

Chương 21: Thuyết động học chất khí

21.1 Mô hình phân tử của khí lý tưởng

Mô hình khí lý tưởng

Một số giả thiết đơn giản hóa tính chất của một hệ khí lý tưởng:

- Chất khí bao gồm một số rất lớn các phân tử. Mỗi phân tử có khối lượng và kích thước có thể bỏ qua so với khoảng cách trung bình giữa các phân tử.
- Chuyển động của các phân tử có thể được mô tả bằng cơ học Newton.
- Phân tử chuyển động tự do trừ khi nó va chạm với phân tử khác hay với thành bình chứa nó. Tất cả va chạm xem là đàn hồi.
- Bỏ qua thế năng tương tác giữa các phân tử khí.

Liên hệ áp suất và động năng phân tử

Xét một hệ khí lý tưởng đơn nguyên tử (phân tử khí có một nguyên tử). Để xây dựng mối liên hệ giữa áp suất khí và động năng phân tử khí, ta dựa trên việc khảo sát chuyển động của phân tử khí khi nó va chạm đàn hồi với thành bình (hình 21.1). Giả sử các phân tử chuyển động trên mặt phẳng xy (hình 21.2). Các biến đổi toán học dẫn ra được:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1}{3} \left(\frac{N}{V} \right) m_0 \overline{v^2} \quad (21.1)$$

Hay

$$PV = \frac{2}{3} N \left(\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right) \quad (21.2)$$

Với P là áp suất khí, V là thể tích khí, N là số phân tử của hệ, $\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$ là động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí.

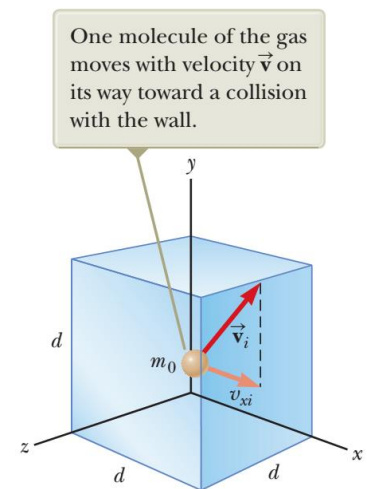
Phương trình (21.1) cho thấy áp suất tỉ lệ với:

- Số phân tử trong một đơn vị thể tích (N/V)
- Động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử.

Như vậy, có 2 cách làm tăng áp suất khí là tăng số phân tử trong một đơn vị thể tích và tăng tốc độ (động năng) của các phân tử, chính là tăng nhiệt độ của khí.

Diễn giải nhiệt độ theo góc độ phân tử

Ta có thể so sánh áp suất tìm được từ động năng và áp suất trong phương trình trạng thái của khí lý tưởng:



Hình 21.1: Một hộp hình lập phương cạnh d chứa 1 phân tử khí lý tưởng

$$PV = \frac{2}{3}N \left(\frac{1}{2}m\overline{v^2} \right) = Nk_B T$$

Suy ra:

$$T = \frac{2}{3k_B} \left(\frac{1}{2}m_0\overline{v^2} \right) \quad (21.3)$$

Phương trình 21.3 cho thấy *hiệu độ* là một số đo trực tiếp của *động năng phân tử trung bình*.

Từ phương trình (21.3) ta suy ra mối liên hệ:

$$\frac{1}{2}m_0\overline{v^2} = \frac{3}{2}k_B T \quad (21.4)$$

với động năng tịnh tiến trung bình trên một phân tử là $\frac{3}{2}k_B T$.

Khi xét trên một chiều không gian ta có $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$. Từ đó suy ra *động năng tịnh tiến cho một chiều không gian* là:

$$\frac{1}{2}m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2}k_B T \quad (21.5)$$

Vì vậy, mỗi bậc tự do tịnh tiến của phân tử khí sẽ đóng góp một lượng năng lượng bằng $\frac{1}{2}k_B T$ cho năng lượng của hệ. Một cách tổng quát, lý thuyết về *sự phân bố đều năng lượng* của hệ khí như sau:

Mỗi bậc tự do đóng góp $\frac{1}{2}k_B T$ cho năng lượng của hệ, trong đó các bậc tự do có thể liên quan đến chuyển động tịnh tiến, chuyển động quay và dao động của phân tử.

