

Chương 20: Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

Nhiệt động lực học và cơ học đã được xem là hai ngành riêng biệt của vật lý. Cho đến khoảng năm 1850, các thí nghiệm của James Joule và những người khác đã cho thấy sự liên kết giữa chúng. Mọi liên kết đã được tìm thấy giữa việc trao đổi năng lượng bởi nhiệt trong các quá trình nhiệt và sự trao đổi năng lượng bởi công trong các quá trình cơ học.

Khái niệm về năng lượng đã được khái quát hóa để bao gồm cả nội năng.

Các nguyên lý bảo toàn năng lượng nổi lên như là một quy luật phổ quát của tự nhiên.

20.1 Nhiệt lượng và nội năng

Trong phần này sẽ thảo luận về nội năng, nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học, và các ứng dụng của nguyên lý này.

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học mô tả các hệ mà trong đó sự thay đổi năng lượng duy nhất là nội năng. Sự trao đổi năng lượng thực hiện bởi nhiệt và công.

Ta sẽ xem xét công thực hiện bởi các hệ có thể biến dạng.

Nội năng E_{int}

Nội năng là tổng năng lượng của một hệ có được từ các thành phần vi mô của nó.

- Các thành phần vi mô này là các nguyên tử và phân tử.
- Hệ được quan sát từ một hệ quy chiếu đứng yên đối gắn với khối tâm của hệ.

Nhiệt lượng Q

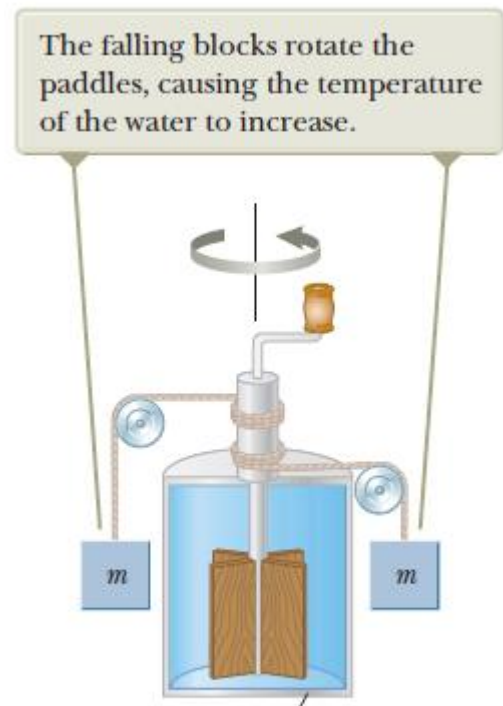
Nhiệt lượng được định nghĩa là năng lượng chuyển đổi qua ranh giới của một hệ do sự khác biệt nhiệt độ giữa hệ và môi trường xung quanh, được viết tắt là nhiệt.

Đơn vị năng lượng

Trong lịch sử, calo (cal) là đơn vị được sử dụng cho năng lượng.

Một calo là lượng năng lượng trao đổi cần thiết để làm tăng nhiệt độ của 1g nước từ 14.5°C đến 15.5°C.

1 kilocalo = 1000 calo.



Hình 20.1: Thí nghiệm của Joule để xác định mối tương đương giữa cơ và nhiệt.

Theo hệ thống đo lường của Mỹ, đơn vị là một BTU (British Thermal Unit).

Một BTU là lượng năng lượng trao đổi cần thiết để làm tăng nhiệt độ 1 lb của nước từ 63°F đến 64°F.

Ngoài ra, đơn vị của năng lượng theo hệ SI là Joules (J)

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J} \quad (20.1)$$

20.2 Nhiệt dung riêng và phép đo nhiệt lượng

Nhiệt dung C

Nhiệt dung, C , của một vật cụ thể được định nghĩa là lượng năng lượng cần thiết để làm tăng nhiệt độ của vật thêm 1°C.

Nếu năng lượng Q tạo ra sự thay đổi nhiệt độ là ΔT , thì

$$Q \equiv C \Delta T \quad (20.2)$$

Nhiệt dung riêng c

Nhiệt dung riêng, c , là nhiệt dung của mỗi khối lượng đơn vị.

Nếu trao đổi một lượng năng lượng Q để làm một vật có khối lượng m và thay đổi nhiệt độ ΔT , thì nhiệt dung riêng là:

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T} \quad (20.3)$$

Nhiệt dung riêng của chất càng lớn, năng lượng phải thêm vào một khối lượng đã cho để tạo nên một sự thay đổi nhiệt độ cụ thể càng lớn.

Phương trình thường được viết theo thuật ngữ Q :

$$Q = mc\Delta T \quad (20.4)$$

Sự thay đổi của nhiệt dung riêng theo nhiệt độ

Về mặt kỹ thuật, nhiệt dung riêng thay đổi theo nhiệt độ. Phương trình vi phân là

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c dT$$

Tuy nhiên, nếu các khoảng biến đổi nhiệt độ không quá lớn, sự thay đổi này có thể bỏ qua và c có thể được coi như một hằng số.

Nhiệt dung riêng của nước

Nước có nhiệt dung riêng cao nhất so với vật liệu thông thường.

Phép đo nhiệt lượng

Muốn đo nhiệt dung riêng của một vật, ta nung nóng vật đó đến nhiệt độ T_x , sau đó nhúng nó vào nước (khối lượng đã biết) có nhiệt độ $T_w < T_x$, rồi ghi lại nhiệt độ của nước sau khi

chúng cân bằng nhau. Phép đo này được gọi là phép đo nhiệt lượng. Thiết bị đo gọi là nhiệt lượng kế.

Hình 20.2 mô tả vật nóng trong nước lạnh và nhiệt lượng truyền từ nhiệt độ cao đến nhiệt độ thấp. Nếu hệ vật và nước bị cô lập, sự bảo toàn năng lượng đòi hỏi nhiệt lượng thoát ra khỏi vật Q_{hot} bằng với nhiệt lượng đi vào nước Q_{cold} . Biểu thức bảo toàn năng lượng:

$$Q_{cold} = -Q_{hot} \quad (20.5)$$

Xét một mẫu vật ta đang muốn xác định nhiệt độ. Giả sử m_x là khối lượng của nó, c_x là nhiệt dung riêng và T_x là nhiệt độ ban đầu. Tương tự, ta có các đại lượng m_w , c_w và T_w đại diện cho các giá trị tương ứng cho nước. Gọi T_f là nhiệt độ cuối cùng sau khi hệ (gồm nước và mẫu vật) đạt trạng thái cân bằng. Phương trình (20.4) cho thấy rằng nhiệt lượng truyền cho nước là $Q_w = m_w c_w (T_f - T_w) > 0$ vì $T_f > T_w$

Nhiệt lượng truyền cho mẫu vật là $Q_x = m_x c_x (T_f - T_x) < 0$

Từ phương trình (20.5), ta có phương trình

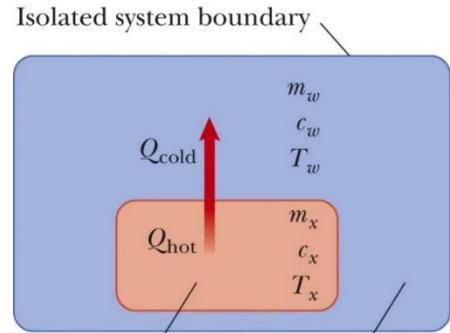
$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x) = m_x c_x (T_x - T_f)$$

- Phương trình này giúp xác định nhiệt dung riêng chưa biết.
- Về mặt kỹ thuật, cần xác định khối lượng của bình chứa, nhưng nếu $m_w \gg m_{bình\ chứa}$, nó có thể được bỏ qua.

