

# Thuyết động học phân tử

Ban chuyên môn Vật lý – The Gifted Battlefield

Xuất bản vào Ngày 6 tháng 10 năm 2022

## I. Thuyết động học chất khí

### 1. Chất khí

#### a. Tính chất của chất khí

- Khối lượng riêng  $\rho \ll \rho_{\text{lỏng}}, \rho_{\text{rắn}}$
- Rất dễ nén
- Có tính bành trướng
- Mol là lượng chất có chứa  $N_A$  phân tử của chất đó ( $N_A =$  số nguyên tử cacbon chứa trong 12g, hay được biết như số Avogadro)

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \quad (\text{phân tử})$$

- Điều kiện chuẩn:  $P_0 = 1\text{atm}; t_0 = 0^\circ\text{C}$  thì 1 mol khí chiếm 22,4l
- Số mol: Kí hiệu  $\nu$  hoặc  $n$

$$\nu = n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

Với  $M$  là khối lượng mol 1 chất

#### b. Khí lí tưởng

- Là chất khí mà trong đó mỗi phân tử khí được coi như là một chất điểm, bỏ qua kích thước của chúng.

- Các phân tử chuyển động hỗn loạn, không ngừng
- Bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử, coi chúng tương tác nhau khi va chạm và các va chạm coi như đàn hồi ( coi thế năng  $U = 0$  ).
- Năng lượng của khí lí tưởng là tổng động năng các phân tử khí.
- Các phân tử chuyển động nhanh, va chạm đàn hồi lẫn nhau và với thành bình, tạo áp suất lên thành bình.

### c. Khí thực

Ở phần đầu của nhiệt học phân tử, ta chủ yếu sẽ tập trung nhiều ở khí lí tưởng hơn là khí thực nên ta sẽ chỉ tìm hiểu vài điểm khác nhau cơ bản giữa khí thực và khí lí tưởng để tránh sự nhầm lẫn khi giải các bài tập nhiệt học phân tử:

- Tổng thể tích phân tử đáng kể so với thể tích bình chứa
- Giữa các phân tử có lực hút (đẩy)  $\rightarrow$  Hệ có 1 thế năng  $U \neq 0$

## 2. Thuyết động học phân tử chất khí

Năm 1738, Daniel Bernoulli xuất bản cuốn Hydrodynamica, đặt nền móng cho Thuyết động học phân tử chất khí. Bernoulli thừa nhận lý thuyết vẫn còn được dùng đến ngày nay là chất khí bao gồm rất nhiều các phân tử chuyển động liên tục theo mọi hướng, lực tác động của chúng lên bề mặt tạo nên áp suất, và nhiệt chính là động năng của chuyển động đó. Tuy nhiên, lý thuyết này đã không được chấp nhận ngay tại thời điểm đó, vì vẫn chưa có Định luật bảo toàn năng lượng, và các nhà khoa học vẫn chưa thể khẳng định sự va chạm giữa các phân tử với thành bình là chuyển động đàn hồi.

Thuyết động học phân tử chất khí được phát biểu như sau:

- Vật chất được cấu tạo từ các phân tử, giữa các phân tử luôn có lực hút và lực đẩy, và các phân tử luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng, được gọi là chuyển động nhiệt.
- Tùy theo độ lớn lực hút hoặc đẩy của các phân tử quyết định trạng thái của chất là rắn lỏng hay khí.
- Trạng thái của 1 chất được quyết định bởi nhiệt độ và áp suất.

## II. Các định luật cơ bản của chất khí

### 1. Định luật Boyle-Mariotte

Chúng ta đều biết rằng, khác với chất lỏng hay rắn, chất khí có tính chất dễ nén. Vậy nếu như chúng ta giữ nguyên nhiệt độ của khối khí mà thay đổi áp suất của nó, thì thể tích sẽ biến thiên như thế nào ?

Vào năm 1662, nhà vật lý người Anh Robert Boyle đã thí nghiệm để khảo sát tính chất này, từ đó phát hiện ra định luật Boyle. Năm 1676, Edme Mariotte, nhà vật lý người Pháp cũng tìm ra định luật này một cách độc lập. Định luật này sau đó được gọi là Định luật Boyle - Mariotte.