Cuối cùng, ta tính được tổng động năng tịnh tiến của N phân tử:

$$K_{tot\ trans} = N \left(\frac{1}{2}m_0\overline{v^2} \right) = \frac{3}{2}Nk_B T = \frac{3}{2}nRT \quad (21.6)$$

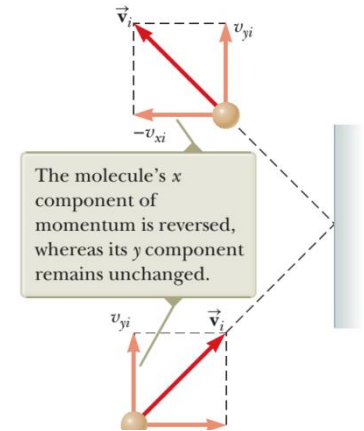
Với $k_B = \frac{R}{N_A}$ là hằng số Boltzmann và $n = \frac{N}{N_A}$ là số mol khối khí.

Tốc độ căn quân phương (Root-Mean-Square speed - rms):

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (21.7)$$

với $M = m_0 N_A$ là khối lượng của chất khí và m_0 là khối lượng của một mol chất khí.

Câu hỏi 21.1: Hai bình chứa cùng một loại khí lý tưởng ở cùng một nhiệt độ, áp suất, nhưng thể tích bình B gấp đôi bình A. (i) Động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí ở bình B so với bình A là (a) gấp đôi, (b) bằng, (c) bằng một nửa, (d) không xác định được. (ii) Cùng các lựa chọn như (i), so sánh nội năng của hệ khí ở bình B so với bình A.



Hình 21.2: Phân tử khí va chạm đàn hồi với thành bình. Giả sử chúng chuyển động trên mặt phẳng xy.

Bảng 21.1: Tốc độ căn quân phương của một số phân tử khí

Gas	Molar Mass (g/mol)	v_{rms} at 20°C (m/s)	Gas	Molar Mass (g/mol)	v_{rms} at 20°C (m/s)
H ₂	2.02	1902	NO	30.0	494
He	4.00	1352	O ₂	32.0	478
H ₂ O	18.0	637	CO ₂	44.0	408
Ne	20.2	602	SO ₂	64.1	338
N ₂ or CO	28.0	511			

Bài tập mẫu 21.1:

Một quả bóng bóng chứa đầy một lượng 2 mol khí heli có thể tích 0,3 m³ ở nhiệt độ 20°C. Giả sử hệ khí được xem là khí lý tưởng.

- (A) Tính tổng động năng tịnh tiến của hệ khí.
- (B) Tính động năng trung bình trên một phân tử?

Giải:

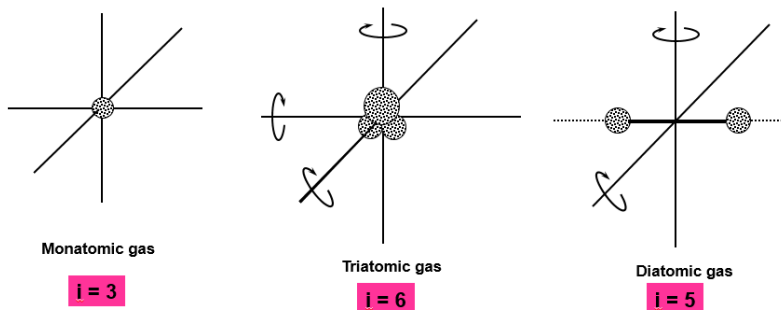
(A) Bởi vì khí được xem là khí lý tưởng, các phân tử chuyển động không ngừng trong bình chứa. Tốc độ chuyển động các phân tử càng nhanh khi nhiệt độ càng cao. Áp dụng phương trình (21.6) với số mol của hệ khí $n = 2$ mol, $T = (273 + 20) = 293$ K, ta tính được tổng động năng tịnh tiến của hệ khí:

$$K_{tot\ trans} = \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} \times 2 \times 8,31 \times 293 = 7,3 \times 10^3 J$$

