

Chương 6

CƠ HỌC CHẤT LƯU

Nội dung chương

- 6.1. Các khái niệm và đại lượng cơ bản về chất lưu
- 6.2. Phương trình liên tục
- 6.3. Phương trình Bernoulli
- 6.4. Tĩnh học chất lưu
- 6.5. Tóm tắt nội dung
- 6.6. Câu hỏi lý thuyết và bài tập

Mục tiêu chương

Sau khi học xong chương này, sinh viên hiểu và nắm được những vấn đề sau:

- Chất lưu lí tưởng, các đặc điểm của nó, khái niệm đường dòng và ống dòng.
- Thiết lập được phương trình liên tục và phương trình Bernoulli.
- Ứng dụng phương trình Bernoulli, thiết lập công thức Toricelli.
- Bơm tia là gì? Nêu cấu tạo và nêu nguyên lý hoạt động của bộ chế hòa khí.
- Viết phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu.
- Phát biểu định luật Pascal và ứng dụng của nó.
- Giải được những bài tập cơ bản trong chương này.

§6.1 CÁC KHÁI NIỆM VÀ ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN VỀ CHẤT LƯU

1. Chất lưu

Chất lưu là những chất có thể “chảy” được, bao gồm chất lỏng và chất khí.

Chất lưu không có hình dạng nhất định. Khi chuyển động, chất lỏng phân thành từng lớp, giữa các lớp có lực tương tác, gọi là lực nội ma sát hay lực nhớt. Chính lực này làm cho vận tốc của các lớp không bằng nhau.

Đơn giản, khi nghiên cứu về chất lưu, ta giả sử nó hoàn toàn không nén được (có thể tích xác định) và không có lực nhớt (không có nội ma sát). Chất lưu như thế được gọi là

chất lưu lý tưởng; trái lại là *chất lưu thực*. Nghiên cứu chất lưu thực rất khó khăn, vì thế ta nghiên cứu về chất lưu lý tưởng, rồi suy rộng ra cho chất lưu thực.

Trong một phạm vi gần đúng cho phép, các qui luật rút ra đối với chất lưu lý tưởng cũng áp dụng được cho chất lưu thực.

Trong phạm vi giáo trình này chỉ nghiên cứu chất lưu lý tưởng.

2. Đường dòng, ống dòng

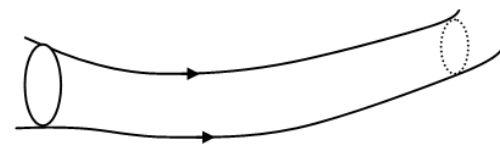
Để dễ dàng nghiên cứu và biểu diễn sự chuyển động của chất lưu một cách trực quan, người ta đưa ra khái niệm về đường dòng và ống dòng:

- **Đường dòng:** là những đường mà tiếp tuyến với nó tại mỗi điểm trùng với véc tơ vận tốc của phần tử chất lưu tại điểm đó. Nói cách khác, đường dòng chính là quỹ đạo của các phần tử của chất lưu.



Hình 6.1: Đường dòng

- **Ống dòng:** Tập hợp các đường dòng tựa trên một đường cong kín bất kì tạo thành một ống dòng. Khi chất lưu chuyển động trong một cái ống nào đó thì bản thân



Hình 6.2: Ống dòng

ống đó là một ống dòng. Nếu các đường dòng không thay đổi theo thời gian, thì ta nói dòng chảy của chất lưu là *dòng dừng*. Trái lại là dòng không dừng. Trong giáo trình này ta chỉ nghiên cứu các dòng dừng.

3. Khối lượng riêng và áp suất

Ta biết, vật rắn thì có hình dạng, kích thước và khối lượng xác định, nên ta có thể nói đến khối lượng và lực tác dụng lên vật rắn đó (ví dụ: vật có khối lượng $m = 2\text{kg}$, chịu tác dụng của một lực $F = 10\text{N}$). Nhưng khi nghiên cứu về chất lưu – một môi trường liên tục, không có hình dạng nhất định – ta thường quan tâm đến sự thay đổi tính chất từ điểm này sang điểm khác trong chất lưu hơn là nói đến tính chất của một “*phần tử*” riêng biệt nào đó. Vì thế, ta dùng các đại lượng: *khối lượng riêng* và *áp suất* để mô tả (hơn là dùng các đại lượng: khối lượng và lực).

a) **Khối lượng riêng:** Khối lượng riêng tại điểm M trong chất lưu được định nghĩa là:

$$\rho = \frac{dM}{dV} \quad (6.1)$$

trong đó: dV là yếu tố thể tích bao quanh điểm M ; dm là khối lượng của chất lưu chứa trong yếu tố thể tích dV .