**Ở nhiệt độ không đổi, tích của áp suất  $p$  và thể tích  $V$  của một lượng khí xác định là một hằng số**

$$pV = \text{const} \quad (1.1)$$

Hay

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \dots = p_nV_n$$

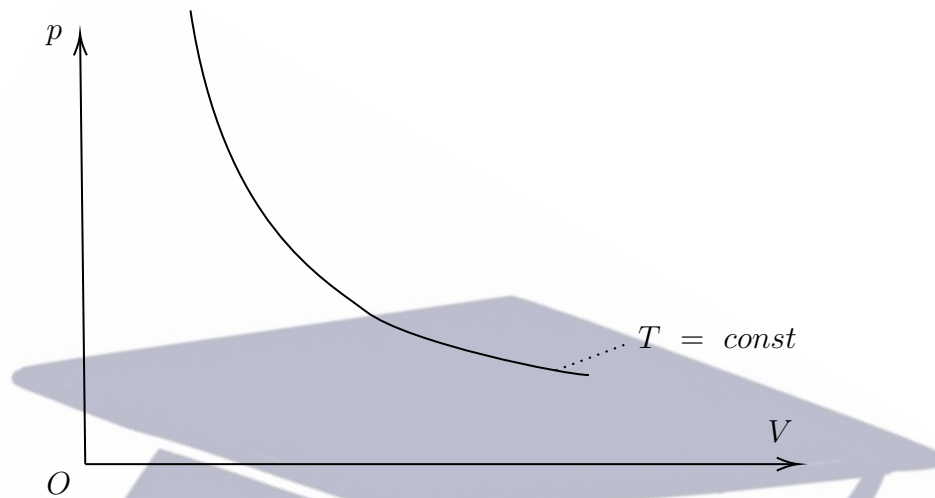
Với  $p_i$ ,  $V_i$  lần lượt áp suất và thể tích của vật ở trạng thái thứ  $i$ .

Các phép đo chính xác cho biết rằng, khi tăng áp suất từ 100 Pa đến  $10^5$  Pa thì tích  $pV$  có sự sai lệch nhỏ (tăng khoảng 0,1% đối với  $H_2$  và  $N_2$ , giảm khoảng 0,6% đối với khí  $CO_2$ ). Ở áp suất thấp sự sai lệch là rất nhỏ nên có thể bỏ qua.

**Lưu ý** Định luật Boyle-Mariotte cũng có thể được phát biểu lại thành: *Trong quá trình đẳng nhiệt, áp suất của một lượng khí xác định tỉ lệ nghịch với thể tích của chất khí đó.*

$$p \propto \frac{1}{V}$$

Ta có giản đồ  $p - V$  cho quá trình đẳng nhiệt như sau:



## 2. Định luật Charles

Định luật Boyle-Mariotte cho thấy mối liên hệ giữa áp suất và thể tích của chất khí khi nhiệt độ không đổi. Vậy nếu như ta giữ nguyên thể tích và thay đổi nhiệt độ thì áp suất sẽ biến thiên như thế nào. Jacques Charles (1746-1823), nhà vật lý người Pháp, đã khảo sát vấn đề này và từ đó đưa ra định luật mang tên ông *Định luật Charles*

Định luật này nói rằng:

**Với một lượng khí có thể tích không đổi thì áp suất  $p$  phụ thuộc vào nhiệt độ theo công thức**

$$p = p_0(1 - \gamma t) \quad (2.2)$$

Với  $\left\{ \begin{array}{l} p_0 \text{ là áp suất của chất khí ở nhiệt độ } 0 \text{ độ C} \\ \gamma \text{ có giá trị như nhau với mọi chất khí và bằng } \frac{1}{173} \text{ độ}^{-1}, \text{ được gọi là hệ số tăng áp đẳng tích} \end{array} \right.$

Đối với khí thực, Định luật Charles chỉ là gần đúng.

**Định nghĩa khí lý tưởng** (theo quan điểm vĩ mô) *Khí lý tưởng là khí tuân đúng theo hai định luật Boyle - Mariotte và Charles*

Các khí thực có tính chất gần đúng với khí lý tưởng tại áp suất không quá cao và nhiệt độ không quá thấp.

### Nhiệt độ tuyệt đối

Từ công thức (2.2), dễ thấy tại nhiệt độ  $t = -273^\circ\text{C}$  áp suất  $p$  sẽ có giá trị bằng 0. Ta đã biết rằng, khi nhiệt độ càng giảm, năng lượng của các phân tử giảm dần. áp suất khí từ đó cũng sẽ giảm theo. Khi nhiệt độ đến  $-273^\circ\text{C}$ , các phân tử sẽ ngừng chuyển động,

và điều đó hiển nhiên là không thể xảy ra. Nhiệt độ  $-273^{\circ}\text{C}$  chính là nhiệt độ thấp nhất và được gọi là không độ tuyệt đối. Sau đó, William Thomson, nam tước Kelvin thứ nhất, đã đề xuất một thang đo mới dựa trên điểm không tuyệt đối, *Nhiệt giai Kelvin*, trong đó khoảng cách nhiệt độ  $1\text{K}$  tương ứng với  $1^{\circ}\text{C}$  và  $0\text{K}$  tương ứng với  $-273^{\circ}\text{C}$  (chính xác hơn là  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ).