Bảng 20.1: Một số giá trị nhiệt dung riêng

TABLE 20.1 Specific Heats of Some Substances at 25°C and Atmospheric Pressure			
Substance	Specific Heat (J/kg · °C)	Substance	Specific Heat (J/kg · °C)
<i>Elemental solids</i>		<i>Other solids</i>	
Aluminum	900	Brass	380
Beryllium	1 830	Glass	837
Cadmium	230	Ice (−5°C)	2 090
Copper	387	Marble	860
Germanium	322	Wood	1 700
Gold	129	<i>Liquids</i>	
Iron	448	Alcohol (ethyl)	2 400
Lead	128	Mercury	140
Silicon	703	Water (15°C)	4 186
Silver	234	<i>Gas</i>	
		Steam (100°C)	2 010

Note: To convert values to units of cal/g · °C, divide by 4 186.



Hình 20.2: Trong thí nghiệm, một vật nóng có nhiệt dung riêng chưa biết được đặt trong nước lạnh trong thùng chứa cô lập với môi trường.

Câu hỏi 20.1: Hãy tưởng tượng bạn có 1 kg sắt, thủy tinh và nước, và tất cả đều ở nhiệt độ 10°C. (a) Sau khi thêm năng lượng 100J vào mỗi vật, sắp xếp các vật theo thứ tự nhiệt độ từ cao đến thấp. (b) sắp xếp các vật theo thứ tự nhiệt lượng nhận được từ nhiều đến ít nếu nhiệt độ các vật được tăng thêm 20°C.

Bài tập mẫu 20.1:

Một thỏi kim loại nặng 0,05kg được nung nóng đến 200°C và sau đó thả vào trong một nhiệt lượng kế chứa 0,4 kg nước ở 20,0°C. Nhiệt độ cân bằng của hệ là 22,4°C. Tìm nhiệt dung riêng của kim loại.

Giải:

Khái niệm hóa. Hình dung quá trình diễn ra trong một hệ cách nhiệt (hình 20.2). Năng lượng rời khỏi thỏi kim loại nóng và đi vào trong nước lạnh. Thỏi kim loại bị lạnh đi và nước ấm lên. Khi cả hai có cùng nhiệt độ thì sự trao đổi năng lượng dừng lại

Phân loại. Sử dụng phương trình đã được thiết lập ở trên.

Kết quả là ta tìm được:

$$\begin{aligned}
 c_x &= \frac{m_w c_w (T_f - T_w)}{m_x (T_x - T_f)} \\
 &= \frac{(0.400\text{kg})(4186\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22.4^\circ\text{C} - 20.0^\circ\text{C})}{(0.0500\text{kg})(200.0^\circ\text{C} - 22.4^\circ\text{C})} \\
 &= 453\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

20.3 Nhiệt chuyển pha

Trong một số trường hợp, mặc dù có sự trao đổi năng lượng giữa khối chất và môi trường nhưng nhiệt độ khối chất không thay đổi. Đó là khi xảy ra sự chuyển pha. Pha là một tập hợp các phần đồng tính, có tính chất như nhau của một hệ thống. Chẳng hạn nước có thể tồn tại ở pha rắn, lỏng hoặc khí. Những hình thức kết tinh khác nhau của một chất cũng là những pha khác nhau của chất đó. Sự chuyển từ pha này sang pha khác của một hệ gọi là sự chuyển pha. Nước khi hạ nhiệt độ đến 0°C thì chuyển từ pha lỏng sang pha rắn là một ví dụ cho sự chuyển pha.

Các chất khác nhau phản ứng khác nhau đối với năng lượng truyền vào hoặc lấy đi trong quá trình chuyển pha do chúng có các sắp xếp phân tử bên trong khác nhau. Lượng năng lượng này cũng phụ thuộc vào khối lượng của chất. Khi nói đến hai pha của một chất, chúng ta sử dụng thuật ngữ *chất ở pha cao hơn* để chỉ chất ở nhiệt độ cao hơn. Ví dụ khi nói về hai pha của nước là nước lỏng và nước đá thì nước lỏng là chất ở pha cao hơn.

Xét một hệ gồm hai pha của một chất đang ở trạng thái cân bằng. Gọi khối lượng ban đầu của chất ở pha cao hơn là *m_i*. Sau khi nhận năng lượng Q khối lượng cuối cùng của chất ở pha cao hơn là *m_f*. Nhiệt chuyển pha L được định nghĩa là:

$$L \equiv \frac{Q}{\Delta m} \tag{20.6}$$

trong đó $\Delta m = m_f - m_i$ là độ biến thiên khối lượng của chất ở pha cao hơn. Giá trị của L phụ thuộc vào loại chuyển pha và các tính chất của chất chuyển pha.

Trong một quá trình chuyển pha, không có sự thay đổi về nhiệt độ của các chất. Nhiệt chuyển pha khi có sự chuyển pha từ rắn sang lỏng gọi là nhiệt nóng chảy. Nhiệt chuyển pha khi có sự chuyển pha từ lỏng sang khí gọi là nhiệt hóa hơi.

Nếu toàn bộ lượng vật chất ở pha thấp trải qua một sự chuyển pha, thì sự thay đổi khối lượng của vật chất ở pha cao bằng khối lượng ban đầu của vật liệu ở pha thấp. Ta cũng có thể viết lại phương trình

$$Q = L\Delta m \tag{20.7}$$

Nếu năng lượng đi vào hệ:

- Sẽ dẫn đến sự nóng chảy hoặc hóa hơi
- Lượng vật chất ở pha cao sẽ tăng
- Δm và Q mang dấu dương

Nếu năng lượng được rút ra khỏi hệ:

- Sẽ dẫn đến kết tinh hoặc hóa lỏng (ngưng tụ)
- Lượng vật chất ở pha cao sẽ giảm
- Δm và Q mang dấu âm

Bảng 20.2: Một số giá trị của của hệ số nhiệt chuyển pha

TABLE 20.2 Latent Heats of Fusion and Vaporization

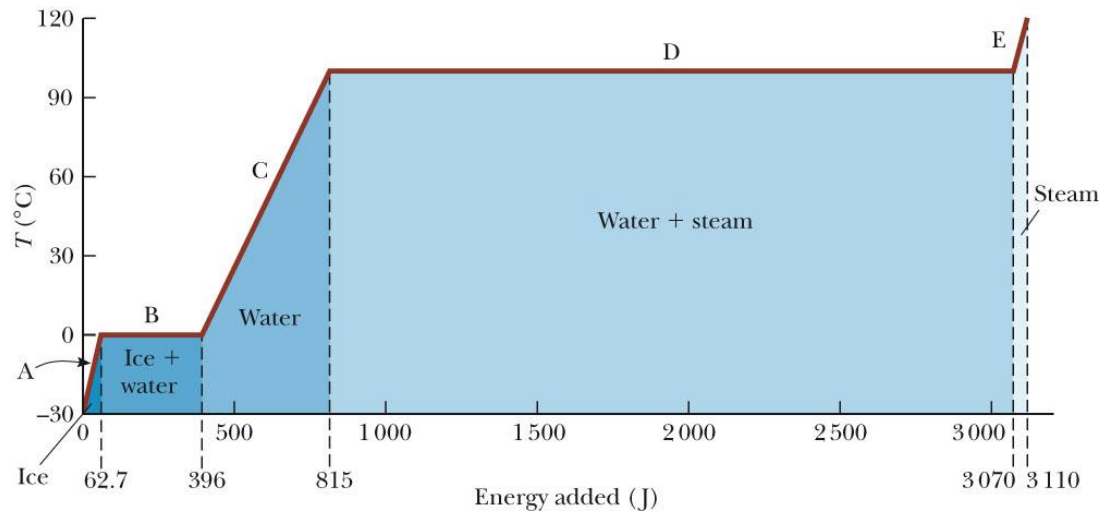
Substance	Melting Point (°C)	Latent Heat of Fusion (J/kg)	Boiling Point (°C)	Latent Heat of Vaporization (J/kg)
Helium	-269.65	5.23×10^3	-268.93	2.09×10^4
Oxygen	-218.79	1.38×10^4	-182.97	2.13×10^5
Nitrogen	-209.97	2.55×10^4	-195.81	2.01×10^5
Ethyl alcohol	-114	1.04×10^5	78	8.54×10^5
Water	0.00	3.33×10^5	100.00	2.26×10^6
Sulfur	119	3.81×10^4	444.60	3.26×10^5
Lead	327.3	2.45×10^4	1 750	8.70×10^5
Aluminum	660	3.97×10^5	2 450	1.14×10^7
Silver	960.80	8.82×10^4	2 193	2.33×10^6
Gold	1 063.00	6.44×10^4	2 660	1.58×10^6
Copper	1 083	1.34×10^5	1 187	5.06×10^6