Khối lượng riêng theo định nghĩa (6.1) còn được gọi là mật độ khối lượng của chất lưu tại điểm M . Nếu chất lưu là đồng nhất và không nén được thì $\rho = \text{const}$. Khi đó ta có:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (6.2)$$

với m và V là khối lượng và thể tích của một lượng chất lưu xác định.

Trong hệ SI, khối lượng riêng có đơn vị là kg/m^3 .

b) Áp suất: áp suất do chất lưu gây ra tại điểm M trong chất lưu được định nghĩa là:

$$\rho = \frac{dF}{dS} \quad (6.3)$$

trong đó: dF là áp lực mà chất lưu tác dụng theo hướng vuông góc vào diện tích dS đặt tại M . Nếu áp suất suất tại mọi điểm trên diện tích S đều như nhau thì:

$$\rho = \frac{F}{S} \quad (6.4)$$

với F là áp lực mà chất lưu tác dụng theo hướng vuông góc vào diện tích S .

Bảng 6.1: Hệ số chuyển đổi đơn vị áp suất

Đơn vị đo	Pa (N/m^2)	at	atm (760mmHg)	torr (mmHg)	bar
Pa	1	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}
at	$9,81 \cdot 10^4$	1	0,968	736	0,981
atm	$1,013 \cdot 10^5$	1,033	1	760	1,013
torr	133,322	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,316 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-3}$
bar	10^5	1,02	0,987	750	1

Áp suất theo định nghĩa (6.3) và (6.4) là một đại lượng vô hướng, trong hệ SI, đơn vị của áp suất là *niuton trên mét vuông* (N/m^2) hay *paxcan* (Pa). Ngoài ra ta còn có các

đơn vị đo áp suất khác như: tmmotphe (at hoặc atm), milimet thủy ngân (mmHg), torr,
 Bảng 6.1 cho biết hệ số chuyển đổi giữa các đơn vị đo áp suất.

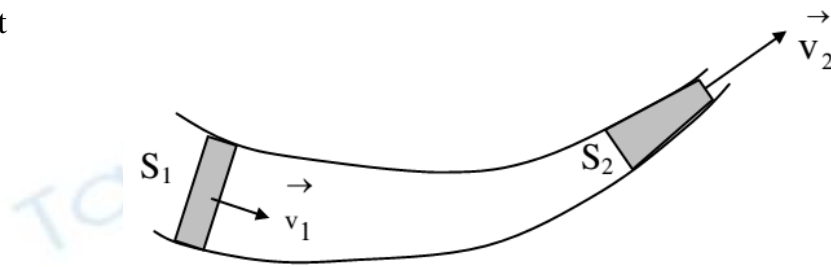
§6.2 PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC

Xét một chất lưu lý tưởng, chuyển động trong một ống dòng bất kỳ. Gọi v_1 và v_2 là vận tốc chảy của chất lưu tại hai tiết diện S_1 và S_2 bất kỳ của ống dòng.

Ta có lượng chất lưu đã chảy qua tiết diện S_1, S_2 trong thời gian dt là:

$$dm_1 = \rho dV_1 = \rho S_1 v_1 dt$$

$$dm_2 = \rho dV_2 = \rho S_2 v_2 dt$$



Hình 6.3: Sự chảy liên tục của chất lưu

Do tính không chịu nén và tính liên tục nên trong thời gian dt , lượng chất lưu đã chuyển qua tiết diện S_1 và S_2 là như nhau.

Suy ra $dm_1 = dm_2$

Vậy: $S_1 v_1 = S_2 v_2$ hay $Sv = \text{const}$ (6.5)

Phương trình (6.5) được gọi là phương trình liên tục của chất lưu. (6.5) chứng tỏ vận tốc chảy của chất lưu tỉ lệ nghịch với tiết diện của ống dòng.