Công thức liên hệ giữa số đo nhiệt giai Kelvin  $T$  và số đo nhiệt độ Celsius  $t$

$$T = t + 273$$

Từ đây ta viết lại công thức (2.2) theo nhiệt giai Kelvin:

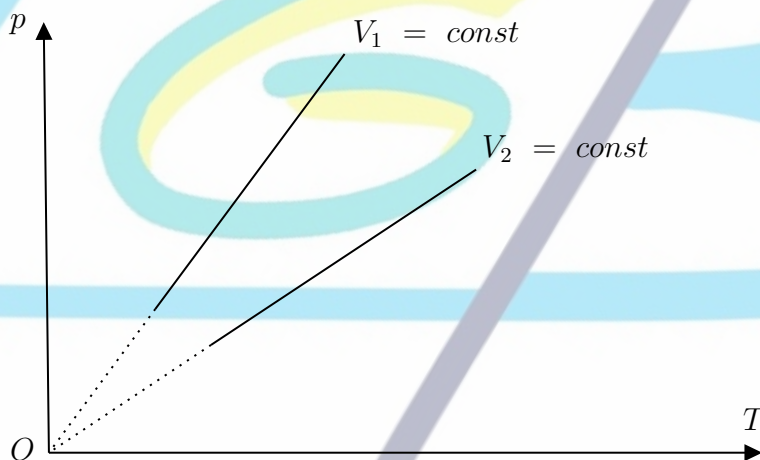
$$p = p_0 \left( 1 + \frac{1}{273}t \right) = p_0 \left( 1 + \frac{T - 273}{273} \right) = p_0 \frac{T}{273}$$

$$\Leftrightarrow \frac{p}{T} = \frac{p_0}{273} = \frac{p_0}{T_0}$$

Hay

$$\frac{p}{T} = \text{const}$$

Giản đồ  $p - T$  cho quá trình đẳng tích (thể tích không đổi) như sau



\*Lưu ý Quá trình đẳng tích nào có hệ số góc càng lớn thì thể tích sẽ càng nhỏ

### 3. Định luật Dalton

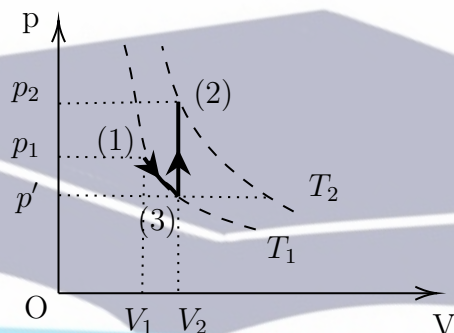
Định luật này phát biểu như sau *Áp suất của hỗn hợp khí (các thành phần không phản ứng hóa học với nhau) bằng tổng các áp suất riêng phần của chất khí có trong*

hỗn hợp:

$$p = \sum_i p_i$$

trong đó  $p_i$  là áp suất riêng phần của khí thứ  $i$

#### 4. Phương trình trạng thái khí lý tưởng



Xét 1 lượng khí chuyển từ trạng thái 1 ( $p_1, V_1, T_1$ ) sang trạng thái 2 ( $p_2, V_2, T_2$ ). Từ trạng thái ban đầu, cho khí biến đổi đẳng nhiệt sao cho thể tích khí ở  $V_2$ . Lúc này, khí đang ở trạng thái 3 ( $p', V_2, T_1$ ). Biến đổi khí đẳng tích đến khi khí ở trạng thái 2 ( $p_2, V_2, T_2$ ). Xét quá trình biến đổi đẳng nhiệt từ (1) sang (3), có:

$$p_1 V_1 = p' V_2 \quad (1)$$

Xét quá trình biến đổi đẳng tích từ (3) sang (2)

$$\frac{p'}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (2)$$

Từ (1) và (2), ta sẽ suy ra được 1 phương trình tổng quát:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (3)$$

Phương trình (3) được gọi là phương trình trạng thái khí lý tưởng. Phương trình trên là 1 phương trình tổng quát và ta có thể suy ngược lại ra các phương trình trong định luật Boyle-Mariotte định luật Charles và định luật Gay-Lucssac:

