

CHƯƠNG 5.

NHỮNG ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

Nội dung giảng dạy

5.1. Một số khái niệm.

5.2. Các định luật thực nghiệm về chất khí.

5.3. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng.

5.1. Một số khái niệm

5.1.1. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

Trạng thái của một hệ được xác định bởi tập hợp các tính chất vật lý của hệ. *Mỗi tính chất vật lý của hệ được đặc trưng bởi một đại lượng vật lý, và được gọi là thông số trạng thái.* Ví dụ như các thông số trạng thái của một khối khí xác định là thể tích V , áp suất p , nhiệt độ T .

Các thông số trạng thái có mối liên hệ với nhau. *Hệ thức thể hiện sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các thông số trạng thái của một hệ gọi là phương trình trạng thái của hệ:*

$$f(p, V, T) = 0. \quad (5.1)$$

5.1.2. Áp suất

Áp suất là đại lượng có giá trị bằng lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích: $p = F_n / S$. Dựa vào bài toán va chạm, tính lực va đập của phân tử lên thành bình, người ta tính được áp suất chất khí tác dụng lên thành bình là

$$p = \frac{2}{3} n \overline{W_d}, \quad (5.2)$$

với n là mật độ phân tử khí, $\overline{W_d}$ là động năng trung bình chuyển động tịnh tiến của phân tử. Phương trình (5.2) được gọi là phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử chất khí.

Đơn vị của áp suất theo hệ SI là $N/m^2 \equiv Pa$. Ngoài ra, có các đơn vị khác như:

$$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Tor (Torricelli)}.$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mmHg}.$$

$$1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 = 736 \text{ mmHg}.$$

5.1.3. Nhiệt độ

Ta biết rằng các phân tử cấu tạo nên vật luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng. Để đặc trưng cho mức độ chuyển động này của các phân tử, người ta dùng đại lượng vật

lý gọi là nhiệt độ. *Nhiệt độ là đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật.*

Nhiệt độ càng cao các phân tử chuyển động càng nhanh. Người ta quy ước, nhiệt độ được tính bằng $\frac{2}{3} \overline{W_d}$.

Dụng cụ để đo nhiệt độ được gọi là nhiệt kế. Người ta thường dùng nhiệt kế bách phân để đo nhiệt độ. Đơn vị của thang đo này là độ Cenciuss ($^{\circ}\text{C}$). Thang nhiệt độ bách phân được xây dựng như sau: dùng một ống hình trụ đựng thủy ngân hoặc rượu, đặt ống vào nước đá đang tan, sau đó vào nước đang sôi trong điều kiện áp suất tiêu chuẩn (0°C , 1 atm). Độ chênh lệch chiều cao của thủy ngân trong ống được chia làm 100 phần, mỗi phần là 1°C . Thang nhiệt độ bách phân: ký hiệu là t , đơn vị là $^{\circ}\text{C}$.

Trong kỹ thuật, người ta thường dùng nhiệt độ tuyệt đối hay nhiệt độ Kenvin (K). Gọi t là nhiệt độ trong thang đo bách phân, T là nhiệt độ tuyệt đối tương ứng, ta có

$$T = t + 273,16. \quad (5.3)$$

Nhiệt độ được tính qua nhiệt độ kelvin là bằng kT , với $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ là hằng số Boltzmann.

Ngoài ra, các nước Châu Âu còn sử dụng thang nhiệt độ Fakenhai ($^{\circ}\text{F}$) nhỏ hơn thang nhiệt độ Cenciuss ($^{\circ}\text{C}$). Mối liên hệ giữa thang nhiệt độ Cenciuss ($^{\circ}\text{C}$) thang nhiệt độ Fakenhai ($^{\circ}\text{F}$) là $T_F = \frac{9}{5}t + 32$.

Câu hỏi:

- ✓ Nhiệt độ bách phân t , và nhiệt độ tuyệt đối T có thể bằng 0 và âm không?
- ✓ Khi nhiệt độ của một khối khí tăng thì tốc độ của phân tử khí thay đổi thế nào?

5.1.4. kmol

kmol là lượng vật chất chứa số phân tử bằng số Avogadro: $N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$.

Khối lượng một kmol H_2 là $\mu = 2\text{kg}$, He là $\mu = 4\text{kg}$, N_2 là $\mu = 28\text{kg}$, O_2 là $\mu = 32\text{kg}$.