Bài tập mẫu 20.2:

Tính tổng năng lượng cần cung cấp để chuyển toàn bộ 1 g nước đá ở -30°C thành hơi nước ở 120°C .

Giải:

Hình 20.3 mô tả quá trình chuyển hóa của nước từ dạng đặc sang dạng hơi.



Hình 20.3: Đồ thị từ nước đá sang hơi nước

Đồ thị có các phần sau

Phần A: Nước đá tăng nhiệt độ

Bắt đầu từ 1 gram nước đá ở -30°C , trong giai đoạn A, nhiệt độ của nước đá thay đổi từ -30°C đến 0°C , dựa vào bảng 20.1, ta có phương trình $Q = m_i c_i \Delta T = (1 \times 10^{-3})(2090)(30) = 62,7\text{J}$

Trong trường hợp này, hệ thu năng lượng là 62,7 J.

Phần B: băng tan

Năng lượng chuyển hóa 1g nước đá sang dạng nước (chất lỏng), dựa vào bảng 20.2, sử dụng phương trình $Q = L_f \Delta m_w = L_f m_i = (1 \times 10^{-3})(3,33 \times 10^5) = 333\text{J}$

Năng lượng thu vào: 333 J

Phần C: nước tăng nhiệt độ

Giữa 0°C và 100°C , vật liệu là chất lỏng và không có sự thay đổi trạng thái. Nước vẫn giữ nguyên pha. Hệ thu năng lượng làm tăng nhiệt độ.

Ta có $Q = m_w c_w \Delta T = (1 \times 10^{-3})(4,19 \times 10^3)(100) = 419\text{J}$

Năng lượng thu vào: 419 J

Phần D: nước sôi

Tại 100°C , sự thay đổi trạng thái xảy ra (sôi). Nhiệt độ không thay đổi.

Sử dụng $Q = L_v \Delta m_s = (1 \times 10^{-3})(2,26 \times 10^6) = 2260\text{J}$

Năng lượng cần: 2260 J

Phần E: bay hơi

Sau khi toàn bộ nước được chuyển thành hơi nước, hơi nước sẽ nóng lên. Không xảy ra thay đổi trạng thái. Hệ thu năng lượng để tăng nhiệt độ.

Sử dụng $Q = m_s c_s \Delta T = (1 \times 10^{-3})(2,01 \times 10^3)(20) = 40,2\text{J}$

Khi nhiệt độ tăng từ 100°C đến 120°C , năng lượng cần: 40,2 J

Vậy tổng năng lượng 1gram nước đá thay đổi từ -30°C đến 120°C cần năng lượng tổng là 3110 J.

Sự chậm đông

Nếu nước ở dạng lỏng được giữ đứng yên trong một bình rất sạch thì có thể giảm nhiệt độ của nước xuống dưới 0°C mà không làm nó đóng băng. Hiện tượng này gọi là sự chậm đông.

Sự đóng băng chỉ xảy ra khi nước cần một sự nhiễu loạn theo cách nào đó để các phân tử tách nhau ra và tạo thành một cấu trúc băng rộng và mở để làm cho mật độ băng thấp hơn mật độ của nước. Nếu nước chậm đông bị nhiễu loạn, nó sẽ đóng băng ngay lập tức. Hệ rơi về cấu hình năng lượng thấp của các phân tử liên kết của cấu trúc băng và năng lượng tỏa ra nâng nhiệt độ trở về 0°C .

Sự quá nhiệt

Nước sạch có thể tăng nhiệt độ đến trên 100°C mà không sôi. Hiện tượng này được gọi là *sự quá nhiệt*.

Sự hình thành bong bóng hơi trong nước đòi hỏi tâm hóa hơi. Tâm hóa hơi này có thể là một vết xước trên bình chứa hoặc một tạp chất trong nước. Khi bị nhiễu loạn, nước quá nhiệt có thể phát nổ. Bong bóng nước hình thành ngay lập tức, nước nóng được đẩy lên trên và trào ra ngoài bình chứa.

Câu hỏi 20.2: Giả sử có một quá trình tương tự nhằm thêm năng lượng vào cục đá như trên, nhưng thay vào đó, ta sẽ vẽ đồ thị nội năng của hệ như là một hàm của năng lượng vào. Đồ thị đó sẽ như thế nào?

20.4 Công và nhiệt trong các quá trình nhiệt động

Các biến trạng thái

Các biến trạng thái mô tả trạng thái của một hệ. Bao gồm: Áp suất, nhiệt độ, thể tích, nội năng.

Trạng thái của một hệ cô lập chỉ được xác định khi hệ đang ở trạng thái cân bằng nhiệt. Đối với chất khí trong bình chứa, mọi thành phần của chất khí phải ở cùng nhiệt độ và áp suất.

Các biến quá trình

Các biến quá trình luôn là không trừ khi có một tiến trình diễn ra mà trong tiến trình này có sự trao đổi năng lượng qua ranh giới của một hệ. Các biến quá trình không liên quan với bất kỳ trạng thái nào của hệ mà chỉ liên quan đến sự thay đổi trạng thái của hệ. Nhiệt và công là các biến quá trình. Biến quá trình có thể là dương hoặc âm tùy vào năng lượng đi vào hay đi ra khỏi hệ.

Công trong nhiệt động lực học

Công được thực hiện trên một hệ có thể biến dạng, ví dụ như chất khí.

Khảo sát một xylanh có piston. Tác dụng lực vuông góc để nén khí từ từ. Quá trình nén đủ chậm để hệ duy trì trạng thái cân bằng nhiệt.

Do piston được đẩy xuống bằng lực F và dịch chuyển được một đoạn dr nên ta thực hiện một công là

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = -\vec{F}\hat{j} \cdot dy\hat{j} = -Fdy = -PA dy$$

Với $A \cdot dy = dV$ là sự thay đổi thể tích khối khí. A là diện tích của piston. Bỏ qua khối lượng của piston trong phép tính này.

Công thực hiện lên chất khí:

$$dW = -P dV$$

Biện luận về dW

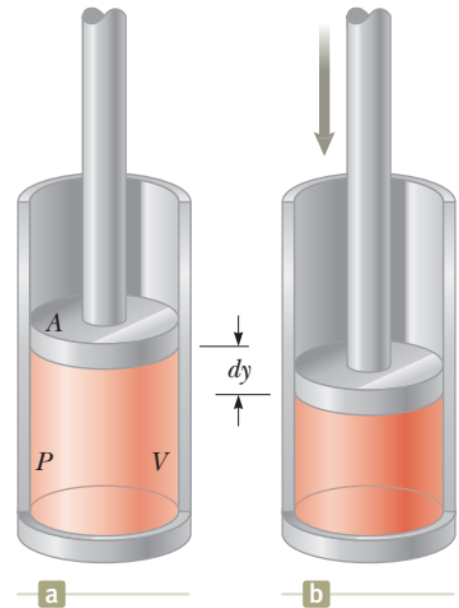
- Nếu khí bị nén, dV mang dấu âm và công mang dấu dương.
- Nếu khí bị giãn nở, dV mang dấu dương và công mang dấu âm.
- Nếu thể tích không đổi, công bằng 0.

