNH - HOÀNG HỮU THƯ

Dịch: NGUYỄN VIẾT KÍNH

Biên tập nội dung:

PHẠM QUANG TRỰC

Trình bày bìa:

DOÀN HỒNG

Sửa bản in:

PHẠM QUANG TRỰC

Sắp chữ Trung tâm Tin học ELICOM

CƠ SỞ VẬT LÝ - TẬP 3

In 4.000 cuốn, khổ 19 x 27 cm tại XN in Hà Tây.

Số in.....; Số XB: 141/349-98

In xong và nộp lưu chiểu tháng 11 năm 1998