§6.3 PHƯƠNG TRÌNH BERNOULLI

1. Thiết lập phương trình

Xét một khối chất lưu bất kỳ ABCD chứa trong một đoạn ống dòng giới hạn bởi các tiết diện S_1 và S_2 . Gọi v_1 và v_2 là vận tốc chảy của chất lưu tại các tiết diện đó. Sau thời gian dt , khối chất lưu này chuyển tới vị trí mới A'B'C'D'. Ta có:

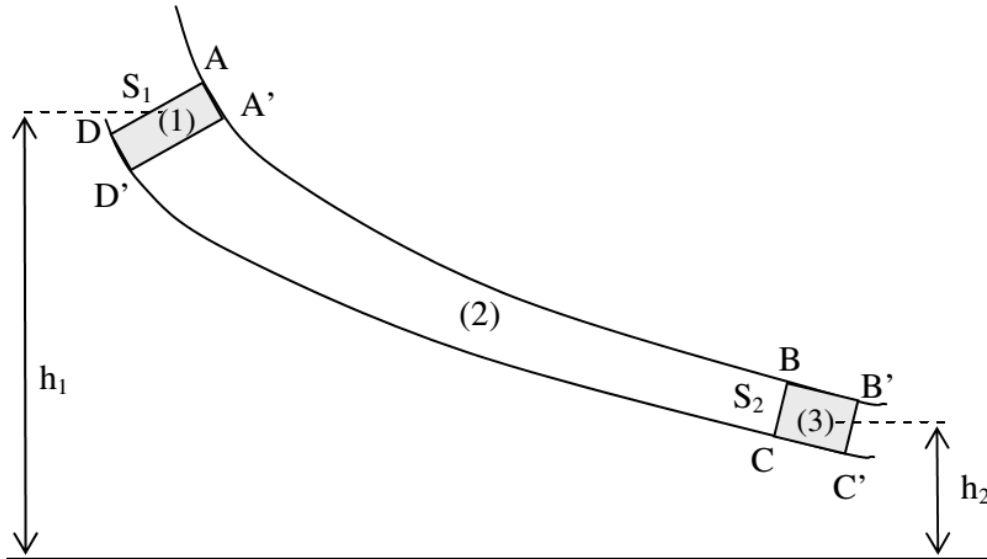
Độ biến thiên động năng của khối chất lưu sau thời gian dt là:

$$\Delta W_d = W'_d - W_d = (W'_{d(2)} + W'_{d(3)}) - (W_{d(1)} + W_{d(2)}) = W'_{d(3)} - W_{d(1)}$$

Nghĩa là độ biến thiên động năng của toàn khối bằng hiệu động năng của hai khối nhỏ (1) và (3). Mà từ phương trình liên tục (6.5) ta suy ra: khối lượng m và thể tích V của hai khối (1) và (3) là bằng nhau và bằng $m = \rho V$.

Suy ra

$$\Delta W_d = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = V\left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2}\right) \quad (6.6)$$



Hình 6.4: Thiết lập phương trình Bernoulli

Mặt khác, ngoại lực tác dụng lên khối chất lưu đó gồm có: trọng lực, áp lực tại hai tiết diện S_1 , S_2 và áp lực của các ống dòng xung quanh. Công của các ngoại lực này sinh ra trong thời gian dt được tính như sau:

+ Công của trọng lực: ta thấy toàn bộ khối chất lưu đang xét gồm có 2 phần, trong đó phần (2) không thay đổi về độ cao, vậy công của trọng lực chính là công làm di chuyển phần (1) xuống vị trí của khối (3) : $A_1 = mg(h_1 - h_2) = \rho Vg (h_1 - h_2)$

+ Áp lực tại tiết diện S_1 sinh công dương đẩy khối chất lưu chuyển động; còn áp lực ở tiết diện S_2 sinh công cản. Do đó công của áp lực tại hai tiết diện này là:

$$A_2 = F_1 s_1 - F_2 s_2 = p_1 S_1 v_1 dt - p_2 S_2 v_2 dt = p_1 V - p_2 V = (p_1 - p_2)V$$

+ Áp lực của các ống dòng xung quanh luôn vuông góc với mặt bên của ống dòng đang xét nên không sinh công.

Do đó, tổng công của các ngoại lực tác dụng lên khối chất lưu đang xét là:

$$A = A_1 + A_2 = \rho gV(h_1 - h_2) + (p_1 - p_2)V$$

(6.7)

* Theo định lý động năng, ta có: $\Delta W_d = A$. Kết hợp (6.6) và (6.7), suy ra:

$$V\left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2}\right) = \rho gV(h_1 - h_2) + (p_1 - p_2)V$$

$$\text{Suy ra: } p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (6.8)$$

$$\text{hay } p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const} \quad (6.9)$$

Phương trình (6.9) được gọi là phương trình Bernoulli. Trong đó cả ba số hạng ở vế trái đều có cùng thứ nguyên của áp suất. Số hạng p được gọi là áp suất tĩnh; số hạng ρgh được gọi là áp suất trắc địa, vì nó liên quan đến độ cao so với mặt đất hoặc mặt biển,

hoặc một mặt phẳng nằm ngang nào đó làm mốc; số hạng $\frac{\rho v^2}{2}$ gọi là áp suất động vì nó

liên quan đến vận tốc của chất lưu.