Tổng công thực hiện khi nén khí:

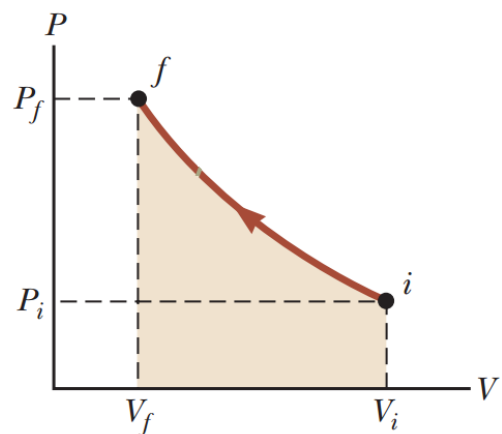
$$W = -\int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Giản đồ PV

Trạng thái của chất khí tại mỗi bước có thể được vẽ trên **giản đồ PV**. Điều này cho phép hình dung quá trình biến đổi của chất khí. Đường cong gọi là đường đi (từ trạng thái đầu đến trạng thái cuối).



Hình 20.4: Công được thực hiện lên khí trong 1 xylanh có áp suất P khi piston di chuyển đi xuống, làm cho khí bị nén



Hình 20.5: Khí được nén chậm từ trạng thái i đến trạng thái f . Hệ nhận công, do đó công khí nhận được dương.

Công thực hiện bởi các đường đi khác nhau

Mỗi quá trình có cùng trạng thái đầu và cuối. Công thực hiện khác nhau trong mỗi quá trình. Công phụ thuộc vào đường đi của quá trình.

Hình 20.6 a: Thể tích khí giảm từ V_i đến V_f trong khi áp suất P_i không đổi. Sau đó, áp suất tăng từ P_i đến P_f bằng cách nung nóng khí thể tích V_f không đổi.

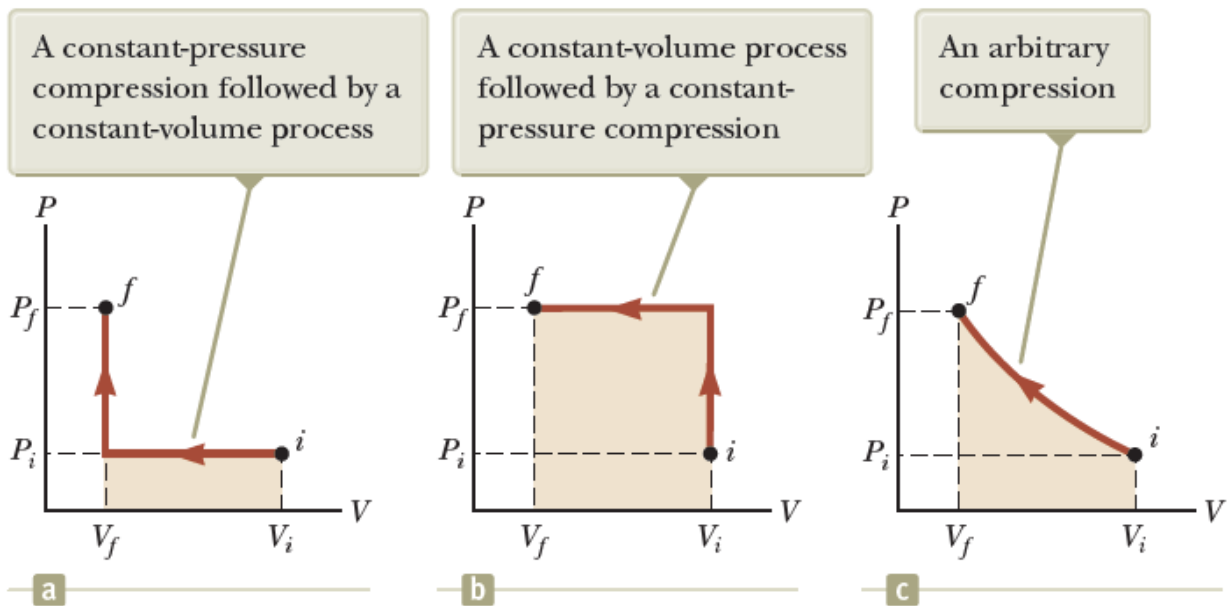
$$W = -P_i(V_f - V_i)$$

Hình 20.6 b: Áp suất của khí tăng từ P_i lên P_f với thể tích không đổi. Sau đó thể tích giảm từ V_i về V_f .

$$W = -P_f(V_f - V_i)$$

Hình 20.6 c: Áp suất và thể tích của khí biến đổi liên tục. Công thực hiện là một giá trị nào đó giữa $-P_f(V_f - V_i)$ và $-P_i(V_f - V_i)$.

Để đánh giá chính xác lượng công thực sự, cần phải biết hàm $P(V)$ (để tính tích phân).



Hình 20.6: Công khí nhận khi khí thực hiện quá trình chuyển hóa từ i sang f

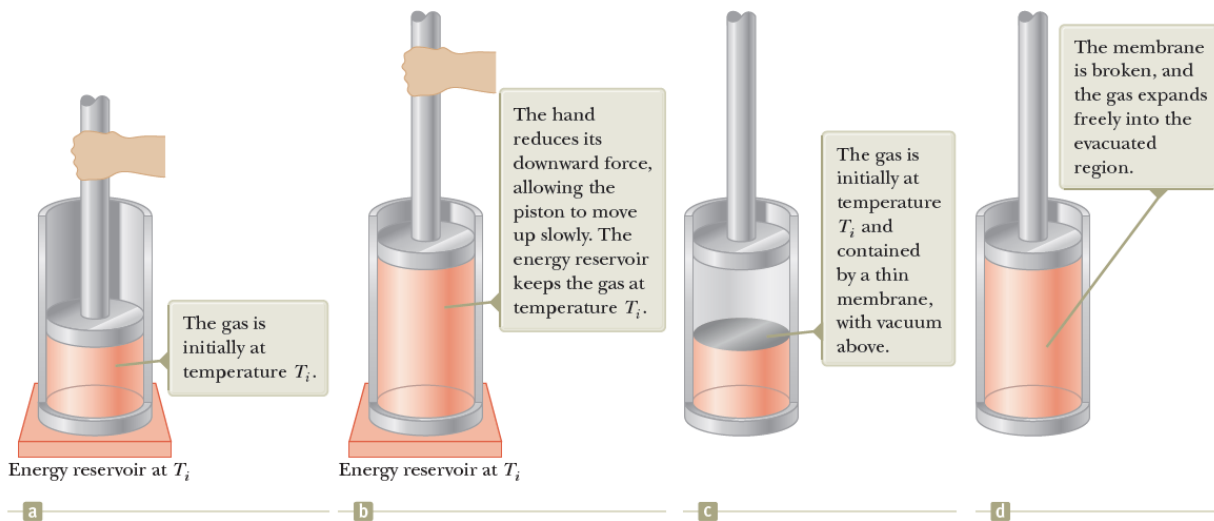
Sự trao đổi năng lượng

Nhiệt lượng, Q , thu vào hoặc mất đi của một hệ phụ thuộc vào quá trình biến đổi. Nguồn nhiệt là một nguồn năng lượng được xem là đủ lớn để một sự trao đổi năng lượng có giới hạn không làm thay đổi nhiệt độ của nó.