(B) Áp dụng hệ thức (21.4) ta tính được động năng trung bình trên một phân tử:

$$\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T = \frac{3}{2} \times 1,38 \times 10^{-23} \times 293 = 6,07 \times 10^{-21} J$$

21.2 Sự phân bố đều năng lượng.



Hình 21.3: Số bậc tự do của khối khí lý tưởng đơn nguyên tử ($i = 3$), hai nguyên tử ($i = 5$) và ba nguyên tử trở lên ($i = 6$)

Số bậc tự do của phân tử khí i

Từ lý thuyết về **sự phân bố đều năng lượng** của hệ khí như trình bày ở trên, ta phân tích cụ thể số bậc tự do của một hệ khí bất kỳ:

- Khí đơn nguyên tử (phân tử khí có một nguyên tử): ví dụ các phân tử khí hiếm heli, neon, argon... Các phân tử khí đơn nguyên tử chuyển động tịnh tiến theo ba trục tọa độ xyz, mỗi chuyển động tịnh tiến sẽ có động năng tương ứng là $\frac{1}{2}k_B T$. Chuyển động quay của phân tử khí đơn nguyên tử ứng với trục quay qua khối tâm của phân tử khí có năng lượng không đáng kể. *Tóm lại, phân tử khí đơn nguyên tử có số bậc tự do $i = 3$.*
- Khí hai nguyên tử (hay lưỡng nguyên tử là phân tử khí có hai nguyên tử): ví dụ khí oxy, nito... Các phân tử khí lưỡng nguyên tử có ba chuyển động tịnh tiến và hai chuyển động quay quanh hai trục không đi qua hai nguyên tử của phân tử (một trục quay qua hai nguyên tử của phân tử có năng lượng không đáng kể), mỗi chuyển động này tương ứng động năng là $\frac{1}{2}k_B T$. *Tóm lại, phân tử khí lưỡng nguyên tử có số bậc tự do $i = 5$.*
- Khí đa nguyên tử (phân tử khí có ba nguyên tử trở lên): Các phân tử khí đa nguyên tử có 3 chuyển động tịnh tiến và 3 chuyển động quay quanh 3 trục, mỗi chuyển động này tương ứng động năng là $\frac{1}{2}k_B T$. *Tóm lại, phân tử khí đa nguyên tử có số bậc tự do $i = 6$.*

Tuy nhiên đối với phân tử đa nguyên tử, nhiều trường hợp i có giá trị lớn hơn do có thêm năng lượng dao động giữa các nguyên tử, phân tử.

Nội năng của khí lý tưởng

Nội năng của một hệ khí là năng lượng bên trong hệ bao gồm động năng phân tử (năng lượng do chuyển động tự do của các phân tử), thế năng tương tác giữa các phân tử và năng lượng bên trong mỗi phân tử, nguyên tử.

Đối với khí lý tưởng, ta có thể bỏ qua thế năng tương tác giữa các phân tử do lực tương tác giữa các phân tử là rất yếu. Ngoài ra, chúng ta cũng không xét đến các quá trình biến đổi diễn ra trong từng phân tử.

Tóm lại, nội năng của khí lý tưởng chính là tổng động năng phân tử của hệ khí. Từ phương trình (21.6) và khái niệm về số bậc tự do của phân tử khí, ta có **biểu thức tính nội năng của khí lý tưởng** là:

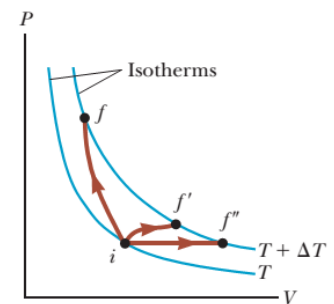
$$E_{int} = n \frac{i}{2} RT \tag{21.8}$$

Phương trình (21.8) cho thấy nội năng của khí lý tưởng phụ thuộc vào nhiệt độ của hệ khí. Nhiệt độ là một biến trạng thái, chính vì vậy **nội năng là một hàm trạng thái**.

