

DAVID HALLIDAY - ROBERT RESNICK - JEARL WALKER

CƠ SỞ VẬT LÍ

TẬP BA - NHIỆT HỌC

Chủ biên : NGÔ QUỐC QUÝNH

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

FOURTH EDITION

FUNDAMENTALS OF PHYSICS

DAVID HALLIDAY

University of Pittsburgh

ROBERT RESNICK

Rensselaer Polytechnic Institute

JEARL WALKER

Cleveland State University

JOHN WILEY & SONS, INC.

New York Chichester

Brisbane Toronto Singapore

NHIỆT ĐỘ | 19



Trong ảnh là một người đang câu cá qua một lỗ đào trên băng ở 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 nào của nước cho phép có sự sống dưới nước trong các vùng lạnh giá.

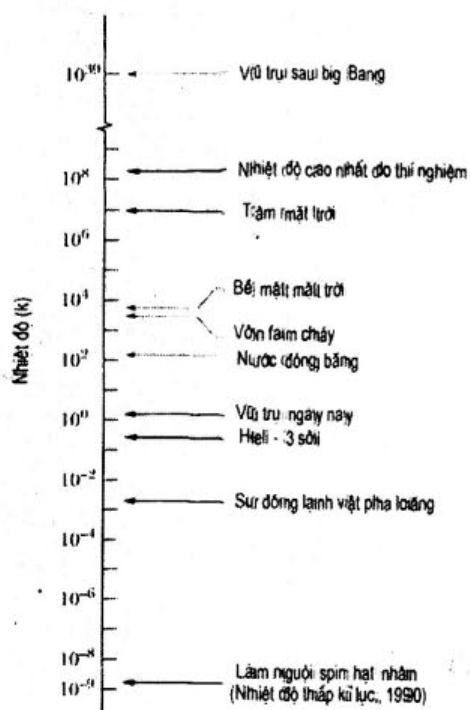
19.1. NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC : MỘT MÔN HỌC MỚI

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 Galilè và định luật thứ hai của Newton và một vài từ nhiệt động lực học như nhiệt độ, nhiệt lượng, nội năng, entropi, 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 hiện 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 tỉ 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 3K. 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 3K (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 : $0,999\,999\,999\,9\,c$

Nhiệt độ thấp nhất : $0,000\,000\,002\,2\,K$.

Bạn có thể nghĩ rằng trong mỗi trường hợp như thế, chắc chắn là đã đạt tới sát đích. Tuy nhiên, các hiện tượng mới lại cho phép ta tiến gần hơn đến cái đích không thể đạt tới ấy. Hóa 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 hơn nữa (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 THỨ 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.

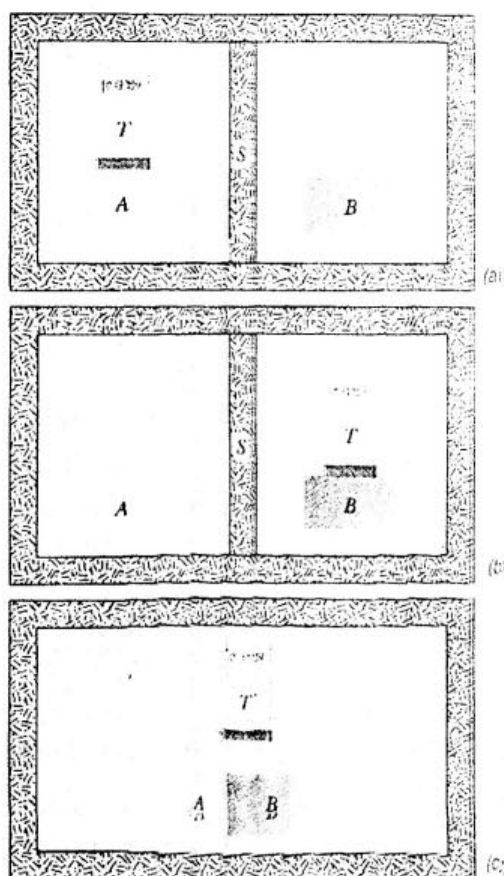
Hình 19.2 trình bày một dụng cụ như vậy. Bất kì một kĩ sư khéo léo nào đó đều có thể thiết kế và chế tạo nó khi dùng một trong những chất nêu trên. Dụng cụ được trang bị phần chỉ thị số, có các tính chất sau : Nếu bạn đốt nó bằng một đèn Bunsen, thì số của phần tử chỉ thị tăng lên, còn nếu bạn đặt nó 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 gì 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 chỉ 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. Phân tử nhảy nhiệt có thể là một trong rất nhiều cách – một cuộn dây mà điện trở của nó được đo và nhiệt 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 cũng 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, là được gọi theo cách giải thích logic vì đến sau, mãi đến năm 1930 định luật 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 giai 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 giai là đặt 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 điểm ba, trong đó có thể thực hiện cái gọi là điểm ba trong phòng thí nghiệm.