Piston được giữ cố định ở vị trí ban đầu nhờ một tác nhân bên ngoài. Bỏ qua ngoại lực tác dụng lên hệ. Piston di chuyển lên và khí sinh ra một công trên piston. Suốt quá trình giãn nở, chỉ cần năng lượng vừa đủ để chuyển hóa năng lượng nhiệt từ bình chứa sang chất khí để duy trì nhiệt độ không đổi.

Sự chuyển hóa năng lượng, hệ cô lập

Xét chất khí trong một xy lanh có một màng như hình vẽ. Ban đầu, khí bị nhốt ở bên dưới màng ngăn. Hệ hoàn toàn cách nhiệt. Khi màng bị vỡ, chất khí nhanh chóng giãn nở lấp đầy khoảng trống cho đến khi đạt được thể tích cuối cùng. Lúc này, chất khí không sinh công vì nó không tác dụng lực. Không có năng lượng được trao đổi dưới dạng nhiệt thông qua lớp vỏ cách nhiệt.



Hình 20.7: Sự trao đổi năng lượng của khí trong xy lanh

Tóm lại:

- Năng lượng chuyển hóa bởi nhiệt, sinh công, phụ thuộc vào trạng thái đầu, cuối và trung gian của hệ.
- Cả công và nhiệt đều phụ thuộc quá trình biến đổi.
- Không thể xác định giá trị của công và nhiệt nếu chỉ dựa vào trạng thái đầu và cuối của một quá trình nhiệt động lực học.

20.5 Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học

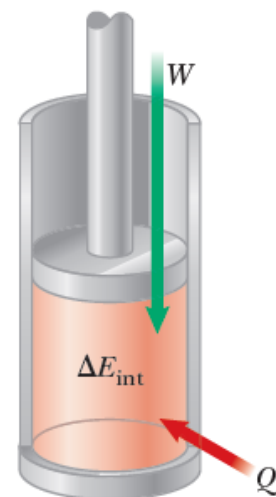
Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học là trường hợp đặc biệt của định luật bảo toàn năng lượng. Đó là trường hợp đặc biệt khi chỉ có sự biến đổi nội năng và chỉ có sự trao đổi năng lượng bởi nhiệt và công.

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học

$$\Delta E_{int} = Q + W$$

Tất cả các đại lượng phải có cùng đơn vị của năng lượng.

Một hệ quả của nguyên lý này là sự tồn tại đại lượng được biết đến như là nội năng – được xác định bởi trạng thái của hệ. Nội năng là một biến trạng thái.



Hình 20.8: Nguyên lý 1 nhiệt động lực học

Hệ cô lập là hệ không tương tác với môi trường xung quanh. Không có sự trao đổi năng lượng bằng nhiệt. Công thực hiện trên hệ bằng 0.

$$Q = W = 0, \text{ nên } \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Nội năng của hệ cô lập không đổi.

Các chu trình

Chu trình là một tiến trình bắt đầu và kết thúc ở cùng một trạng thái.

Trên giản đồ PV, chu trình được biểu diễn như một đường cong khép kín.

Độ biến thiên nội năng bằng 0 vì nó là một biến trạng thái

$$\text{Nếu } \Delta E_{\text{int}} = 0, Q = -W$$

Trong một chu trình, công thực hiện trên hệ trong mỗi chu trình có độ lớn bằng diện tích của vùng giới hạn bởi đường cong biểu diễn chu trình trên giản đồ PV.

20.6 Một vài ứng dụng của nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

20.6.1 Quá trình đoạn nhiệt

Quá trình đoạn nhiệt là quá trình trong đó không có năng lượng vào hoặc ra khỏi hệ dưới dạng nhiệt.

$$Q = 0$$

Điều này có được do: Các thành cách nhiệt của bình, Các quá trình được thực hiện nhanh nên không có sự trao đổi nhiệt.

$$\text{Vì } Q = 0, \Delta E_{\text{int}} = W$$

Nếu khí bị nén đoạn nhiệt, W mang dấu dương, ΔE_{int} mang dấu dương và nhiệt độ tăng.

Nếu khí giãn nở đoạn nhiệt, nhiệt độ khí giảm.

Một số ví dụ điển hình về quá trình đoạn nhiệt trong kỹ thuật:

- Sự giãn nở của khí nóng trong động cơ đốt trong.
- Khí ga hóa lỏng trong hệ thống làm mát.
- Nén đột ngột trong động cơ diesel.

20.6.2 Sự giãn nở tự do đoạn nhiệt

Đây là quá trình đoạn nhiệt vì nó diễn ra trong bình cách nhiệt. Vì chất khí giãn nở vào khoảng trống, nó không tác dụng lực lên piston và $W = 0$.

Vì $Q = 0$ và $W = 0 \Rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0$, nghĩa là nội năng của khối khí ở trạng thái đầu và cuối bằng nhau.

Nếu khối khí thực hiện quá trình là khí lý tưởng thì nhiệt độ của khối khí trong quá trình này không thay đổi.

20.6.3 Quá trình đẳng áp

Quá trình đẳng áp là quá trình xảy ra khi áp suất không đổi.

Có thể thực hiện bằng cách cho piston di chuyển tự do, vì vậy hệ luôn ở trạng thái cân bằng giữa lực tổng hợp từ khí đẩy lên và trọng lượng của piston cộng với lực do áp suất của không khí đẩy xuống.

Giá trị nhiệt và công nói chung đều khác 0.

Công là $W = -P (V_f - V_i)$ với P là áp suất không đổi.

20.6.4 Quá trình đẳng tích

Quá trình đẳng tích là quá trình xảy ra khi thể tích không đổi.

Thực hiện bằng cách kẹp piston ở vị trí cố định.

Vì thể tích không đổi, $W = 0$.

Từ định luật 1, $\Delta E_{int} = Q$

Nếu năng lượng được truyền bởi nhiệt vào một hệ có thể tích không đổi, toàn bộ năng lượng sẽ truyền vào cho hệ và nội năng của hệ tăng lên.

20.6.5 Quá trình đẳng nhiệt

Quá trình đẳng nhiệt là quá trình trong đó nhiệt độ không đổi.

Thực hiện bằng cách đặt các xylanh tiếp xúc với nguồn nhiệt có nhiệt độ không đổi.

Vì nhiệt độ không đổi, $\Delta E_{int} = 0$.

Nên, $Q = -W$

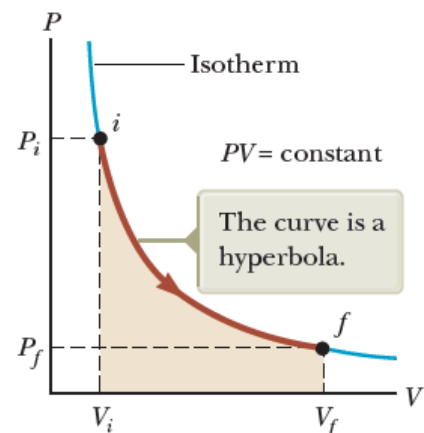
Năng lượng bất kỳ đi vào hệ dưới dạng nhiệt phải ra khỏi hệ dưới dạng công.

Hình 20.9 mô tả giản đồ PV của quá trình giãn nở đẳng nhiệt.