5.2. Các định luật thực nghiệm về chất khí

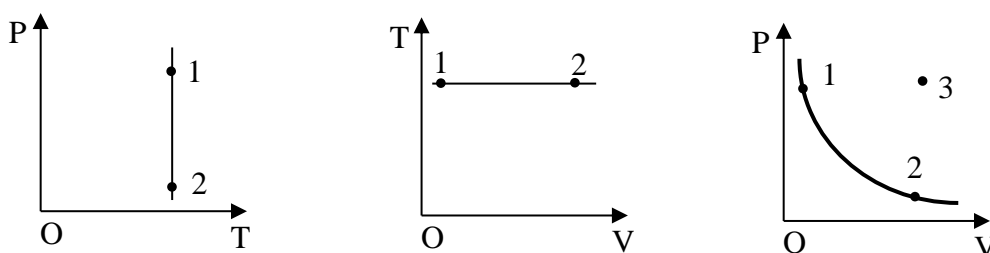
5.2.1. Định luật Boyle-Mariotte (quá trình đẳng nhiệt)

Quá trình đẳng nhiệt là quá trình hệ biến đổi trạng thái nhưng nhiệt độ không thay đổi ($T = \text{const}$). Theo thực nghiệm, *trong quá trình đẳng nhiệt của một khối khí, tích số áp suất và thể tích khối khí là một số không đổi.*

Biểu thức định luật

$$p \cdot V = \text{const} \text{ hay } p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2. \quad (5.4)$$

Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng nhiệt gọi là đường đẳng nhiệt. Tập hợp các đường đẳng nhiệt ở các nhiệt độ khác nhau của một hệ gọi là họ đường đẳng nhiệt.



Câu hỏi: So sánh các nhiệt độ T_1 , T_2 và T_3 .

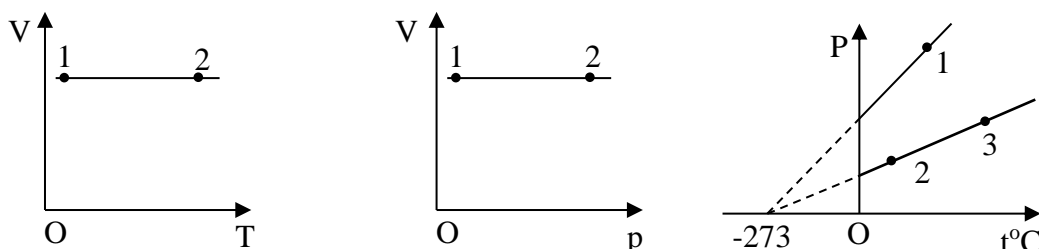
5.2.2. Định luật Charles (quá trình đẳng tích)

Quá trình đẳng tích là quá trình hệ biến đổi trạng thái nhưng giữ thể tích không đổi ($V = \text{const}$). Theo thực nghiệm, *trong quá trình đẳng tích của một khối khí, tỷ số áp suất và nhiệt độ là một số không đổi.*

Biểu thức định luật

$$p/T = \text{const} \text{ hay } p_1 / T_1 = p_2 / T_2. \quad (5.5)$$

Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng tích gọi là đường đẳng tích. Tập hợp các đường đẳng tích ở các thể tích khác nhau của một hệ gọi là họ đường đẳng tích.



Câu hỏi:

- ✓ So sánh V_1 , V_2 và V_3 .
- ✓ Giải thích tại sao trong quá trình đẳng tích, khi nhiệt độ khối khí tăng lên thì áp suất của khối khí cũng tăng lên.

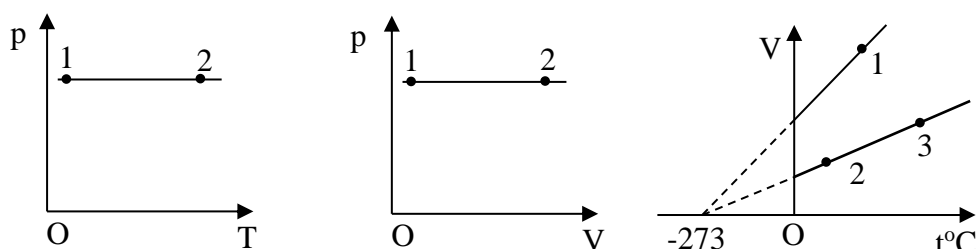
5.2.3. Định luật Gay – Lussac (quá trình đẳng áp)

Quá trình đẳng áp là quá trình hệ biến đổi trạng thái nhưng áp suất không thay đổi ($p = \text{const}$). Theo thực nghiệm, trong quá trình đẳng áp của một khối khí, tỷ số thể tích và nhiệt độ là một số không đổi.