Vậy: tổng áp suất tĩnh, áp suất trắc địa và áp suất động không thay đổi tại mọi điểm trong chất lưu.

2. Hệ quả

a) Nếu xét những điểm trong chất lưu cùng nằm trên một mặt phẳng ngang ($h = \text{const}$) thì áp suất trắc địa không thay đổi. Từ (6.9) suy ra:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const} \quad (6.10)$$

Tổng áp suất tĩnh và áp suất động không thay đổi tại mọi điểm thuộc cùng một mặt phẳng ngang trong chất lưu. Do đó nơi nào có dòng chảy mạnh thì nơi đó áp suất tĩnh giảm và ngược lại.

b) Nếu trong chất lưu không có dòng chảy ($v = 0$) thì từ (6.9) ta có:

$$p + \rho gh = \text{const} \quad (6.11)$$

(6.11) là phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu. Ta sẽ bàn luận (6.11) sâu hơn ở §6.4.

3. Vài ứng dụng của phương trình Bernoulli

a) Tính vận tốc chảy ở vòi – công thức Toricelli:

Xét một bình chứa chất lỏng có một vòi ở thành bình. Miệng vòi cách mặt thoáng của chất lỏng trong bình một đoạn h . Gọi S_1 là diện tích mặt thoáng của chất lỏng trong bình và S_2 là tiết diện ngang ở miệng vòi. Áp dụng phương trình Bernoulli, ta có:

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

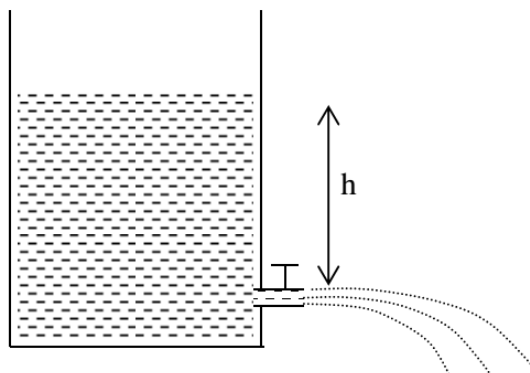
Vì $p_1 = p_2 = p_0 =$ áp suất khí quyển; $h_1 - h_2 = h$,

$$\text{nên } \frac{\rho(v_2^2 - v_1^2)}{2} = \rho gh$$

Mà: $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$; $S_1 \gg S_2$ nên $v_1 \ll v_2$

$$\text{Vậy: } v_2 = v = \sqrt{2gh}$$

(6.12)



Công thức (6.12) được gọi là công thức **Hình 6.5: Vận tốc chảy tại vòi Toricelli.** Từ đó ta thấy vận tốc chảy của chất lỏng (lý tưởng) tại miệng vòi chỉ phụ thuộc vào độ cao của cột chất lỏng so với miệng vòi, miệng vòi càng thấp thì vận tốc phun ra càng mạnh.

b) Bơm tia:

Xét một ống dẫn nhỏ nằm ngang. Khi đó độ cao h coi như không đổi tại mọi điểm trong chất lưu. Ta có (6.10):

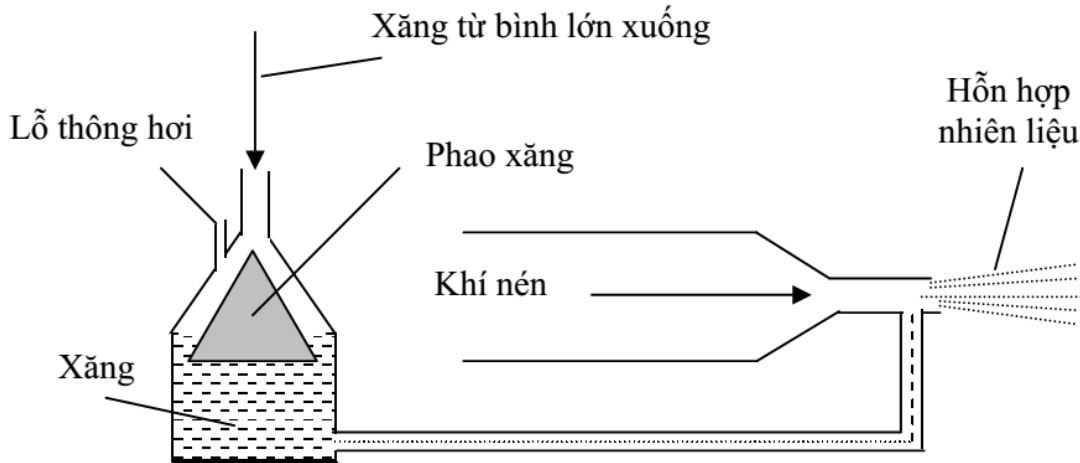
$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const.}$$