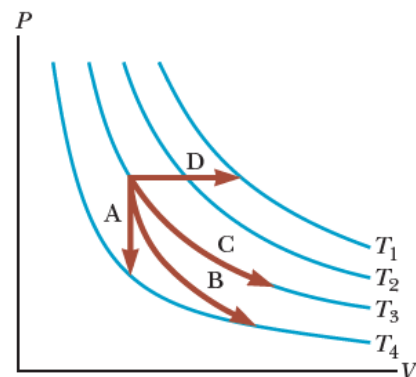
Đường cong có dạng hypebol. Đường cong gọi là đường đẳng nhiệt

Phương trình:

$$pV = nRT = \text{hằng số.}$$



Hình 20.9: Quá trình đẳng nhiệt



Hình 20.10: Đường đẳng nhiệt càng xa gốc, nhiệt độ càng cao

Câu hỏi 20.2: Trong hình 20.10, các đường T1, T2, T3, T4 là đường đẳng nhiệt. Vậy, trong 4 quá trình A, B, C, D, quá trình nào là quá trình đẳng áp, quá trình đẳng tích, quá trình đẳng nhiệt và quá trình đoạn nhiệt?

20.6.6 Quá trình giãn nở đẳng nhiệt, chi tiết

$$W = -\int_{V_i}^{V_f} P dV = -\int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)$$

Công bằng nghịch đảo vùng bên dưới của giản đồ PV . Vì khí giãn nở, $V_f > V_i$ và giá trị của công thực hiện trên chất là khí là số âm. Nếu khí bị nén $V_f < V_i$ và giá trị của công thực hiện trên chất là khí là số dương.

Tóm tắt về các quá trình đặc biệt

Đoạn nhiệt

- Không có trao đổi nhiệt
- $Q = 0$ và $\Delta E_{int} = W$

Đẳng áp

- Áp suất không đổi
- $W = p(V_f - V_i)$ và $\Delta E_{int} = Q + W$

Đẳng nhiệt

- Nhiệt độ không đổi
- $\Delta E_{int} = 0$ và $Q = -W$

20.7 Cơ chế truyền năng lượng trong quá trình truyền nhiệt

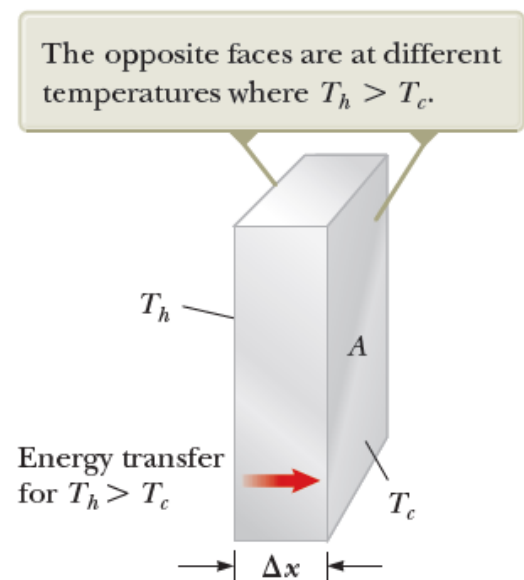
Có nhiều cơ chế liên quan đến sự chuyển hóa:

- Dẫn nhiệt
- Đối lưu
- Bức xạ

20.7.1 Sự dẫn nhiệt

Việc truyền năng lượng có thể được xem xét trên quy mô nguyên tử. Đây là một sự trao đổi động năng giữa các hạt cực nhỏ khi chúng va chạm với nhau. Các vi hạt có thể là các nguyên tử, phân tử hay electron tự do. Hạt có năng lượng thấp nhận năng lượng trong quá trình va chạm với các hạt có năng lượng cao hơn.

Khả năng dẫn nhiệt phụ thuộc vào các đặc tính của vật chất. Nhìn chung, kim loại là chất dẫn nhiệt tốt. Kim loại chứa nhiều electron chuyển động tự do



Hình 20.11: Sự dẫn nhiệt

bên trong chúng. Chúng có thể truyền năng lượng từ electron này sang electron khác.

Chất có độ dẫn nhiệt kém bao gồm amiăng, giấy, và chất khí.

Sự dẫn nhiệt chỉ xảy ra khi có sự khác biệt về nhiệt độ giữa phần tiếp xúc của hai môi trường dẫn.

Tấm đồng chất ở hình bên dưới cho phép truyền nhiệt lượng từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp hơn.

Tốc độ truyền nhiệt cho bởi:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = kA \left| \frac{dT}{dx} \right|$$

A là diện tích mặt cắt ngang (tiết diện ngang). dT là sự khác biệt nhiệt độ. dx là độ dày của tấm, hoặc chiều dài của một thanh.

P có đơn vị Watt khi Q có đơn vị Joule và t có đơn vị là giây. k là độ dẫn nhiệt của vật liệu. Dây dẫn tốt có giá trị k cao và dây cách điện tốt có giá trị k thấp.

Một vài giá trị độ dẫn nhiệt được cho trong bảng 20.3

Bảng 20.3: Giá trị độ dẫn nhiệt

Table 20.3	
Thermal Conductivities	
Substance	Thermal Conductivity (W/m · °C)
<i>Metals (at 25°C)</i>	
Aluminum	238
Copper	397
Gold	314
Iron	79.5
Lead	34.7
Silver	427
<i>Nonmetals (approximate values)</i>	
Asbestos	0.08
Concrete	0.8
Diamond	2 300
Glass	0.8
Ice	2
Rubber	0.2
Water	0.6
Wood	0.08
<i>Gases (at 20°C)</i>	
Air	0.023 4
Helium	0.138
Hydrogen	0.172
Nitrogen	0.023 4
Oxygen	0.023 8

Gradient nhiệt độ

Tỉ số $|dT/dx|$ được gọi là gradient nhiệt độ của vật liệu, cho biết hướng thay đổi nhiệt độ từ nơi này đến nơi khác.

Đối với một thanh đồng chất, gradient nhiệt độ có thể được tính như sau:

$$\left| \frac{dT}{dx} \right| = \frac{T_h - T_c}{L}$$

Sử dụng gradient nhiệt độ cho thanh, tốc độ truyền nhiệt trở thành:

$$P = kA \left(\frac{T_h - T_c}{L} \right)$$

Thanh ghép các chất

Đối với một thanh ghép các chất có chứa một số vật liệu của độ dày khác nhau (L_1, L_2, \dots) và độ dẫn nhiệt khác nhau (k_1, k_2, \dots) thì tốc độ truyền năng lượng phụ thuộc vào vật liệu và nhiệt độ ở mặt ngoài:

$$P = \frac{A(T_h - T_c)}{\sum_i (L_i/k_i)}$$

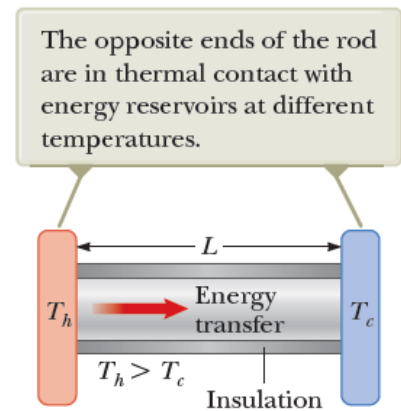
Chất cách nhiệt

Chất cách nhiệt được đánh giá bởi hệ số cách nhiệt R. *Hình 20.12: Thanh ghép các chất*

- $R = L/k$: hệ số cách nhiệt

$$P = \frac{A(T_h - T_c)}{\sum_i R_i}$$

- Trường hợp có nhiều lớp, giá trị R tổng cộng là tổng các giá trị R của mỗi lớp. Gió làm tăng sự mất năng lượng trong nhà.