Theo thoả thuận quốc tế (năm 1967) điểm ba của nước được gán giá trị $273,16\text{K}$ như là nhiệt độ chuẩn cố định trong việc chuẩn nhiệt kế, tức là :

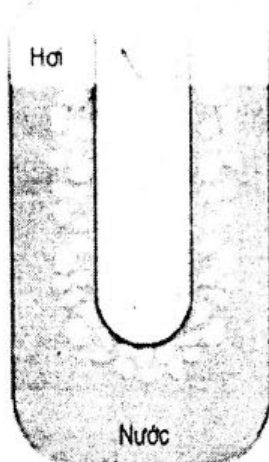
$$T_3 = 273,16\text{ K}$$

(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 $0,0035\text{K}$ là $3,5\text{mK}$. 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 $717,8\text{ K}$ " và "nhiệt độ của nước trong bồn tắm tăng lên $8,5\text{K}$ ".

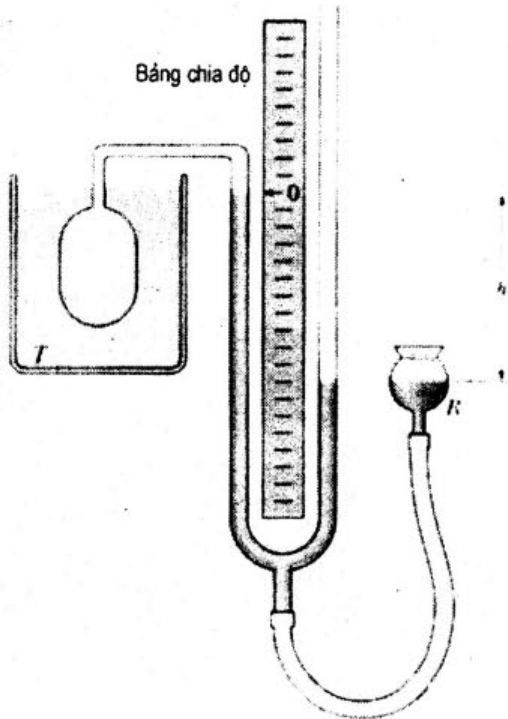
Bầu nhiệt
kế khí



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 thoả thuận quốc tế, nhiệt độ của hỗn hợp được định nghĩa là $273,16\text{K}$ – 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 lý đặc biệt của vật mà dựa vào đó, theo thoả 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 cần 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 áp kế khí quyển, 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) nối 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 :

$$T = C_p \quad (19-2)$$

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 thủy 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 :

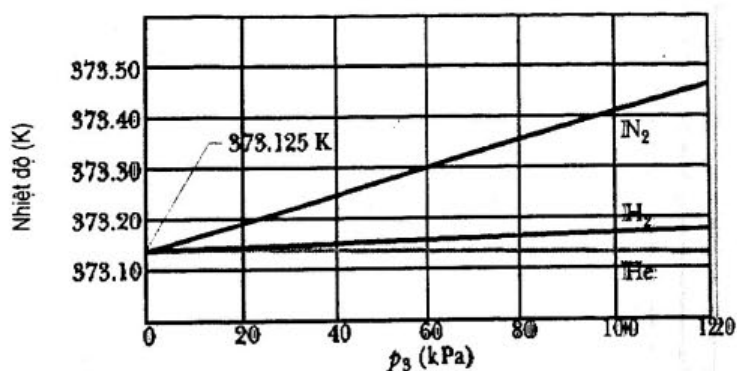
$$T_3 = C_{p_3} \quad (19-4)$$

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 đo bằng nhiệt kế khí. Chúng ta còn chưa nói chút nào về khí gì hoặc bao nhiêu khí mà chúng ta sử dụng trong

nhệt kế. Nếu nhệt kế của ta dùng để đo nhệt độ mà đo như điểm sôi của nước chẳng hạn, ta sẽ thấy sự lựa chọn khác nhau sẽ dẫn đến các nhệt độ đo được sai khác nhau chút ít. Tuy nhiên, nếu chúng ta dùng lượng khí trong bầu giảm dần thì rất may, các số đọc sẽ hội tụ tới một nhệt độ duy nhất, dù ta dùng bất kì loại khí gì. Hình 19.6 trình bày sự hội tụ này^(*)



HÌNH 19-6. Các nhệt độ tính từ phương trình 19-5 cho nhệt kế khí thể tích không đổi khi bầu của nó được nhúng vào hơi 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 nhệt độ là 373,125K.

Vì vậy, biểu thức cuối cùng của nhệt độ, đo bằng nhệt kế khí là :

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

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 nhệt độ cân 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 nhệt độ bằng cách thay giá trị ngoại suy trên vào phương trình 19-6. Nhệt độ được xác định như vậy gọi là *nhệt độ của khí lí tưởng*.

Nếu nhệt độ thực sự là một đại lượng vật lí cơ bản mà qua đó người ta có thể biểu thị các định luật của nhệt 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 nhệt độ mà phụ thuộc vào sự giãn nở như thủy 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 nhệt 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 dùng 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 : $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ to} = 14,7 \text{ Lb/in}^2$.