Từ (6.10) suy ra: nơi nào có vận tốc chảy lớn thì ở đó áp suất tĩnh p nhỏ. Nói cách khác, chỗ có tiết diện ống càng nhỏ thì tại đó, áp suất tĩnh p càng nhỏ. Dựa vào nguyên tắc này, người ta chế tạo ra thiết bị gọi là “*bơm tia*” - dùng trong việc sơn các dụng cụ, thiết bị khác - và *bộ chế hòa khí (carbureteur)* của động cơ đốt trong.

Cấu tạo: gồm một ống dẫn khí nén, có cổ thắt ở gần lối ra. Tại nơi cổ thắt có đường thông với bình đựng sơn (hay nhiên liệu – nếu là bộ chế hoà khí). Bình đựng sơn có một lỗ thông hơi, để áp suất trên mặt thoáng của sơn (nhiên liệu) luôn bằng áp suất khí quyển.

Hoạt động: Khi ta cho luồng khí nén đi qua ống, tại cổ thắt, vận tốc khí rất lớn nên áp suất tĩnh ở đó nhỏ hơn áp suất khí quyển, do đó sơn (nhiên liệu) từ bình chứa dâng lên hoà vào luồng khí phun ra ngoài thành tia.

Ngoài các ứng dụng kể trên, phương trình Bernoulli còn là cơ sở để tạo ra các thiết bị đo áp suất (áp kế), thiết bị đo vận tốc của dòng chảy (lưu lượng kế), hay nghiên cứu về lực nâng máy bay, giải thích các hiện tượng: cửa sổ tự mở, tốc mái nhà khi có gió lớn,



Hình 6.6: Sơ đồ nguyên lý hoạt động của bộ chế hòa khí

4. Một số bài toán ví dụ

Ví dụ 1: Cho một ống hình trụ đặt nằm ngang gồm 3 phần A, B, C có tiết diện S_A , S_B , S_C khác nhau (hình 6.7a). Trong ống có nước chảy từ A đến C.

- So sánh áp suất tĩnh, áp suất động, áp suất toàn phần tại các phần A, B, C.
- Đặt tại B một ống áp kế, tại C một ống Pitô (ống có góc vuông). Thực nghiệm đo được $h_B = 3 \text{ cm}$, $h_C = 8 \text{ cm}$. Tìm vận tốc của nước tại B.
- Người ta có thể đo vận tốc của nước tại B nhờ một phương pháp khác bằng cách bỏ ống Pitô đi và đặt tại A một ống áp kế. Đo thấy $h_A = 6,75 \text{ cm}$. Biết $S_A = 20 \text{ cm}^2$, $S_B = 10 \text{ cm}^2$. Tính vận tốc nước tại B. So sánh kết quả ở câu b.

Hướng dẫn giải:

a) Gọi V_A, V_B, V_C lần lượt là vận tốc của nước tại A, B, C. Theo định lý về tính liên tục của chất lưu ta có:

$$S_A V_A = S_B V_B = S_C V_C \quad (6.13)$$

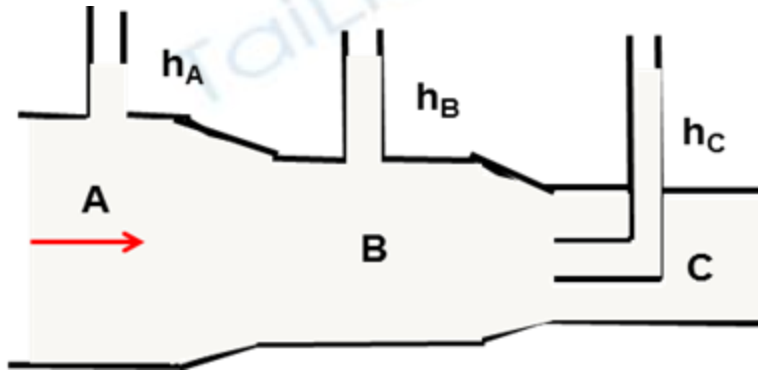
Vì $S_A > S_B > S_C$ nên $V_A < V_B < V_C$ do đó: $\frac{\rho V_A^2}{2} < \frac{\rho V_B^2}{2} < \frac{\rho V_C^2}{2}$