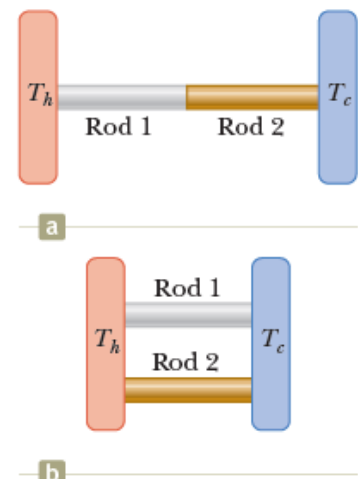
Một vài giá trị của R

Bảng 20.4: Giá trị R

Material	R-value (ft ² · °F · h/Btu)
Hardwood siding (1 in. thick)	0.91
Wood shingles (lapped)	0.87
Brick (4 in. thick)	4.00
Concrete block (filled cores)	1.93
Fiberglass insulation (3.5 in. thick)	10.90
Fiberglass insulation (6 in. thick)	18.80
Fiberglass board (1 in. thick)	4.35
Cellulose fiber (1 in. thick)	3.70
Flat glass (0.125 in. thick)	0.89
Insulating glass (0.25-in. space)	1.54
Air space (3.5 in. thick)	1.01
Stagnant air layer	0.17
Drywall (0.5 in. thick)	0.45
Sheathing (0.5 in. thick)	1.32

Câu hỏi 20.3: Bạn có hai thanh Rod 1 và Rod 2, có cùng chiều dài và đường kính, nhưng chúng được làm từ các vật liệu khác nhau. Các thanh được sử dụng để kết nối hai vật ở hai nhiệt độ khác nhau để năng lượng truyền qua các thanh bằng nhiệt. Có 2 cách kết nối, như hình 20.13a và hình 20.13b. Trong trường hợp nào là tốc độ truyền nhiệt lớn hơn?

- (a) Hình 20.13 a.
- (b) Hình 20.13 b.
- (c) Như nhau.



Hình 20.13

20.7.2 Đối lưu nhiệt

Đối lưu nhiệt là quá trình trao đổi nhiệt xảy ra khi có sự dịch chuyển của khối chất lỏng hoặc chất khí trong không gian từ vùng có nhiệt độ này đến vùng có nhiệt độ khác

Quá trình đối lưu có thể diễn ra theo 2 cách:

- Đối lưu nhiệt tự nhiên: Xảy ra khi giữa các phần tử có nhiệt độ khác nhau và có khối lượng riêng khác nhau.
- Đối lưu nhiệt cưỡng bức: Dùng công bên ngoài như bơm, quạt, khuấy trộn,... để tạo đối lưu. Vận tốc của quá trình đối lưu cưỡng bức lớn hơn rất nhiều lần so với đối lưu tự nhiên.

20.7.3 Sự bức xạ nhiệt

Bức xạ nhiệt: là kiểu truyền nhiệt đặc biệt bằng tia, tia đó mang năng lượng và vật hấp thụ tia đó chuyển năng lượng thành dạng nhiệt.

VD: Nền xi măng ta đi thấy nóng vì nó nhận vô số tia bức xạ của mặt trời và hấp thu năng lượng của tia đó chuyển thành nhiệt

Sự bức xạ nhiệt không cần tiếp xúc vật lý. Tất cả các đối tượng phát ra năng lượng liên tục dưới dạng sóng điện từ do dao động nhiệt của các phân tử bên trong chúng. Công suất bức xạ được cho bởi **định luật Stefan**:

$$P = \sigma A e T^4$$

- P : tổng công suất phát ra từ một vật, đơn vị là Watts.
- σ : hằng số Stefan-Boltzman, $\sigma = 5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
- A là diện tích bề mặt của vật bức xạ.
- e là hằng số đặc trưng cho độ phát xạ. e thay đổi từ 0 đến 1
- T là nhiệt độ, đơn vị Kelvin.

Vật đen tuyệt đối (chất hấp thụ lý tưởng)

Vật đen tuyệt đối là vật hấp thụ tất cả năng lượng đi vào nó.

$$e = 1$$

Một vật hấp thụ lý tưởng cũng là một vật bức xạ lý tưởng.

Tóm tắt chương 20

Nếu trao đổi một lượng năng lượng Q để làm một vật có khối lượng m và thay đổi nhiệt độ ΔT , thì **nhật dung riêng** là:

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T}$$

Nếu một lượng năng lượng Q là cần để chuyển pha của một mẫu thì **hệ số nhiệt chuyển pha** L

$$L \equiv \frac{Q}{\Delta m}$$

Công thực hiện trong một quá trình:

$$W = -\int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học

$$\Delta E_{int} = Q + W$$

Tốc độ truyền nhiệt:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = kA \left| \frac{dT}{dx} \right|$$

A là diện tích mặt cắt ngang (tiết diện ngang). dT là sự khác biệt nhiệt độ. dx là độ dày của tấm, hoặc chiều dài của một thanh

Định luật Stefan: Công suất bức xạ được cho bởi công thức

$$P = \sigma A e T^4$$

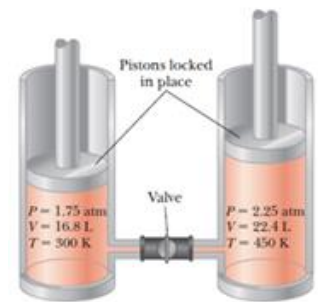
Câu hỏi lý thuyết chương 20

- Một khí lý tưởng được nén đến một nửa thể tích ban đầu của nó bằng cách thực hiện một số quá trình. Trong những quá trình sau, quá trình nào thực hiện công nhiều nhất? (a) đẳng nhiệt (b) đoạn nhiệt (c) đẳng áp (d) Công thực hiện không phụ thuộc vào quá trình.
- Một cây gậy cứng, không cháy được sử dụng để đẩy khúc củi đốt trong lò sưởi. Vì sự an toàn và thoải mái cho người sử dụng, gậy phải làm từ vật liệu có
 - nhiệt dung riêng lớn và độ dẫn nhiệt cao,
 - nhiệt dung riêng nhỏ và độ dẫn nhiệt thấp,
 - nhiệt dung riêng nhỏ và độ dẫn nhiệt cao
 - nhiệt dung riêng lớn và độ dẫn nhiệt cao
- Một mảnh đồng 100 g, ban đầu ở 95°C, bị rơi vào 200 g nước chứa trong một thau nhôm 280 g; ban đầu ở nhiệt độ 15°C. Tìm nhiệt độ cuối cùng của hệ? (Nhiệt dung riêng của đồng và nhôm lần lượt là 0,092 và 0,215 cal /g.°C) (a) 16°C (b) 18°C (c) 24°C (d) 26°C (e) không có đáp án đúng
- Sao A có gấp đôi bán kính và gấp đôi bề mặt tuyệt đối nhiệt độ của sao B. Hằng số đặc trưng cho độ phát xạ là 1. Tỷ lệ công suất phát xạ của ngôi sao A và sao B bằng bao nhiêu? (a) 4 (b) 8 (c) 16 (d) 32 (e) 64
- Nếu một khí được nén đẳng nhiệt, nhận xét nào đúng? (a) Khí nhận nhiệt lượng (b) Khí không thực hiện công (c) Nhiệt độ của khí tăng lên. (d) Nội năng của khí không đổi. (e) Không có nhận xét nào đúng.
- Khí thực hiện quá trình giãn đoạn nhiệt, nhận xét nào sau đây là đúng? (a) Nhiệt độ khí không thay đổi. (b) Khí không thực hiện công. (c) Khí không nhận nhiệt lượng. (d) Nội năng của khí không thay đổi. (e) Áp suất tăng.
- Nếu một khí thực hiện quá trình đẳng áp, nhận xét nào sau đây là đúng? (a) Nhiệt độ của khí không thay đổi. (b) Khí không thực hiện công. (c) Khí không nhận nhiệt lượng (d) Thể tích khí không đổi. (e) Áp suất khí giảm đồng đều.
- Sau bao lâu, một máy nhiệt 1000 W làm tan chảy 1 kg băng ở nhiệt độ 220 ° C, giả sử băng hấp thụ tất cả năng lượng từ máy nhiệt ? (a) 4,18 s (b) 41,8 giây (c) 5,55 phút (d) 6,25 phút (e) 38,4 phút