- Nếu nhiệt độ của khí không đổi ( $T_1 = T_2$ ):

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const} \quad (\text{Định luật Boyle-Mariotte})$$

- Nếu thể tích của khí không đổi ( $V_1 = V_2$ )

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \text{const} \quad (\text{Định luật Charles})$$

- Nếu áp suất của khí không đổi ( $p_1 = p_2$ )

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const} \quad (\text{Định luật Gay-Lussac})$$

## 5. Định luật Gay-Lussac

Xét một quá trình biến đổi đẳng áp (áp suất  $p = p_1 = \text{const}$ ),  
Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng, ta có

$$\frac{pV}{T} = C = \text{const}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{C}{p_1} = \text{const}$$

Thay  $T = t + 273$  vào ta có

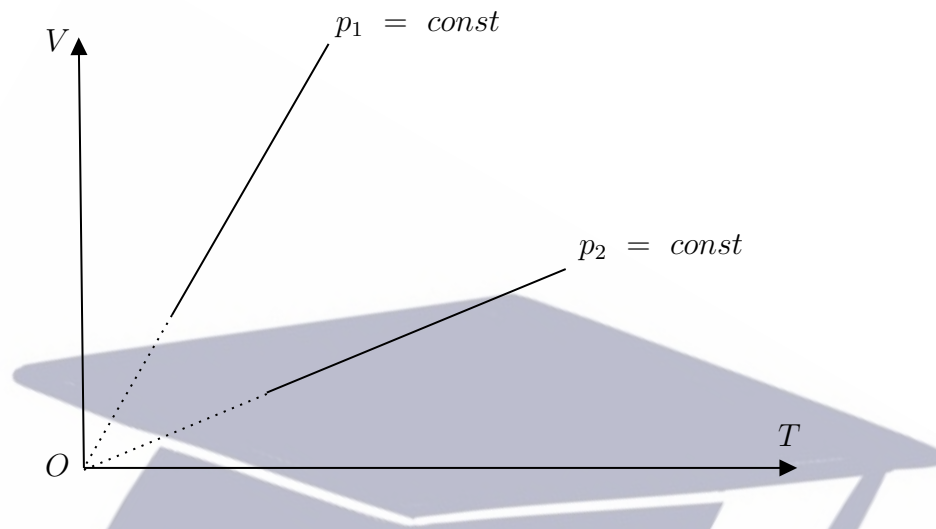
$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad (T_0 = 273)$$

$$\Rightarrow \frac{V}{t + 273} = \frac{V_0}{273}$$

$$\Leftrightarrow V = V_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right) = V_0 (1 + \beta t)$$

Trong đó  $\beta = \frac{1}{273} \text{ độ}^{-1}$  có giá trị không đổi với mọi khoảng nhiệt độ và mọi chất khí, gọi là hệ số nở đẳng áp của chất khí.

Giản đồ  $V - T$  cho quá trình đẳng áp như sau:



## 6. Phương trình Clapeyron - Mendeleev

Phương trình Clapeyron - Mendeleev thực chất chỉ là 1 dạng khác của phương trình trạng thái khí lí tưởng khi ta đã biết các thông số của một lượng khí lí tưởng ở trạng thái xác định nào đó. Cụ thể hơn, trạng thái đó là khi 1 lượng khí ở điều kiện tiêu chuẩn ( $T_o = 0^\circ C = 273K$ ;  $p_o = 1atm = 1,013 \cdot 10^5$ ;  $V = n \cdot 22,4l/mol = n \cdot 0,0224m^3/mol$ )

Giả sử lúc này khí đang có áp suất  $p$ , thể tích  $V$ , nhiệt độ  $T$ . Dùng phương trình trạng thái khí lí tưởng có:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_o V_o}{T_o} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot n \cdot 0,0224}{273} = n \cdot 8,31$$

Nếu đặt  $R = 8,31$  thì ta có:

$$\frac{pV}{T} = nR$$

Hay:

$$pV = nRT \quad (\text{Phương trình Clapeyron - Mendeleev})$$

$R$  ở đây có thể thay đổi tùy theo đơn vị của  $p$  và  $V$ ,  $T$ .  $R = 8,31$  nếu  $p$  có đơn vị là  $pa$ ,  $V$  có đơn vị là  $m^3$  và  $T$  có đơn vị là  $K$ . Nếu  $p$  có đơn vị là  $atm$ ,  $V$  là  $lt$  và  $T$  là  $K$  thì  $R = 0,0821$ . Từ công thức trên, ta có thể biến đổi về gần giống với phương trình trạng thái khí lí tưởng:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = nR$$

-Nhận xét:



+ Thực chất, phương trình clapyeron - Mendeleep cũng chỉ là 1 dạng của phương trình trạng thái khí lý tưởng với sự xuất hiện của 1 đại lượng nữa là số mol khí. Phương trình trên sẽ hữu dụng nếu ngoài các thông số cơ bản của khí, bài toán còn có thêm sự xuất hiện của số mol của khí. Nếu đề không nhắc gì tới số mol thì nghĩa là ta chỉ cần phương trình trạng thái khí lý tưởng để giải.