ρ là khối lượng riêng của nước. Vậy áp suất động tăng dần từ A đến C

Gọi P_A, P_B, P_C là các áp suất tĩnh tại A, B, C. Phương trình Bernouli trong trường hợp ống dòng nằm ngang

$$P_A + \frac{\rho V_A^2}{2} = P_B + \frac{\rho V_B^2}{2} = P_C + \frac{\rho V_C^2}{2} \quad (6.14)$$

Từ (6.14) ta suy ra $P_A > P_B > P_C$ vậy áp suất tĩnh giảm dần từ A đến C. Phương trình (6.14) cũng cho thấy áp suất toàn phần (Áp suất tĩnh + áp suất động) tại mọi điểm của ống đều bằng nhau.



Hình 6.7a

b) Tại miệng C của ống Pitô vận tốc của nước bằng không: $V_C = 0$ do đó, từ (6.14) ta suy ra

$$P_B + \frac{\rho V_B^2}{2} = P_C \quad (6.15)$$

Trong đó $P_B = \rho g h_B + P_0, P_C = \rho g h_C + P_0$, với P_0 là áp suất khí quyển, h_B và h_C là chiều cao các cột nước tại B và C

Thay vào (6.15) ta được $V_B = \sqrt{2g(h_C - h_B)} = 1m/s$

c) Áp dụng các công thức của cơ học chất lưu cho các điểm A và B, ta được phương trình sau

$$P_A + \rho \frac{V_A^2}{2} = P_B + \rho \frac{V_B^2}{2}$$

$$P_A = \rho g h_A + P_0 ; P_B = \rho g h_B + P_0$$

$$S_A V_A = S_B V_B$$

Từ đó ta rút ra

$$V_B = S_A \sqrt{\frac{2g(h_A - h_B)}{S_A^2 - S_B^2}} = 1m/s \quad (6.16)$$

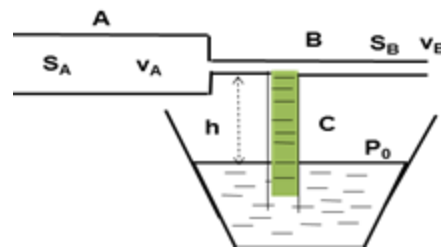
Nhận xét: kết quả V_B bằng hai phương pháp nêu ở c) và b) giống nhau, song phương pháp dùng ống Pitô đơn giản hơn nhiều.

Ví dụ 2: Một máy phun nước được cấu tạo như (hình 6.7b). Hỏi chiều cao h của ống C (so với mặt chất lỏng) chỉ có thể lớn nhất là bao nhiêu thì máy hoạt động được, nếu chất khí là không nén được và bỏ qua lực nội ma sát

Hướng dẫn giải:

P_B và v_B là áp suất và vận tốc của không khí tại phần B, P_0 là áp suất không khí ở mặt nước.

Độ cao lớn nhất mà chất lỏng có thể dâng được trong ống C là



Hình 6.7b

$$P_0 - P_B = \rho g h_{\max} \quad (6.17)$$

Muốn ống hoạt động được thì chất lỏng phải dâng lên đến phần B của ống, như vậy chiều cao h của ống C phải thỏa mãn điều kiện $h \leq h_{\max}$

$$h \leq h_{\max} = \frac{P_0 - P_B}{\rho g} \quad (6.18)$$

Áp dụng phương trình Bernoulli cho chuyển động của chất lỏng

$$P_A + \frac{1}{2} \rho V_A^2 = P_B + \frac{1}{2} \rho V_B^2 \quad (6.19)$$

$$S_A v_A = S_B v_B \quad (6.20)$$

Từ (6.18), (6.19) và (6.20)

$$h \leq \frac{P_0 - P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 \frac{(S_A^2 - S_B^2)}{S_B^2}}{\rho g} \quad (6.21)$$