Biểu thức định luật

$$V/T = \text{const} \text{ hay } V_1/T_1 = V_2/T_2. \quad (5.6)$$

Đồ thị biểu diễn quá trình đẳng áp gọi là đường đẳng áp. Tập hợp các đường đẳng áp ở các áp suất khác nhau của một hệ gọi là họ đường đẳng áp.



Câu hỏi:

- ✓ So sánh p_1 , p_2 và p_3 .
- ✓ Giải thích tại sao trong quá trình đẳng áp khi nhiệt độ khối khí tăng lên mà áp suất khối khí lại có thể không đổi.

5.3. Phương trình trạng thái khí lý tưởng

5.3.1. Khí lý tưởng

Khí lý tưởng là khí mà sự tương tác giữa các phân tử khí, cũng như kích thước phân tử khí đều không đáng kể và có thể bỏ qua.

Khí lý tưởng tuân theo chính xác ba định luật thực nghiệm.

Thực tế không có khí lý tưởng. Khí thực ở điều kiện áp suất thấp (loãng) và nhiệt độ phòng có thể coi là khí lý tưởng.

5.3.2. Thiết lập phương trình trạng thái khí lý tưởng

Từ phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử chất khí: $p = \frac{2}{3} n \overline{W}$ mà

$$\overline{W} = \frac{3}{2} kT \Rightarrow p = nkT = \frac{N}{V} kT \text{ hay}$$

$$pV = NkT \quad (5.7)$$

là phương trình trạng thái, với N là tổng số phân tử khí chứa trong thể tích khí V .

$$\text{Mặt khác, số kmol} = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu} \Rightarrow N = \frac{m}{\mu} N_A. \text{ Vậy } pV = \frac{m}{\mu} N_A kT, \text{ với}$$

$R = N_A k = 6,02 \cdot 10^{26} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \approx 8,31 \cdot 10^3 \text{ J/kmol.K}$ gọi là hằng số chung của các khí.

Phương trình

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (5.8)$$

gọi là phương trình Clapêrôn – Mendêlêep.

Điều kiện tiêu chuẩn:

$$t = 0^\circ\text{C}, p = 1\text{atm} = 1,033\text{at}, V = 22,4\text{m}^3/\text{kmol} = 22400 \text{ l/kmol}.$$

Hằng số chung theo đơn vị hỗn hợp: $R = 0,0848 \text{ lít.at / mol.K}$.

5.3.3. Hệ quả

Từ phương trình trạng thái của khí lý tưởng, người ta có thể giải thích ba định luật thực nghiệm của chất khí. Do khí thực chỉ gần đúng với khí lý tưởng ở điều kiện áp suất không quá lớn và nhiệt độ không quá thấp, nên áp suất càng cao và nhiệt độ càng thấp thì sự sai khác giữa lý thuyết và thực nghiệm càng nhiều. Tất nhiên, còn nhiều yếu tố khác ảnh hưởng đến sai số của thực nghiệm.

BÀI TẬP CHƯƠNG 5

1. Một bình hình trụ, đường kính 20 cm, dài 40 cm, chứa 50 g khí oxi ở 20°C.

- Xác định các thông số trạng thái của khí oxi trong bình.
- Có bao nhiêu mol, bao nhiêu phân tử, bao nhiêu nguyên tử oxi trong bình?
- Mật độ của oxi trong bình là bao nhiêu?

Đáp án : a. 293 K; 0,01257 m³; 303 kPa b. 1,6 mol; 9,4.10²³ phân tử; 18,8.10²³ nguyên tử c. 7,5.10²⁵ m⁻³

2. Một chất khí có các thông số trạng thái ban đầu p_1 , V_1 và T_1 giãn nở đẳng nhiệt cho đến khi thể tích tăng gấp đôi. Hãy xác định các thông số trạng thái lúc cuối, và biểu diễn quá trình này bằng đồ thị trong hệ trục (p,V).

Đáp án: $T_2 = T_1$; $V_2 = 2V_1$; $p_2 = 0.5p_1$

3. Một bình chứa 2 mol khí ở áp suất 1 atm và nhiệt độ 30°C.

- Thể tích của bình là bao nhiêu?
- Tăng nhiệt độ của khí lên thêm 100°C? Hãy xác định các thông số trạng thái lúc cuối, và biểu diễn quá trình này bằng đồ thị trong hệ trục (p,T).