### III. Bài tập ví dụ

1/ Ba bình giống nhau được nối bằng các ống mỏng cách nhiệt. Mỗi bình chứa một lượng khí heli nào đó ở cùng nhiệt độ  $T=10K$ . Sau đó bình I được làm nóng đến nhiệt độ  $T_1 = 40K$ , bình II đến  $T_2 = 100K$  Bình III có nhiệt độ không đổi. Áp suất trong các bình thay đổi bao nhiêu lần?

2/ Dưới pitton của một xi lanh hình trụ chứa một lượng không khí. Ổ thành của xi lanh có hai van: van hút khí  $K_1$ . Và van thoát khí  $K_2$ . Van hút khí  $K_1$  mở khi độ chênh lệch áp suất của không khí ở ngoài so với xi lanh vượt quá  $\Delta_1 = 0, 2p_o$  ( $p_o$  là áp suất khí quyển). Van thoát khí  $K_2$  mở khi độ chênh lệch áp suất của không khí bên trong so với bên ngoài xi lanh vượt quá  $\Delta_2 = 0, 4p_o$ . Piton thực hiện nhiều lần chuyển động lên xuống rất chậm, sao cho thể tích không khí trong xi lanh thay đổi trong phạm vi  $V_o$  đến  $2V_o$ . Nhiệt độ của hệ không đổi và bằng  $T_o$ . Sau nhiều lần cho piton chuyển động lên xuống ổn định. Hãy:

a. Xác định giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của lượng không khí trong xi lanh (tính theo  $p_o, V_o, T_o$ )

b. Trả lời 2 câu hỏi của bài toán nếu  $\Delta_1 = 0, 4p_o$  còn  $\Delta_2 = 0, 2p_o$

3/ Một ống thủy tinh đặt thẳng đứng, được hàn kín ở hai đầu. Bên trong ống có chứa không khí, thủy ngân và chân không phân bố thành các phần đan xen như sau: phần 3 và phần 5 chứa không khí (xem như khí lý tưởng); phần 2 và phần 4 chứa thủy ngân, phần 1 là chân không.

Ban đầu các phần có chiều dài bằng nhau. Áp suất khí trong phần 5 là  $p_o$ . Người ta nghiêng ống một góc  $\alpha$  so với phương thẳng đứng thật chậm sao cho nhiệt độ các phần khí trong ống không thay đổi. Bỏ qua mọi ma sát.

a. Khi góc  $\alpha = \alpha_o$ , cột thủy ngân ở phần 2 bắt đầu chạm vào đầu trên của ống. Tính  $\alpha_o$

b. Khi  $\alpha = 60^\circ$ . Tính áp suất tác dụng lên đầu trên của ống

4/ Bình Dewar là một bình có hai thành tráng bạc ở mặt đối diện (để giảm bức xạ), giữa hai thành là khí kém (để giảm dẫn nhiệt). Áp suất của khí giữa hai thành bình nhỏ đến mức quãng đường tự do trung bình của phân tử lớn hơn kích thước của bình nhiều lần.

a. Thiết lập công thức cho sự phụ thuộc của mật độ dòng nhiệt truyền qua thành bình vào nhiệt độ ở hai thành bình và vào mật độ phân tử ở khoảng giữa hai thành bình và vào mật độ phân tử ở khoảng giữa hai thành bình. Khí giữa hai thành bình là đơn nguyên tử. (Mật độ dòng nhiệt bằng nhiệt lượng truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền nhiệt trong một đơn vị thời gian)

b. Hai bình Dewar giống hệt nhau đặt trong không khí ở 300 K. Một bình chứa đầy nitrogen lỏng (sôi ở 77,3 K dưới áp suất khí quyển), bình kia chứa đầy hidro lỏng (sôi ở 20,4 K dưới áp suất khí quyển). Tính tỉ số khối lượng  $M_1$  nitrogen bay hơi chia cho khối lượng  $M_2$  hidro bay hơi trong cùng thời gian. Bỏ qua sự dẫn nhiệt qua miệng bình. Biết ẩn nhiệt hóa hơi của nitrogen là  $L_1 = 2,0 \cdot 10^5$  J/kg, của hidro là  $L_2 = 4,5 \cdot 10^5$  J/kg