Ví dụ 3: Đáy của một bình hình trụ có một lỗ thủng đường kính $d = 1$ cm. Đường kính của bình là $D = 0,5$ m. Tìm sự phụ thuộc của vận tốc hạ mức nước trong bình và độ cao h của mực nước. Áp dụng hằng số cho trường hợp $h = 0,2$ m

Hướng dẫn giải:

Gọi v_1 là vận tốc của nước khi đi qua tiết diện S_1 của bình (cũng chính là vận tốc hạ mức nước trong bình)

Gọi v_2 là vận tốc của nước khi đi qua tiết diện S_2 của lỗ thủng

Áp dụng phương trình Bernoulli

$$P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + \rho g z_1 = P_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + \rho g z_2$$

Do mặt nước trong bình và mặt nước ở lỗ thủng đều tiếp xúc với không khí nên $P_1 = P_2$

$$\frac{v_1^2}{2} + g(z_1 - z_2) = \frac{v_2^2}{2} \Leftrightarrow v_1^2 + 2gh = v_2^2 \quad (6.22)$$

Mặt khác theo định lý bảo toàn dòng ta có

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{S_1 v_1}{S_2}$$

Thay vào (6.22) ta được

$$\begin{aligned} v_1^2 S_2^2 + 2gh S_2^2 &= v_1^2 S_1^2 \Rightarrow v_1^2 = \frac{2gh S_2^2}{S_1^2 - S_2^2} \\ \Rightarrow v_1 &= \sqrt{\frac{2gh d^4}{D^4 - d^4}} \approx \frac{d^2}{D^2} \sqrt{2gh} \end{aligned}$$

Vì $d \ll D$ thay $d = 1$ cm, $D = 0,5$ m và $h = 0,2$ m ta được $v_1 = 8.10^{-4} m/s$

§6.4 TĨNH HỌC CHẤT LƯU

1. Phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu

Trong trường hợp chất lưu không chuyển động, phương trình Bernoulli trở thành:

$$p + \rho gh = \text{const} \quad (6.23)$$

Phương trình (6.23) được gọi là phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu, đã được Pascal tìm ra vào năm 1652. (6.23) chứng tỏ rằng: *những điểm nằm trên cùng một mặt phẳng ngang thì có cùng một áp suất tĩnh; càng xuống sâu (h càng nhỏ), áp suất tĩnh càng lớn.*

Nếu xét hai điểm ở độ cao khác nhau thì: $p_1 + \rho gh_1 = p_2 + \rho gh_2$

Suy ra
$$\Delta p = p_2 - p_1 = \rho g(h_1 - h_2) = \rho g\Delta h \quad (6.24)$$

Độ chênh lệch áp suất tĩnh giữa hai điểm trong chất lưu bằng độ chênh lệch áp suất tĩnh giữa hai điểm đó. Do đó, nếu ta coi áp suất trên mặt thoáng của chất lưu là p_0 thì áp suất tĩnh tại một điểm cách mặt thoáng của chất lưu một khoảng h là:

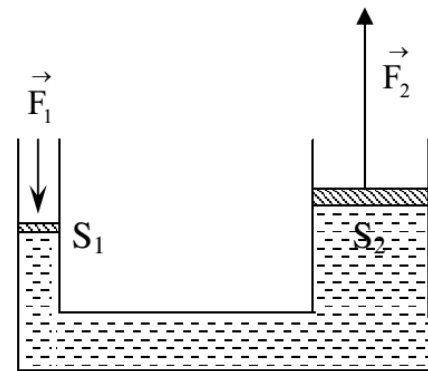
$$p = p_0 + \rho gh \quad (6.25)$$

2. Định luật Pascal

Xét một chất lưu lý tưởng, bị nhốt trong một ống hình trụ. Khi đó, áp suất tại một điểm M bất kỳ trong chất lưu được tính theo (6.25). Nếu cố định điểm quan sát M thì độ sâu h không đổi. Bây giờ ta giả sử có một ngoại lực tác dụng vào chất lưu làm áp suất tĩnh tại mặt thoáng p_0 tăng thêm Δp thì theo (6.25), áp suất tĩnh tại M cũng tăng thêm Δp . Ta nói: *áp suất truyền đi nguyên vẹn.*

Định luật Pascal: *Áp suất tác dụng vào chất lưu sẽ được chất lưu truyền đi nguyên vẹn theo mọi hướng đến tất cả các phần tử trong chất lưu và đến thành bình.*

Ứng dụng: Làm đòn bẩy thủy tĩnh (máy thủy lực). Sơ đồ nguyên lý được mô tả ở hình (6.8). Tác dụng một lực F_1 vào piston nhỏ thì lực này sẽ gây ra áp suất Δp tác dụng vào chất lỏng. Áp suất này được chất lỏng truyền nguyên vẹn đến piston lớn, tạo ra lực đẩy F_2 .