Đáp án: a. 0,05 m³ b. 0,05 m³; 403 K; 1,3 atm

4. Một chất khí ở 100°C chứa đầy thể tích V_0 . Nếu áp suất được giữ không đổi, thì thể tích là bao nhiêu nếu (a) nhiệt độ Celsius tăng gấp đôi và (b) nhiệt độ Kelvin tăng gấp đôi? Hãy biểu diễn hai quá trình này bằng đồ thị trong hệ trục (V,T).

Đáp án: a. 1.27 V_0 b. 2 V_0

5. 0,004 mol khí trải qua quá trình thể hiện như trong hình Ex5.6.

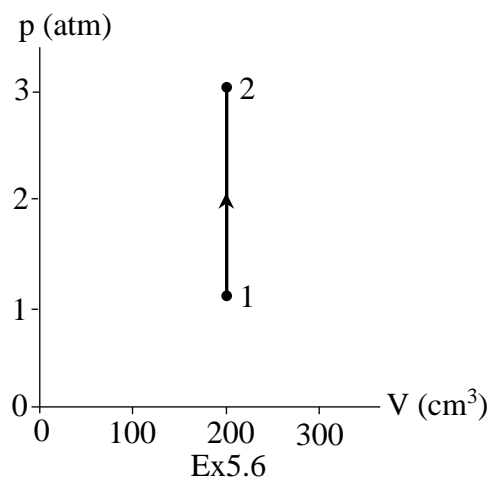
- Đây là loại quá trình gì?
- Nhiệt độ ban đầu và cuối cùng là bao nhiêu?

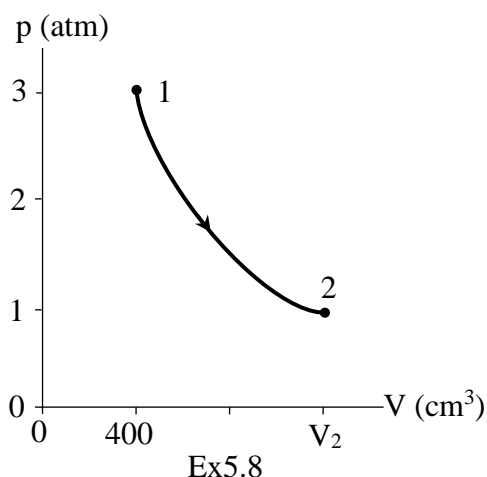
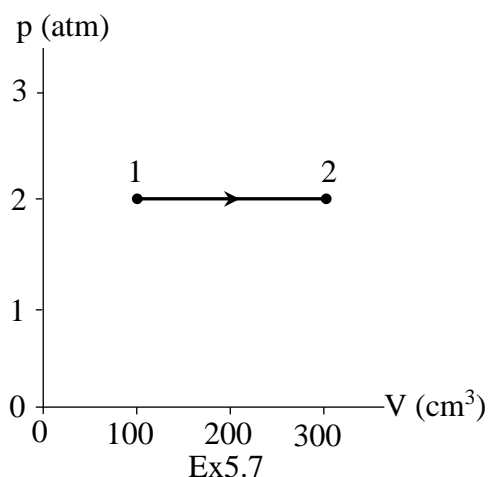
Đáp án: a. Đẳng tích b. 336°C và 1556°C

6. Một chất khí có nhiệt độ ban đầu là 900°C trải qua quá trình như trong hình vẽ Ex5.7.

- Đây là loại quá trình gì?
- Nhiệt độ cuối là bao nhiêu?
- Có bao nhiêu mol khí?

Đáp án: a. Đẳng áp b. 3246°C c. 3,18.10⁻³ mol





7. 0,02 mol khí trải qua quá trình thể hiện trong hình Ex5.8.

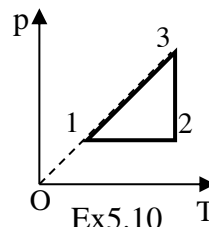
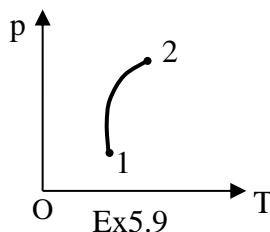
- Đây là loại quá trình gì?
- Nhiệt độ cuối cùng là bao nhiêu °C?
- Thể tích cuối cùng V_2 là bao nhiêu?