Độ biến thiên nội năng của một hệ khí lý tưởng khi hệ khí thay đổi một lượng nhiệt ΔT là:

$$\Delta E_{int} = n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T \tag{21.9}$$

Ví dụ một vài quá trình làm thay đổi nhiệt độ của một khối khí lý tưởng như hình 21.4. Cả ba quá trình đều làm thay đổi một lượng nhiệt $\Delta T = T_f - T_i$. Do ΔT là như nhau ở 3 quá



Hình 21.4: Một chất khí lý tưởng biến đổi từ trạng thái có nhiệt độ T_i đến T_f bằng 3 quá trình khác nhau.

trình trên nên ΔE_{int} cũng như nhau. Tuy nhiên công thực hiện trên chất khí là khác nhau đối với mỗi đường đi và nhiệt lượng tương ứng với mỗi đường biến đổi cũng không giống nhau. Bởi vì **công và nhiệt lượng là hàm quá trình**, quá trình biến đổi khác nhau thì chúng khác nhau.

21.3 Nhiệt dung phân tử (nhiệt dung mol) của khí lý tưởng

Giả sử một khối khí lý tưởng biến đổi từ trạng thái i có các thông số (P_i, V_i, T_i) sang trạng thái f (P_f, V_f, T_f) có khối lượng m , phân tử gam M suy ra số mol của khối khí $n = \frac{m}{M}$. Xét một số quá trình đặc biệt thường xảy ra như sau:

Quá trình đẳng tích: là quá trình thể tích của khí không đổi $V_i = V_f$, đồ thị là đường thẳng đứng như trên hình 21.5.

- Nhiệt lượng trao đổi trong quá trình đẳng tích là:

$$Q = nC_V\Delta T \quad (21.10)$$

với C_V là nhiệt dung mol đẳng tích.

- Công thực hiện trong quá trình này

$$W = - \int P dV = 0$$

do $V_i = V_f$ thì $dV = 0$

- Áp dụng nguyên lý 1 nhiệt động lực học $\Delta E_{int} = W + Q$ cho quá trình đẳng tích ta có:

$$n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T = 0 + nC_V\Delta T$$

Suy ra **nhiệt dung mol đẳng tích:**

$$C_V = \frac{i}{2} R \quad (21.11)$$

Quá trình đẳng áp: là quá trình áp suất của khí không đổi $P_i = P_f$, hình 21.5 là đường thẳng nằm ngang.

- Nhiệt lượng trao đổi trong quá trình này là

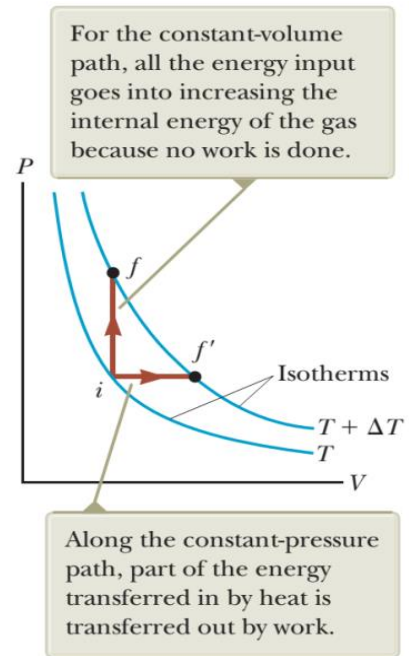
$$Q = nC_P\Delta T \quad (21.12)$$

với C_P là nhiệt dung mol đẳng áp.

- Công thực hiện trong quá trình này

$$W = - \int P dV = -P \int dV = P(V_i - V_f)$$

- Áp dụng nguyên lý 1 nhiệt động lực học $\Delta E_{int} = W + Q$ cho quá trình đẳng tích:



Hình 21.5: Năng lượng được truyền bởi nhiệt cho hệ khí theo 2 cách.

$$n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T = P(V_i - V_f) + nC_P \Delta T$$

Cộng thêm từ phương trình trạng thái khí lý tưởng $PV = nRT$ thay vào phương trình trên, ta được:

$$n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T = nR(T_i - T_f) + nC_P \Delta T$$

Hay

$$n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T = -nR \Delta T + nC_P \Delta T$$

Suy ra **hiệu dung mol đẳng áp**:

$$C_P = \frac{i}{2} R + R = C_V + R \quad (21.13)$$

Quá trình đẳng nhiệt: là quá trình nhiệt độ khối khí không đổi $T_i = T_f$, đồ thị là đường cong từ $f \rightarrow f'$ như trên hình 21.5.