5/ Trong bình có hỗn hợp khí gồm  $m_1$  g  $N_2$  và  $m_2$  g  $H_2$ . Ở nhiệt độ  $T$  thì  $N_2$  phân li hoàn toàn thành khí đơn nguyên tử còn độ phân li của  $H_2$  không đáng kể, lúc này áp suất trong bình là  $p$ . Ở nhiệt độ  $2T$  thì cả  $N_2$  và  $H_2$  đều phân li hoàn toàn thành khí đơn nguyên tử, áp suất trong bình là  $3p$ .

6/ Khí lý tưởng có khối lượng mol  $\mu$  trong trường đều có gia tốc  $g$ . Tìm sự phụ thuộc của áp suất  $p$  vào độ cao  $h$ , biết khi  $h = 0$  thì  $p = p_0$ . Xét các trường hợp sau :

a. Nhiệt độ ở mọi điểm đều bằng  $T$ .

b. Nhiệt độ  $T$  phụ thuộc vào độ cao  $h$  :  $T = T_0 - ah$ , với  $a$  là hằng số.

7/ Khí lý tưởng có khối lượng mol  $\mu$ , dưới áp suất  $p$ , giữa hai tấm nằm ngang có khối lượng là bao nhiêu? Biết rằng thể tích giữa hai tấm là  $V$ , nhiệt độ khí tăng tuyến tính từ  $T_1$  ở tấm dưới đến  $T_2$  ở tấm trên.

## IV. Lời giải

1/ Ta thấy, khi khí các bình di chuyển qua lại thì tổng số mol của cả 3 bình vẫn không đổi. Đặt số mol khí của 3 bình trước và sau lần lượt là  $n_1, n'_1, n_2, n'_2, n_3, n'_3$ . Thể tích của 3 bình là như nhau và bằng  $V$ . Áp suất của các bình trước và sau là  $p$  và  $p'$ . Tổng số mol của 3 bình trước và sau là như nhau:

$$n_1 + n_2 + n_3 = n'_1 + n'_2 + n'_3 = \frac{pV}{RT_1} + \frac{pV}{RT_2} + \frac{pV}{RT_3} = \frac{p'V}{RT'_1} + \frac{p'V}{RT'_2} + \frac{p'V}{RT'_3}$$

Từ đó dễ dàng suy ra thể tích  $p'$  sau cùng của các bình.

2/

a. Cần để ý rằng khi khí đang trong quá trình nén, áp suất khí sẽ tăng dần. Tuy nhiên, khi tăng tới hơn  $1,4p_0$  van 2 sẽ bắt đầu mở, áp suất khí trong bình sẽ không tăng nữa mà khí trong bình sẽ càng thoát ra ngoài để giữ cho áp suất trong bình luôn ở mức  $1,4p_0$ . Do đó, số mol bé nhất của khí trong quá trình nén sẽ là  $n_{min} = \frac{1,4p_0 \cdot V_0}{T_0}$ .

Sau khi nén, ta bắt đầu giãn pitton ra. Càng giãn, áp suất pitton càng giảm đến khi thể tích khí  $V = \frac{7}{4}V_0$  ( $V_0 < V < 2V_0$ ) thì van 1 bắt đầu mở, và tương tự như trên, khí sẽ đi vào pitton để giữ cho áp suất không đổi và bằng  $0,8p_0$ . Để tính được số mol không khí lớn nhất trong quá trình này xảy ra khi pitton đã giãn hoàn toàn:  $n_{max} = \frac{1,6p_0V_0}{RT_0}$ .

Trong lần nén tiếp theo, van 2 sẽ mở khi thể tích không khí:  $\frac{8}{7}V_0$  (vẫn thuộc khoảng  $V_0$  đến  $2V_0$ ).