Đáp án: a. Đẳng nhiệt b. 458°C c. 1200 cm³

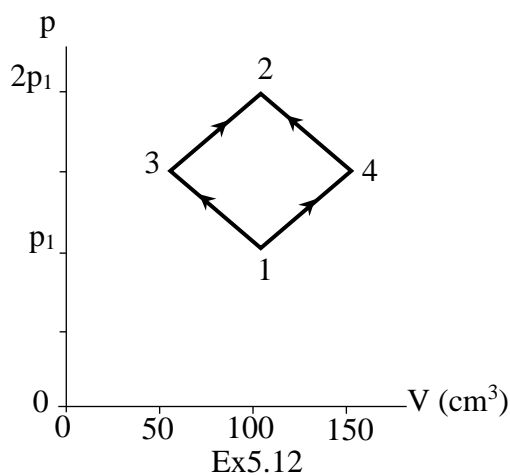
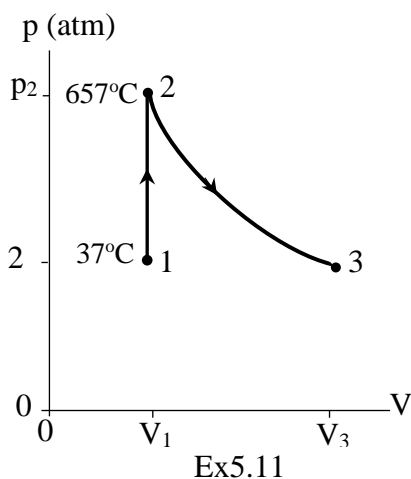
8. Trạng thái của cùng một khối lượng khí được biểu diễn bằng những điểm 1 và 2 trên đồ thị (P,T) như hình Ex5.9. Khi đun nóng, khí thay đổi từ trạng thái 1 tới trạng thái 2. Nhận xét sự thay đổi thể tích của khí.

Đáp án: $V_2 < V_1$

9. 1 kmol khí lý tưởng thực hiện chu trình biến đổi trạng thái như hình Ex5.10. Hãy nêu đặc điểm các quá trình thành phần trong chu trình



này, và vẽ đồ thị chu trình này trong các hệ trục (P, V), (V,T).



10.8 g khí Heli trải qua các quá trình $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ như trong hình Ex5.11. Xác định các

giá trị V_1 , V_3 , p_2 , và T_3 .

Đáp án: $0,025 \text{ m}^3$; $0,076 \text{ m}^3$; 6 atm ; 657°C

- 11.** Hình Ex5.12 cho thấy hai quá trình khác nhau trong đó 1 g khí nitơ chuyển từ trạng thái 1 sang trạng thái 2. Nhiệt độ của trạng thái 1 là 25°C . (a) áp suất p_1 và (b) các nhiệt độ (tính theo $^\circ\text{C}$) T_2 , T_3 và T_4 là bao nhiêu?

Đáp án: a. 884 kPa b. 596 K ; $223,5 \text{ K}$; $670,5 \text{ K}$

- 12.** Tổng dung tích phổi của một người trưởng thành bình thường là 5 lít. Khoảng 20% không khí là oxi. Ở mực nước biển và ở nhiệt độ cơ thể là 37°C , phổi có bao nhiêu phân tử oxi ở cuối một lần hít mạnh?

Đáp án: $2,4 \cdot 10^{22}$ phân tử.

- 13.** Trong bình A dung tích 3 lít chứa khí ở áp suất 2 atm. Trong bình B dung tích 4 lít chứa cùng chất khí ở áp suất 1 atm. Nhiệt độ trong hai bình giống nhau. Tính áp suất của chất khí nếu cho hai bình thông với nhau.

Đáp án: $1,43 \text{ atm}$.

- 14.** Một xi lanh đặt thẳng đứng, đường kính 24 cm, được bịt kín ở phía trên bởi một piston nặng 20 kg không ma sát. Piston cao hơn 84 cm so với đáy xi lanh khi nhiệt độ khí bên trong là 303°C . Không khí phía trên piston có áp suất 1 atm.

a. Áp suất khí bên trong xi lanh là bao nhiêu?

b. Chiều cao của piston sẽ là bao nhiêu nếu nhiệt độ trong xi lanh là 15°C ?