- Độ biến thiên nội năng của quá trình đẳng nhiệt $\Delta E_{int} = 0$ do $\Delta T = 0$
- Công thức hiện trong quá trình này là:

$$W = - \int P dV = - \int \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int \frac{dV}{V}$$

Suy ra:

$$W = nRT \ln \frac{V_i}{V_f} \quad (21.14)$$

- Áp dụng nguyên lý 1 nhiệt động lực học $\Delta E_{int} = W + Q$ để xác định nhiệt lượng trao đổi trong quá trình đẳng nhiệt:

$$0 = nRT \ln \frac{V_i}{V_f} + Q$$

Suy ra:

$$Q = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \quad (21.15)$$

Tỉ số nhiệt dung phân tử

Ta định nghĩa tỉ số nhiệt dung phân tử:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \quad (21.16)$$

với

$$C_V = \frac{i}{2} R, \quad C_P = C_V + R = \frac{i+2}{2} R$$

Bảng 21.2: Tỷ số nhiệt dung phân tử của một số chất khí

Gas	C_P	C_V	$C_P - C_V$	$\gamma = C_P/C_V$
<i>Monatomic gases</i>				
He	20.8	12.5	8.33	1.67
Ar	20.8	12.5	8.33	1.67
Ne	20.8	12.7	8.12	1.64
Kr	20.8	12.3	8.49	1.69
<i>Diatomic gases</i>				
H ₂	28.8	20.4	8.33	1.41
N ₂	29.1	20.8	8.33	1.40
O ₂	29.4	21.1	8.33	1.40
CO	29.3	21.0	8.33	1.40
Cl ₂	34.7	25.7	8.96	1.35
<i>Polyatomic gases</i>				
CO ₂	37.0	28.5	8.50	1.30
SO ₂	40.4	31.4	9.00	1.29
H ₂ O	35.4	27.0	8.37	1.30
CH ₄	35.5	27.1	8.41	1.31

Câu hỏi 21.2: (i) Nội năng của khí lý tưởng thay đổi từ trạng thái i đến f như trên hình 21.5. (a) nội năng tăng, (b) nội năng giảm, (c) nội năng không đổi và (d) không đủ thông tin để xác định nội năng như thế nào. (ii) Cùng các lựa chọn như phần (i), nội năng thay đổi như thế nào khi hệ khí biến đổi từ $f \rightarrow f'$ như trên hình 21.5.

Bài tập mẫu 21.2:

Một xylanh chứa 3 mol khí lý tưởng heli ở 300 K.

(A) Khối khí được nung nóng đẳng tích, tính nhiệt lượng truyền cho khối khí để làm nó tăng nhiệt độ lên 500K.

(B) Khối khí được nung nóng đẳng áp, tính nhiệt lượng truyền cho khối khí để làm nó tăng nhiệt độ lên 500K.

Giải:

He là khí đơn nguyên tử nên ta có $i = 3$

(A) Nhiệt lượng truyền cho khối khí để làm nó tăng nhiệt độ lên 500K trong quá trình đẳng tích là:

$$Q_1 = nC_V\Delta T = n\frac{i}{2}R(T_f - T_i) = 3 \times \frac{3}{2} \times 8,31 \times (500 - 300) = 7,5 \times 10^3 J$$

(B) Nhiệt lượng truyền cho khối khí để làm nó tăng nhiệt độ lên 500K trong quá trình đẳng áp là:

$$Q_2 = nC_P\Delta T = n\frac{i+2}{2}R(T_f - T_i) = 3 \times \frac{5}{2} \times 8,31 \times (500 - 300) = 12,5 \times 10^3 J$$

21.4 Quá trình đoạn nhiệt cho khí lý tưởng

Nhiều quá trình quan trọng diễn ra nhanh đến nỗi phần nhiệt được thêm vào cho hệ là không đáng kể, đó là quá trình đoạn nhiệt. Nếu chất khí lý tưởng thực hiện một quá trình đoạn nhiệt chuẩn tĩnh, khi đó chất khí đi qua một chuỗi các trạng thái cân bằng được biểu diễn bằng đường cong trên giản đồ p-V. Ta xét một bước vô cùng nhỏ trong quá trình đoạn nhiệt $dQ = 0$.