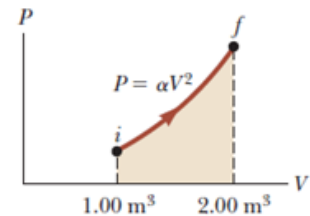
Bài tập chương 20

- Một phụ nữ nặng 55,0 kg ăn một bánh rán có năng lượng 540 Calorie (540 kcal) cho bữa sáng.
 - Đổi năng lượng trên sang đơn vị Jun. Biết 1 kcal = 4186J?
 - Người phụ nữ cần phải leo lên cầu thang bao nhiêu bước để thế năng hấp dẫn của hệ người phụ nữ - Trái Đất biến thiên một lượng bằng giá trị năng lượng trên? Giả sử chiều cao của mỗi bậc thang là 15,0 cm.
 - Nếu cơ thể cô ấy chỉ hấp thụ 25.0% năng lượng trên, tính lại số bước cô ta cần leo.
- Một mẫu đồng 50,0 g ở nhiệt độ ban đầu 25.0°C. Nếu cung cấp nhiệt lượng 1200 J vào nó, tính nhiệt độ lúc sau của đồng?

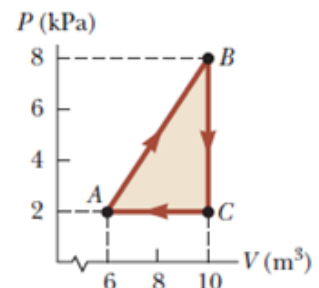
- Hai xilanh cách nhiệt được nối với nhau bởi một ống hẹp có lắp một van mà ban đầu được đóng như hình bên. Xilanh 1: chứa 16,8 L Oxy ở nhiệt độ 300 K và áp suất 1,75 atm. Xilanh 2 chứa 22,4 L Oxy ở nhiệt độ 450 K và áp suất 2,25 atm. Khi mở van, khí trong hai xilanh trộn nhau, nhiệt độ và áp suất của cả 2 xilanh bằng nhau.
 - Tính nhiệt độ lúc sau
 - Tính áp suất lúc sau?



- Một khí lý tưởng được chứa trong một xi lanh có một piston có thể di chuyển. Piston có khối lượng m , diện tích A và được tự do trượt lên xuống, sao cho luôn giữ áp suất không đổi. Tính công tác động lên n mol khí để nhiệt độ của nó tăng từ T_1 lên T_2 ?
- Một khí lý tưởng thực hiện một quá trình có $P = \alpha V^2$, với $\alpha = 5 \text{ atm/m}^6$. Khí này được giãn nở gấp đôi so với thể tích ban đầu là 1 m^3 . Tính công được thực hiện trong quá trình này?



- Khối khí thực hiện chu trình như hình.
 - Tính công khí nhận được trong quá trình AB?
 - Tính công khí sinh ra trong chu trình ABCA?
 - Tính tổng nhiệt lượng khối khí nhận vào trong chu trình trên.



7. Khối khí lý tưởng thực hiện chu trình như hình bên. AB là quá trình đoạn nhiệt; BC là quá trình đẳng áp với nhiệt lượng nhận vào là 345 kJ; CD là quá trình đẳng nhiệt; DA là quá trình đẳng áp với nhiệt lượng tỏa ra là 371 kJ. Tính độ biến thiên nội năng $E_{intB} - E_{intA}$

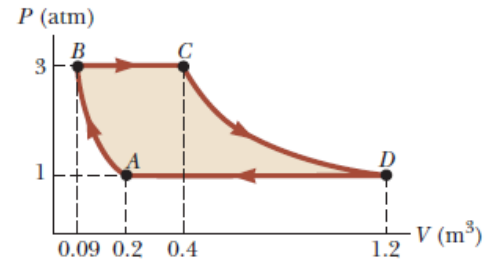


Figure P20.34

8. Cho 2 mol khí He xem như lý tưởng ban đầu ở nhiệt độ 300 K, áp suất 0.400 atm. Nén đẳng nhiệt nó đến áp suất 1,20 atm.

- (a) Tính thể tích khối khí sau khi nén
- (b) Tính công thực hiện bởi ngoại lực lên khối khí
- (c) Tính nhiệt lượng khối khí nhận vào trong quá trình trên.

9. Một khối khí có độ biến thiên nội năng bằng +800 J khi biến đổi từ trạng thái A đến trạng thái C (hình). Công mà khối khí nhận được khi biến đổi theo quá trình A→B→C là -500 J.

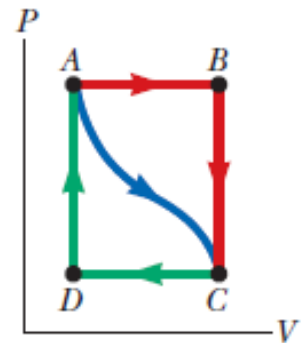


Figure P20.40

- (a) Tính nhiệt lượng mà khối khí nhận được trong quá trình biến đổi A→B→C.
- (b) Tính công khối khí nhận được trong quá trình C→D. Biết áp suất của khối khí tại trạng thái A gấp 5 lần áp suất tại trạng thái C.
- (c) Tính nhiệt lượng mà khối khí nhận được trong quá trình C→D→A.

(d) Tính nhiệt lượng khối khí nhận được trong quá trình C→D nếu biết độ biến thiên nội năng của khối khí trong quá trình từ D đến A là +500 J.

10. Cho 1 mol khí lý tưởng có trạng thái ban đầu (P_i, V_i, T_i) thực hiện chu trình như hình dưới.

- (a) Tính công thực hiện trong cả chu trình biết nhiệt độ ban đầu của khí là $0^{\circ}C$.
- (b) Tính nhiệt lượng cần thêm vào sau mỗi chu trình?

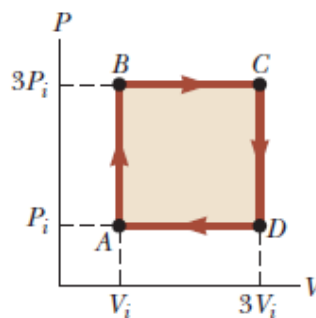


Figure P20.41

Problems 41 and 42.

11. Một tấm kính cửa sổ trong nhà dày 0,620 cm và có kích thước 1,00 m X 2,00 m. Vào một ngày nào đó, Nhiệt độ của bề mặt bên trong của kính là 25,0 ° C và nhiệt độ bề mặt bên ngoài là 0 ° C.
- (a) Tính tốc độ truyền nhiệt của thủy tinh?
 - (b) Tính tổng năng lượng được truyền qua cửa sổ trong một ngày, giả sử nhiệt độ trên bề mặt vẫn không đổi?
- 12.
- (a) Tính giá trị R của cửa sổ nhiệt được làm bằng hai tấm kính đơn, mỗi tấm dày 0,125 inch và cách nhau bằng lớp không khí dày 0,250 inch.
 - (b) Yếu tố nào làm sự truyền nhiệt lượng qua cửa sổ giảm nếu sử dụng cửa sổ nhiệt thay cho cửa sổ một cánh? Bao gồm sự đóng góp của các lớp không khí bên trong và bên ngoài.