Đáp án: a. 105600 Pa b. 42 cm

- 15.** Hai bình cầu có dung tích 200 cm^3 và 100 cm^3 nối với nhau bằng một ống nhỏ trong đó có một vách ngăn xốp cách nhiệt. Nhờ vách ngăn này áp suất của khí trong hai bình như nhau, song nhiệt độ thì có thể khác nhau. Cả hai bình chứa ôxy ở nhiệt độ 27°C và có áp suất bằng 760 mmHg . Người ta đặt bình nhỏ vào chậu nước đá ở 0°C , đặt bình lớn vào hơi nước sôi ở 100°C . Áp suất của hệ là bao nhiêu? Bỏ qua các giãn nở vì nhiệt của bình chứa.

Đáp án: 842 mmHg

- 16.** Nung nóng một bình đựng khí hydro nén có thể tích 10 lít ở nhiệt độ 7°C , áp suất 50 at. Vì bình hở nên một phần khí hydro thoát ra ngoài. Hydro còn lại trong bình có nhiệt độ 17°C còn áp suất vẫn như cũ. Tính khối lượng hydro thoát ra ngoài.

Đáp án: $1,46 \text{ g}$.

- 17.** Trong ống thủy tinh, một đầu kín, có chứa khối khí nào đó. Miệng ống được nhúng

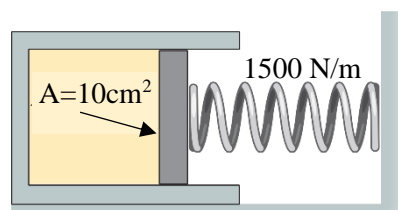
vào chậu thủy ngân sao cho phần còn lại của ống ở trên mặt thủy ngân là 10 cm. Nếu khí ở 0°C thì mực thủy ngân trong ống cao hơn mực thủy ngân trong chậu là 5 cm. Phải tăng nhiệt độ của khí trong ống đến bao nhiêu để khí đó đẩy mực thủy ngân trong ống ngang với mực thủy ngân trong chậu. Biết áp suất khí quyển bằng 750 mmHg. Mực thủy ngân trong chậu coi như dâng lên không đáng kể.

Đáp án: 585 K.

- 18.** Hai bình chứa cùng một chất khí được nối với nhau bởi một ống nằm ngang có đường kính 5 mm. Trong ống có một giọt thủy ngân có thể dịch chuyển được. Lúc đầu, khí trong hai bình cùng ở nhiệt độ 27°C , giọt thủy ngân nằm yên ở một vị trí nào đó và thể tích của khí trong mỗi bình (kể cả phần ống nằm ngang) đều bằng 0,2 lít. Tính khoảng dịch chuyển của giọt thủy ngân nếu nhiệt độ khí trong một bình tăng thêm 2° còn nhiệt độ khí trong bình kia giảm bớt 2° . Sự giãn nở của bình là không đáng kể.

Đáp án: 6,8 cm.

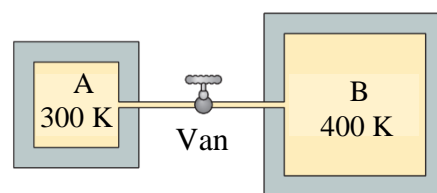
- 19.** Xi lanh trong hình vẽ Ex5.19 có một piston chuyển động được gắn với một lò xo. Diện tích tiết diện của piston là 10 cm^2 . Xi lanh chứa 0,004 mol khí. Độ cứng của lò xo là 1500 N/m. Ở 20°C lò xo không bị nén cũng như không bị giãn. Lò xo bị nén bao nhiêu nếu nâng nhiệt độ khí lên 100°C ?



Ex5.19

Đáp án: 1,02 cm

- 20.** Các bình A và B trong hình Ex5.20 chứa cùng một loại khí. Thể tích của B gấp bốn lần thể tích của A. Hai thùng được nối với nhau bằng một ống nhỏ (thể tích không đáng kể) và có một van được đóng lại. Khí trong bình A ở nhiệt độ 300 K và áp suất 10^5 Pa . Khí trong bình B ở nhiệt độ 400 K và áp suất $5 \cdot 10^5\text{ Pa}$. Các bếp lò sẽ duy trì nhiệt độ của A và B ngay cả khi mở van. Sau khi van được mở, khí sẽ lưu thông đến khi A và B có áp suất bằng nhau. Áp suất khí lúc cuối là bao nhiêu?



Ex5.20

Đáp số: $4 \cdot 10^5\text{ Pa}$.