

Khí lý tưởng

Lê Quang Nguyên
www4.hcmut.edu.vn/~leqnguyen
nguyenquangle59@yahoo.com

Nội dung

Thực nghiệm

1. Phương trình trạng thái
2. Công khi co giãn

Lý thuyết: phân tử là chất điểm

3. Phương trình căn bản
4. Phân bố Maxwell

Mở rộng: phân tử khác chất điểm

5. Bậc tự do
6. Nội năng khí lý tưởng

Áp dụng

7. Nhiệt dung
8. Quá trình đoạn nhiệt

cuu duong than cong . com

1a. Số Avogadro

- Số nguyên tử (phân tử) trong một ***mol***:

$$N_A = 6,02 \times 10^{23}$$

- Số mol của một chất:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N : số nguyên tử (phân tử)

M_s : khối lượng chất

M : khối lượng mol

$$n = \frac{M_s}{M} = \frac{m}{m N_A}$$

m : khối lượng nguyên tử (phân tử)

Câu hỏi 1

Trộn 8 g khí O_2 với 22 g khí CO_2 . Khối lượng của một mol hỗn hợp này là:

- A. 30 g
- B. 40 g
- C. 45 g
- D. 60 g

cuu duong than cong . com

Trả lời câu 1

- Khối lượng 1 mol hỗn hợp (N_A phân tử):

$$M = m_{O_2} N_{O_2} + m_{CO_2} N_{CO_2}$$

$$M = M_{O_2} \frac{N_{O_2}}{N_A} + M_{CO_2} \frac{N_{CO_2}}{N_A} = 32x_{O_2} + 44x_{CO_2}$$

- Tỷ lệ thành phần x_{O_2} và x_{CO_2} cũng giống như trong hỗn hợp ban đầu.
- $8g O_2 \leftrightarrow 8/32 \text{ mol} = N_A/4$ phân tử.
- $22g CO_2 \leftrightarrow 22/44 \text{ mol} = N_A/2$ phân tử.

cuu duong than cong . com

Trả lời câu 1 (tt)

$$x_{O_2} = \frac{0,25N_A}{0,25N_A + 0,5N_A} = \frac{1}{3}$$

$$x_{CO_2} = \frac{0,5N_A}{0,25N_A + 0,5N_A} = \frac{2}{3}$$

$$M = 32 \times \frac{1}{3} + 44 \times \frac{2}{3} = 40g$$

1b. Phương trình trạng thái khí lý tưởng

- Khí lý tưởng tuân theo phương trình trạng thái:

$$PV = NkT$$

P đo bằng $Pa = N/m^2$ (Pascal)

T đo bằng K

- k là hằng số Boltzmann: $k = 1,38 \times 10^{-23} J/K$
- Dạng khác:

$$PV = nRT$$

- R là hằng số khí: $R = kN_A = 8,31 J/(mol.K)$

cuu duong than cong . com

Câu hỏi 2

Một khối khí lý tưởng được chứa trong bình ở nhiệt độ 300 K và áp suất 40 atm. Cho một nửa lượng khí thoát ra khỏi bình thì áp suất còn 19 atm. Nhiệt độ của khối khí lúc này là:

$$1 \text{ atm} = 101 \text{ kPa}$$

- A. 10 °C
- B. 22 °C
- C. 15 °C
- D. 12 °C

Trả lời câu 2

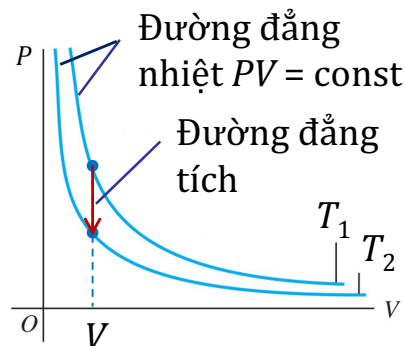
- Thể tích không đổi:

$$V = \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{(n/2)RT_2}{P_2}$$

$$\Rightarrow T_2 = 2T_1 \frac{P_2}{P_1}$$

$$T_2 = 600 \frac{19}{40} = 285K = 12^\circ C \quad T(C) = T(K) - 273$$

- Trả lời: D



2. Công thực hiện bởi khí lý tưởng – 1

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Dãn nở: $W < 0$

Nén: $W > 0$

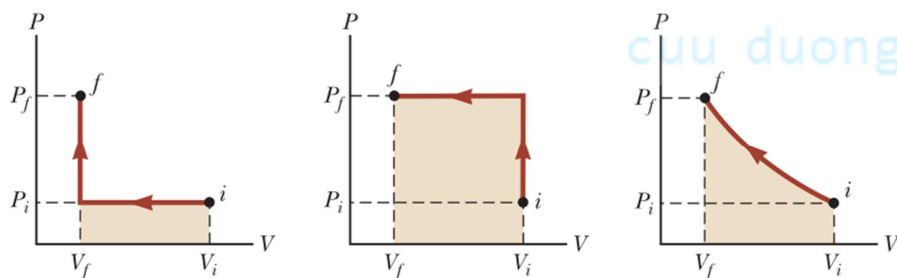
- Quá trình **đẳng tích** ($V = \text{const}$): $W = 0$
- Quá trình **đẳng áp** ($P = \text{const}$): $W = -P(V_2 - V_1)$
- Quá trình **đẳng nhiệt** ($T = \text{const}$):

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV \Rightarrow W = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

cuuduongthancong.com

2. Công thực hiện bởi khí lý tưởng – 2

- Trong giản đồ P - V :
- $|W|$ = Diện tích giới hạn giữa đường cong $P(V)$ và trục V .



- Công thực hiện phụ thuộc vào quá trình.

Câu hỏi 3

Hai mol khí lý tưởng lưỡng nguyên tử dãn nở **đẳng nhiệt** từ thể tích $2m^3$ đến $4m^3$ ở nhiệt độ $27^\circ C$. Công mà khối khí nhận được trong quá trình này là:

- A. 3456 J
- B. -3456 J
- C. 3645 J
- D. -3645 J

Trả lời câu 3

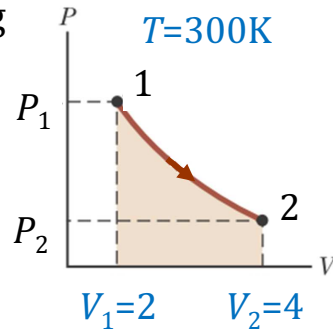
- Công do khí thực hiện trong quá trình đẳng nhiệt:

$$W = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = -2 \times 8,314 \times 300 \times \ln \frac{4}{2}$$

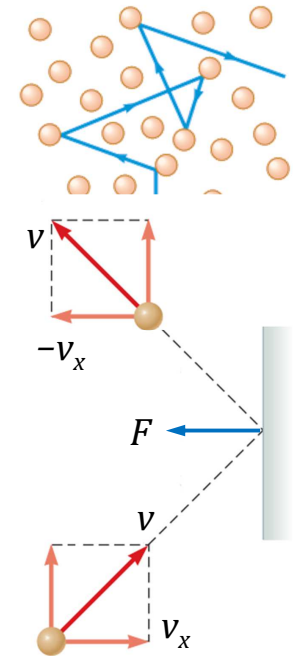
$$W = -3458(J)$$

- $W < 0$: khí thực hiện công.



3a. Mô hình khí lý tưởng

- Phân tử khí là *chất điểm chuyển động hỗn loạn*.
- Không tương tác với nhau*, trừ khi va chạm.
- Va chạm đàn hồi với thành bình*.
- Áp lực trung bình của các phân tử lên thành bình = áp suất khí.



3b. Phương trình căn bản

$$PV = \frac{2}{3} N \bar{K}$$

Động năng trung bình của phân tử khí

$$\bar{K} = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

- Phương trình trạng thái: $PV = NkT$

$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT$$

$$\Rightarrow \overline{v^2} = 3 \frac{kT}{m}$$

- Vận tốc *căn quân phương*: $v_c = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{3 \frac{kT}{m}}$

4a. Phân bố Maxwell - 1

- Tỷ lệ các phân tử khí có vận tốc trong khoảng từ v đến $v + dv$:

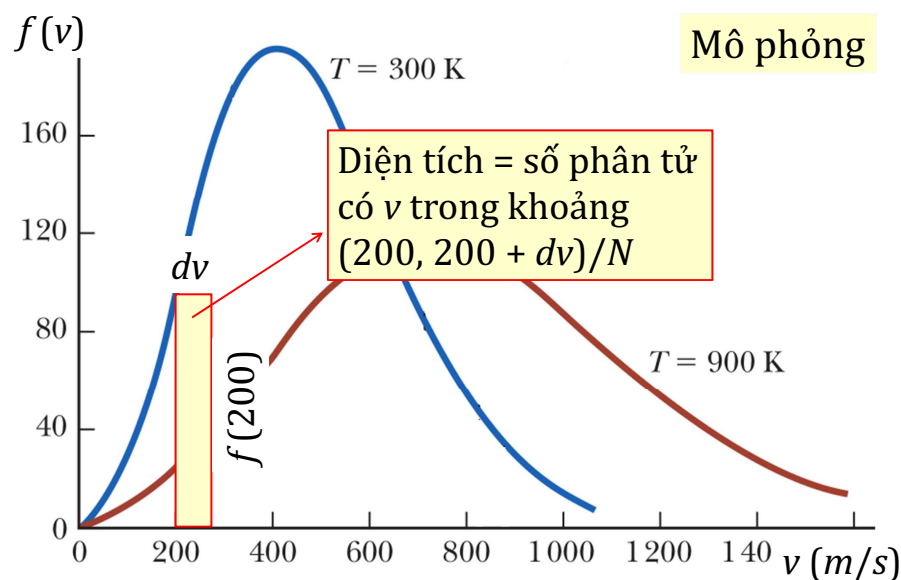
$$\frac{dN}{N} = f(v) dv$$

- $f(v)$ là hàm phân bố Maxwell:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)$$

- dN/N cũng là xác suất để tìm thấy một phân tử có vận tốc trong khoảng $(v, v + dv)$.

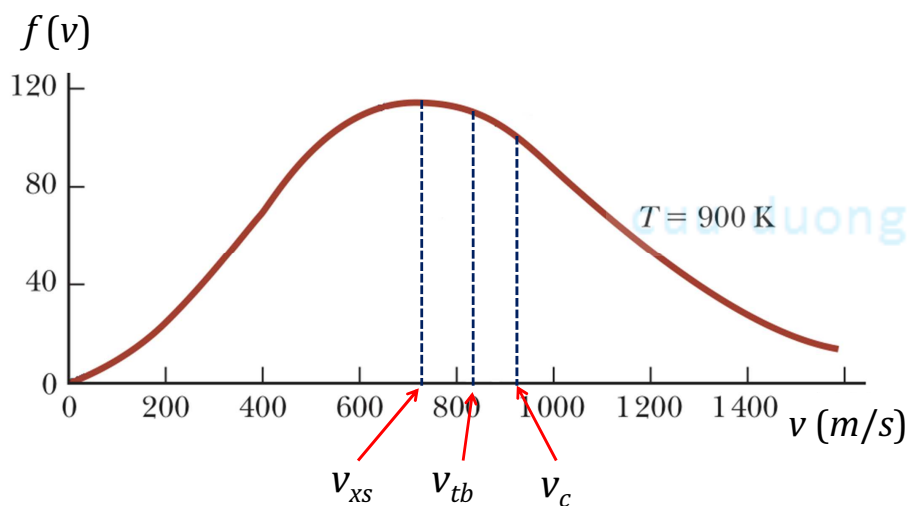
4a. Phân bố Maxwell - 2



4b. Các vận tốc đặc trưng

- Vận tốc có **xác suất lớn nhất** $v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1,41\sqrt{\frac{kT}{m}}$
- Vận tốc **trung bình** $v_{tb} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 1,60\sqrt{\frac{kT}{m}}$
- Vận tốc **căn quân phương** $v_c = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1,73\sqrt{\frac{kT}{m}}$

4b. Các vận tốc đặc trưng (tt)



Câu hỏi 5

Một khối khí dẫn nổ đẳng áp cho đến khi thể tích tăng lên gấp 4 lần. Nếu vận tốc trung bình của phân tử khí lúc đầu là v thì lúc sau sẽ là:

- A. v
- B. $3v$
- C. $2v$
- D. $v/2$

Trả lời câu 5

- Dãn nở đẳng áp:

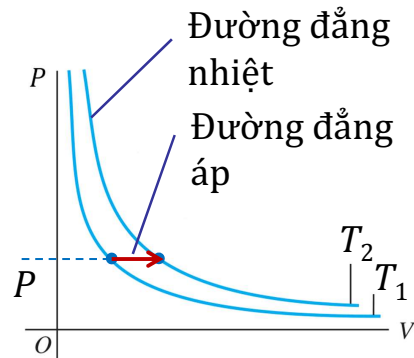
$$P = \frac{nRT_1}{V_1} = \frac{nRT_2}{V_2}$$

$$\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} = 4$$

- Vận tốc trung bình:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \Rightarrow \frac{\bar{v}_2}{\bar{v}_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = 2$$

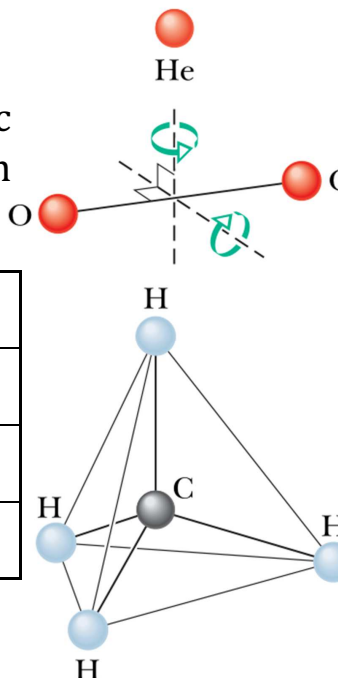
Trả lời: C



5. Số bậc tự do – 1

- Số bậc tự do i : số tọa độ độc lập cần để mô tả chuyển động của một phân tử khí.