Áp dụng định luật thứ nhất cho quá trình đoạn nhiệt:

$$dE_{int} = nC_V dT = -PdV$$

Lấy vi phân phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$PV = nRT$$

ta có

$$PdV + VdP = nRdT$$

Khử dT và n từ 2 biểu thức trên, chúng ta được:

$$PdV + VdP = -\frac{R}{C_V} PdV$$

Thay $R = C_P - C_V$ và chia PV:

$$\frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = -\left(\frac{C_P - C_V}{C_V}\right) dV = -(1 - \gamma)dV$$

Hay

$$\frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

Đối với các biến đổi lớn của P và V, ta thực hiện lấy tích phân hai vế:

$$\ln P + \gamma \ln V = \text{constant}$$

Tương đương với:

$$PV^\gamma = \text{constant} \tag{21.17}$$

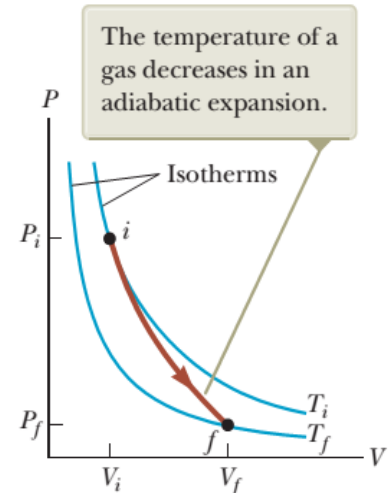
Hay

$$TV^{\gamma-1} = \text{constant} \tag{21.18}$$

Phương trình (21.17) và (21.18) là các phương trình biểu diễn mối liên hệ giữa các thông số trạng thái của các quá trình đoạn nhiệt.

Tóm lại đối với quá trình đoạn nhiệt ta có:

$$Q = 0, \\ \Delta E_{int} = W = n \frac{i}{2} R \cdot \Delta T$$



Hình 21.6: Đường biểu diễn quá trình đoạn nhiệt

Bài tập mẫu 21.3:

Trong một xy lanh của động cơ diesel chứa một lượng không khí ở áp suất và thể tích ban đầu 1 atm, 800 cm³ được nén đoạn nhiệt sao cho thể tích còn 60 cm³. Giả sử khí được xem là khí lý tưởng, $\gamma = 1,4$. Tính áp suất trạng thái lúc sau của khối khí.

Giải

Khối khí thực hiện quá trình nén đoạn nhiệt từ trạng thái đầu $P_i = 1 \text{ atm}$, $V_i = 800 \text{ cm}^3$ đến trạng thái sau có $V_f = 60 \text{ cm}^3$. Áp dụng phương trình (21.7) ta tính được áp suất trạng thái lúc sau là:

$$PV^\gamma = \text{constant} \leftrightarrow P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$$

Suy ra:

$$P_f = \frac{P_i V_i^\gamma}{V_f^\gamma} = \frac{1 \times 800^{1,4}}{60^{1,4}} = 37,6 \text{ atm}$$

Câu hỏi lý thuyết chương 21

1. Tại sao ở cùng một nhiệt độ, lượng năng lượng trên mỗi mol của khí lưỡng nguyên tử lại lớn hơn của khí đơn nguyên tử?
2. Cái nào đậm đặc hơn: không khí khô, hay không khí bão hòa với hơi nước? Giải thích.
3. Một thùng chứa đầy khí heli và một bình khác chứa khí argon. Cả hai thùng chứa đều ở cùng nhiệt độ. Những phân tử nào có tốc độ hiệu dụng v_{rms} cao hơn? Giải thích.

Bài tập chương 21

1. Trong khoảng thời gian 30 s, 500 cục mưa đá tấn công tới bề mặt một cửa sổ làm bằng kính có diện tích 0,6 m² theo một góc 45⁰. Mỗi cục mưa đá có khối lượng 5 g và tốc độ 8 m/s. Giả sử các va chạm là đàn hồi, tìm (a) lực trung bình và (b) áp suất trung bình lên cửa sổ trong khoảng thời gian này.