Và cũng giống như lần nén đầu tiên, khi kết thúc quá trình nén, các thông số trạng thái của khí sẽ giống với của lần nén thứ nhất. Và vì vậy, lần giãn thứ 2 của khí sẽ trải ra các quá trình tương tự như lần nén đầu tiên của khí. Do đó, quá trình nén giãn khí nhiều lần thực chất chỉ là sự lặp đi lặp lại của quá trình nén giãn khí đầu tiên. Do ta cũng kết luận được các số mol khí bé nhất và lớn nhất trong lần nén giãn đầu tiên cũng là số mol khí lớn nhất và bé nhất trong cả quá trình

**b.** Cách làm tương tự.

**3/** Gọi  $l$  là chiều dài của mỗi phần ống

**a.** Khi ống thẳng đứng, do tổng lực tác dụng lên các cột thủy ngân bằng 0 nên ta có (áp suất tính theo đơn vị chiều dài thủy ngân):

$$\begin{cases} p_1 = l + p_3 = 2l = p_0 \\ p_3 = l \end{cases}$$

Xét khi cột thủy ngân chưa tiếp xúc với đầu trên của ống, do tổng lực tác dụng lên mỗi cột thủy ngân bằng không nên ta lại có:  $\begin{cases} p'_1 = l \cos \alpha + p'_3 = 2l \cos \alpha \\ p'_3 = l \cos \alpha \end{cases}$

Do nhiệt độ các phần khí không đổi nên áp dụng định luật Boyle - Mariotte, ta có:

$$\begin{cases} p_1 S l_1 = p'_1 S l'_1 \\ p_3 S l_3 = p'_3 S l'_3 \end{cases} \iff \begin{cases} p_0 l = p_0 l'_1 \cos \alpha \\ \frac{1}{2} p_0 l = \frac{1}{2} p_0 l'_3 \cos \alpha \end{cases}$$

$\implies l'_1 = l'_3 = \frac{l}{\cos \alpha}$  Do ống hàn kín 2 đầu nên khi cột thủy ngân vừa chạm đầu trên, ta có:

$$l'_1 + l'_3 = \frac{2l}{\cos \alpha} \leq 3l \implies \cos \alpha \geq \frac{2}{3} \implies \alpha \leq 48.19^\circ$$

**b.** Do  $\alpha > 48.19^\circ$  nên cột thủy ngân chạm đầu trên của ống. Do tổng lực tác dụng vào các cột thủy ngân bằng 0 nên ta có:

$$\begin{cases} p'_3 = l \cos \alpha + p_t \\ p'_1 = p'_3 + l \cos \alpha \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p'_t = p'_3 - \frac{1}{4}p_0 \\ p'_1 = p'_3 + \frac{1}{4}p_0 \end{cases}$$

Do nhiệt độ khí không đổi nên theo định luật Boyle - Mariotte, ta có:

$$\begin{cases} p_1 l_1 = p'_1 l'_1 \\ p_3 l_3 = p'_3 l'_3 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} l'_1 = \frac{p_0 l}{p'_3 + \frac{1}{4}p_0} \\ l'_3 = \frac{p_0 l}{2p'_3} \end{cases}$$

Khi cột thủy ngân đã chạm vào dầu trên:  $l'_1 + l'_3 = 3l$

$$\Rightarrow p'_3 = \frac{1}{3} \left( 1 + \sqrt{\frac{11}{3}} \right) p_0 \Rightarrow p_t = p'_3 = \frac{1}{3} \left( 1 + \sqrt{\frac{11}{3}} \right) p_0$$

4/ Gọi  $T_0$  và  $T_1$  lần lượt là nhiệt độ của thành ngoài và thành trong của bình Dewar,  $n$  là mật độ phân tử khí giữa hai thành.

Cho rằng các phân tử đi từ 1 thành tới thành còn lại không va chạm lẫn nhau. Trong 1 đơn vị thể tích khí có  $n$  phân tử, có  $n_0$  phân tử đi từ thành ngoài vào thành trong và có  $n_1$  phân tử đi ngược lại ( $n = n_0 + n_1$ ).

Mỗi phân tử trong  $n_0$  có vận tốc và động năng trung bình lần lượt là:

$$v_{0tb} = \sqrt{\frac{8RT_0}{\pi\mu}} \text{ và } w_{0tb} = \frac{3kT_0}{2}$$

Mỗi phân tử trong  $n_1$  có vận tốc và động năng trung bình lần lượt là:

$$v_{1tb} = \sqrt{\frac{8RT_1}{\pi\mu}} \text{ và } w_{1tb} = \frac{3kT_1}{2}$$

Ta có:  $n_0 \sqrt{T_0} = n_1 \sqrt{T_1}$  (Trạng thái dừng)

$$\rightarrow \frac{n_1}{\sqrt{T_0}} = \frac{n_0}{\sqrt{T_1}} = \frac{n}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_1}}$$

$$\rightarrow n_1 = n \frac{\sqrt{T_0}}{\sqrt{T_0} + \sqrt{T_1}}$$

Do  $T_0 > T_1$

Mật độ dòng nhiệt truyền từ ngoài vào trong:

$$q = \frac{1}{4} n_1 v_{1tb} \left( \frac{3}{2} k T_0 - \frac{3}{2} k T_1 \right)$$

$$\approx n_1 \sqrt{T_1} (T_0 - T_1)$$

$$\approx n\sqrt{T_0 T_1}(\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1})$$

b) Gọi  $Q$  là tổng nhiệt lượng truyền qua thành bình trong thời gian  $\Delta t$ ,  $\Delta t$  là thời gian để khối lượng  $M_1$  nitrogen bay hơi ở bình này và  $M_2$  hidro bay hơi ở bình kia:

$$M_1 = \frac{Q_1 \Delta t}{L_1}; M_2 = \frac{Q_2 \Delta t}{L_2}$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

$$= \sqrt{\frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_1}}{\sqrt{T_0} - \sqrt{T_2}}} \cdot \frac{L_2}{L_1}$$

$$= \sqrt{\frac{77,3}{20,4} \cdot \frac{\sqrt{300} - \sqrt{77,3}}{\sqrt{300} - \sqrt{20,4}}} \cdot \frac{4,5}{2}$$

$$= 2,92$$

5/

- Ở nhiệt độ  $T$ : Trong bình có  $\frac{m_1}{14}$  (mol) khí  $N_2$  và  $\frac{m_2}{2}$  (mol) khí  $H_2$

Áp dụng phương trình Mendeleev-Clapeyron cho hỗn hợp:

$$pV = \left(\frac{m_1}{14} + \frac{m_2}{2}\right)RT \quad (1)$$

- Ở nhiệt độ  $2T$ , do cả  $N_2$  và  $H_2$  phân li hoàn toàn nên trong bình có  $\frac{m_1}{14}$  (mol)  $N_2$  và  $m_2$  (mol)  $H_2$

Tiếp tục áp dụng phương trình Mendeleev-Clapeyron ta được:

$$3pV = \left(\frac{m_1}{14} + m_2\right)2TR \quad (2)$$

Chia (1) cho (2) rồi giải phương trình ta tìm được  $\frac{m_1}{m_2} = 7$

6/ Xét  $p$  là áp suất ở độ cao  $h$ , khi lên một đoạn  $dh$  thì áp suất giảm một lượng  $dp = -\rho g dh$ . (1)

Gọi  $T$  là nhiệt độ ở độ cao  $h$ , ta có:  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}$ .

a. Nếu  $T$  không đổi, ta có:

$$dp = -p \frac{\mu g}{RT} dh \text{ hay } \frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dh$$

Nguyên hàm 2 vế, ta được:  $\ln p = -\frac{\mu g}{RT} h + C$  hay  $p = Ae^{-\frac{\mu g}{RT} h}$ .

Từ điều kiện  $p = p_0$  khi  $h = 0$  ta được  $A = p_0$ .

b. Nếu  $T = T_0 - ah$  thì sau khi biến đổi tương tự như ý trên, ta được  $\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{R(T_0 - ah)} dh$ .

Tích phân 2 vế, ta được:

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{\mu g}{Ra} \ln \frac{T_0 - ah}{T_0}$$

$$p = p_0 \left( 1 - \frac{ah}{T_0} \right)^{\frac{\mu g}{Ra}}$$

7/ Gọi  $S$  là diện tích mỗi tấm,  $l$  là khoảng cách giữa hai tấm, ta sẽ có  $Sl = V$ . Xét một lớp khí nằm ngang, có bề dày  $dx$ , cách tấm dưới một đoạn  $x$ . Lớp khí đó có thể tích  $dV = Sdx$  và nhiệt độ  $T = T_1 + \frac{x}{l}(T_2 - T_1)$  (vì nhiệt độ của khí tăng tuyến tính từ dưới lên). Khối lượng  $dm$  của lớp khí được tính theo phương trình

$$\text{trạng thái: } pdV = \frac{dm}{\mu} RT$$

$$dm = \frac{\mu p}{RT} dV = \frac{\mu p}{RT} S dx \Rightarrow m = \int_0^m = \int_0^l \frac{\mu p V}{R[T_1 + \frac{x}{l}(T_2 - T_1)]} S dx$$

$$\text{Ta biết rằng: } \int \frac{dx}{ax + b} = \frac{1}{a} \ln |ax + b| + C$$

$$\Rightarrow m = \frac{\mu p V}{R(T_2 - T_1)} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

## Tài liệu

- [1] Phạm Quý Tư, *Bồi dưỡng Học sinh giỏi Vật lý Trung học phổ thông - Nhiệt học và Vật lý phân tử*