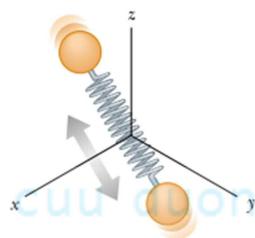
Phân tử	$i_{\text{tịnh tiến}}$	i_{quay}	i
He	3	0	3
O ₂	3	2	5
CH ₄	3	3	6



cuu duong than cong . com

5. Số bậc tự do – 2

- Ngoài ra, ở nhiệt độ cao các nguyên tử trong phân tử còn có thể dao động nữa.
- Khi đó ta phải thêm các bậc tự do dao động.
- Chẳng hạn số bậc tự do của O₂ sẽ là:



$$i = 3 + 2 + 1 = 6$$

tịnh tiến

quay

dao động

6a. Định luật phân đều năng lượng

- Năng lượng trung bình của một phân tử khí theo mỗi bậc tự do tịnh tiến là $\frac{1}{2}kT$.
- Mở rộng cho quay và dao động ta có:

Bậc tự do	Năng lượng trung bình
Tịnh tiến	$\frac{1}{2}kT$
Quay	$\frac{1}{2}kT$
Dao động	$kT = \frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT$

Động năng = Thế năng = $\frac{1}{2}kT$

6b. Nội năng của khí lý tưởng

- Năng lượng của một phân tử khí = tổng năng lượng theo các bậc tự do:

$$u = i_{tt} \frac{kT}{2} + i_q \frac{kT}{2} + i_{dd} kT$$

$$u = (i_{tt} + i_q + 2i_{dd}) \frac{kT}{2}$$

- Suy ra nội năng của khí lý tưởng:

$$U = (i_{tt} + i_q + 2i_{dd}) \frac{NkT}{2}$$

Nội năng khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ

cuu duong than cong . com

Câu hỏi 6

Trong một bình kín có 20 g khí N_2 và 32 g khí O_2 . Tìm độ biến thiên nội năng của hỗn hợp khí khi nhiệt độ của hỗn hợp giảm đi $28^\circ C$:

- A. 997,2 J
- B. 997,2 cal
- C. 99,72 J
- D. 99,72 cal

Trả lời câu 6

- Bỏ qua dao động, nội năng của hỗn hợp:

$$U = \frac{5}{2} (n_{O_2} + n_{N_2}) RT \quad \Delta U = \frac{5}{2} (n_{O_2} + n_{N_2}) R \Delta T$$

$$n_{N_2} = 20/28 = 0,714$$

$$n_{O_2} = 32/32 = 1$$

$$\Delta U = 2,5(1 + 0,714)(8,314)(28) = 997,5(J)$$

- Trả lời: A

Câu hỏi 7

Một kmol khí lý tưởng lưỡng nguyên tử trải qua hai quá trình biến đổi liên tiếp:

(a) đẳng áp $(P, V) \rightarrow (P, 4V)$

(b) đẳng nhiệt $(P, 4V) \rightarrow (2P, 2V)$

Tìm độ biến thiên nội năng của khí.

- A. $33PV/2$
- B. $21PV/2$
- C. $27PV/2$
- D. $15PV/2$

Trả lời câu 7

$$U = 5nRT/2$$

$$\Delta U = 5nR\Delta T/2$$

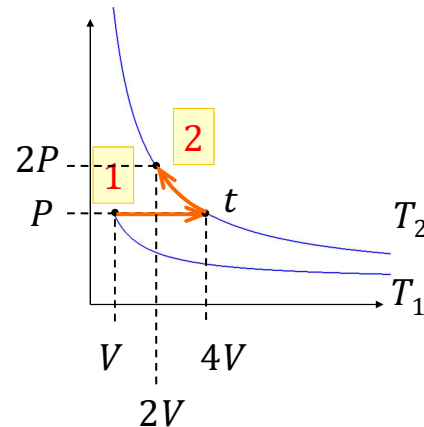
$$PV = nRT_1$$

$$P(4V) = nRT_2$$

$$(2P)(2V) = nRT_2$$

$$\Rightarrow \Delta T = 3PV/nR$$

$$\Rightarrow \Delta U = 15PV/2$$



7a. Nhiệt dung

- Nhiệt dung của một chất là lượng nhiệt cần cung cấp để nhiệt độ tăng lên một độ:

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

Đơn vị: J/K

- Nhiệt dung của một đơn vị khối lượng: *nhiệt dung riêng (J/kg.K)*.
- Nhiệt dung của một mol: *nhiệt dung mol (J/mol.K)*.

cuu duong than cong . com

7b. Nhiệt dung mol đẳng tích – 1

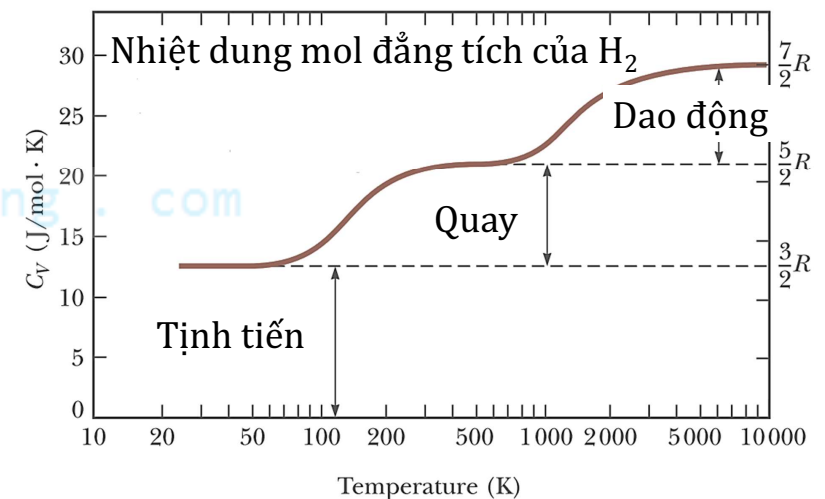
- Khi $V = \text{const}$ khí không thực hiện công, nhiệt cung cấp chuyển thành nội năng: $dQ = dU$
- Vậy nhiệt dung mol đẳng tích: $C_V = \frac{1}{n} \frac{dU}{dT}$
- Nội năng n mole khí lý tưởng:

$$U = (i_{tt} + i_q + 2i_{dd}) \frac{nRT}{2}$$

$$C_V = (i_{tt} + i_q + 2i_{dd}) \frac{R}{2}$$

$$U = nC_V T$$

7b. Nhiệt dung mol đẳng tích – 2



7c. Nhiệt dung mol đẳng áp

$$C_p = C_v + R$$

- Bảo toàn năng lượng:

$$dU = dQ + dW \longleftrightarrow nC_v dT = nC_p dT - nRdT$$

- Mặt khác:

$$dQ = nC_p dT$$

$$dU = nC_v dT$$

$$nC_p dT = n(C_v + R)dT$$

- Công do khí thực hiện khi $P = \text{const}$:

$$dW = -PdV = -nRdT$$

8. Quá trình đoạn nhiệt

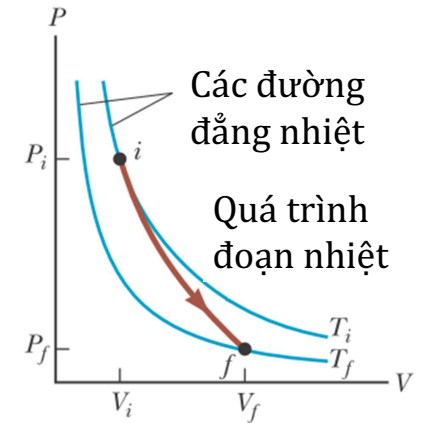
- Phương trình đường đoạn nhiệt:

$$PV^\gamma = \text{const}$$

- Chỉ số đoạn nhiệt:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

- Nở đoạn nhiệt làm giảm nhiệt độ.



$\gamma > 1$: đường đoạn nhiệt dốc hơn đường đẳng nhiệt

Tóm tắt

$$PV = NkT = nRT$$

$$W = -\int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$$U = nC_v T$$

$$C_v = \left(i_{tt} + i_q + 2i_{dd} \right) \frac{R}{2}$$

$$PV = \frac{2}{3} N\bar{K}$$

$$v_{\text{đặc trưng}} = a\sqrt{kT/m}$$

$$C_p = C_v + R$$

$$PV^\gamma = \text{const}$$

	v_{sx}	v_{tb}	v_c
a	1,41	1,60	1,73