ĐS: 0,94 N; 1,57 Pa

2. Một bình 5 lít chứa khí nitơ ở 27°C và 3 atm. Tìm (a) tổng động năng chuyển động tịnh tiến của các phân tử khí và (b) động năng trung bình trên mỗi phân tử.

ĐS: 2,3 kJ; 6,2.10⁻²¹ J

3. Trong quá trình đẳng tích, 209 J nhiệt lượng được truyền tới 1 mol khí đơn nguyên tử ở trạng thái lý tưởng, ban đầu ở 300 K. Tìm (a) công thực hiện của khí, (b) độ tăng nội năng của khí, và (c) nhiệt độ cuối cùng của nó.

ĐS: 0; 209 J; 317 K

4. Cho 1mol khí hydro được nung nóng ở áp suất không đổi từ 300 K đến 420 K. Tính (a) nhiệt lượng khí nhận được, (b) độ tăng nội năng của nó, và (c) công khí thực hiện .

ĐS: 3,46 kJ; 2,45 kJ; -1,01kJ

5. Một xy lanh đứng với một piston nặng ở phía trên có chứa một khối không khí (xem là khí lưỡng nguyên tử) ở 300 K. Áp suất khí ban đầu là $2 \cdot 10^5$ Pa, thể tích ban đầu $0,35 \text{ m}^3$. Khối lượng mol của không khí là 28,9 g/mol. (a) Tính nhiệt dung riêng đẳng tích của khối khí theo đơn vị kJ/kg.°C. (b) Tính khối lượng của khối khí trong xy lanh. (c) Giả sử piston được giữ cố định, hỏi cần truyền cho khối khí một năng lượng bằng bao nhiêu để khí tăng nhiệt độ lên 700 K. (d) Giả sử piston được tự do dịch chuyển, hỏi cần truyền cho khối khí một năng lượng bằng bao nhiêu để khí tăng nhiệt độ lên 700 K.

ĐS: 0,719 kJ/kg.°C; 0,811 kg; 233 kJ; 327 kJ (giả sử đẳng áp)

6. Tính công cần thiết để nén 5 mol không khí ở 20°C và 1atm đến một phần mười của thể tích ban đầu. (a) trong quá trình đẳng nhiệt? (b) trong quá trình đoạn nhiệt? (c) Tính áp suất cuối trong quá trình đẳng nhiệt? (d) Tính áp suất cuối trong quá trình đoạn nhiệt?

ĐS: 28 kJ; 46 kJ; 10 atm; 25,1 atm

7. Trong quá trình sinh công của động cơ ô tô bốn thì, Piston chuyển động xuống dưới cylinder (xi-lanh) tạo ra một khoảng không trong cylinder để chứa nhiên liệu phun sương từ bộ chế hoà khí. Xem nhiên liệu gồm hỗn hợp của các sản phẩm đốt và không khí. Chúng thực hiện quá trình giãn đoạn nhiệt. Giả sử (1) động cơ đang chạy ở tốc độ 2500 vòng/phút; (2) áp suất đo ngay lập tức trước khi giãn nở là 20 atm; (3) thể tích của hỗn hợp ngay trước và sau khi giãn nở là 50 cm^3 và 400 cm^3 , tương ứng (Hình. P21.31); (4) khoảng thời gian cho việc giãn nở là một phần tư trong tổng chu kỳ; và (5) hỗn hợp hoạt động như một loại khí lý tưởng với tỷ lệ nhiệt cụ thể 1,4. Tìm công suất trung bình được tạo ra trong quá trình sinh công trên.

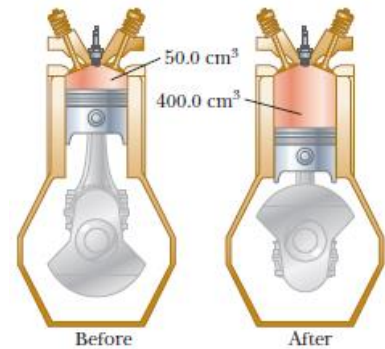


Figure P21.31

ĐS: 25 kW