Hình 6.8: Sơ đồ nguyên lý hoạt động của đòn bẩy thủy tĩnh

Ta có: $\Delta p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ hay $F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1}$ (6.26)

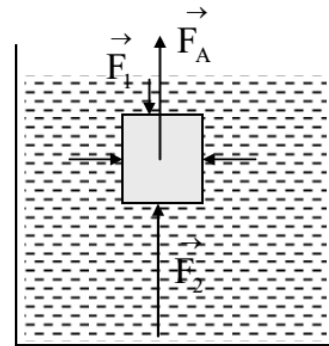
Nếu S_2 lớn hơn S_1 bao nhiêu lần thì F_2 cũng lớn hơn S_1 bấy nhiêu lần. Đòn bẩy thủy tĩnh được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp, kỹ thuật và đời sống. Kịch xe hơi, thắng đĩa xe máy, ... đều hoạt động theo nguyên tắc này.

3. Định luật Archimede

Giả sử ta nhúng chìm một vật (để dễ lý luận, ta thiết nó có dạng hình hộp chữ nhật) vào một chất lưu. Áp suất của chất lưu sẽ tác dụng vào tất cả các điểm trên bề mặt vật, tạo ra các cặp lực ngược chiều nhau.

+ Đối với các mặt bên, do áp suất của các điểm nằm trên cùng một mặt ngang là bằng nhau nên cặp lực tác dụng lên các mặt bên đối diện nhau sẽ đối một triệt tiêu nhau.

+ Riêng đối với hai mặt đáy, do không cùng độ cao nên áp suất tại đáy dưới lớn hơn áp suất tại đáy trên nên lực tác dụng lên đáy dưới F_2 lớn hơn lực tác dụng



Hình 6.9: Lực đẩy Archimede

lên đáy trên F_1 . Kết quả, vật bị đẩy lên một lực $F_A = F_2 - F_1$. Lực đẩy F_A chính là lực đẩy Archimède (do Archimède phát hiện ra vào thế kỉ thứ ba TCN).

Gọi S là diện tích mỗi đáy, ta có:

$$F_1 = p_1 S_1 ; F_2 = p_2 S_2$$

Suy ra, lực đẩy Archimède là:

$$F_A = F_2 - F_1 = S(p_2 - p_1)$$

Từ (6.14) suy ra: $p_2 - p_1 = \rho g(h_1 - h_2) = \rho gh$, với h là chiều cao hình hộp.

Vậy:
$$F_A = \rho ghS = \rho gV \tag{6.27}$$

Trong đó ρ là khối lượng riêng của chất lưu; V là thể tích phần chất lưu bị vật chiếm chỗ (chính là thể tích của vật, trong trường hợp vật bị nhúng chìm); g là gia tốc trọng trường.

Biểu thức (6.27) cũng đúng trong trường hợp vật có hình dạng bất kỳ.

Định luật Archimede được phát biểu như sau: “*Bất kỳ một vật nào nhúng trong chất lưu cũng bị chất lưu đó đẩy lên một lực bằng với trọng lượng của phần chất lưu bị vật chiếm chỗ*”.

Định luật này là cơ sở để nghiên cứu *sự nổi* của các vật và là một trong những nguyên lí của ngành đóng tàu thủy, trục vớt các tàu đắm, hoạt động của tàu ngầm, kính khí cầu,....

§6.5 TÓM TẮT NỘI DUNG

1. Các khái niệm và đại lượng cơ bản của chất lưu

1.1. Chất lưu

Chất lưu là những chất có thể “chảy” được, bao gồm chất lỏng và chất khí.

Chất lưu không có hình dạng nhất định. Khi chuyển động, chất lỏng phân thành từng lớp, giữa các lớp có lực tương tác, gọi là lực nội ma sát hay lực nhớt. Chính lực này làm cho vận tốc của các lớp không bằng nhau.

1.2. Đường dòng, ống dòng

Để dễ dàng nghiên cứu và biểu diễn sự chuyển động của chất lưu một cách trực quan, người ta đưa ra khái niệm về đường dòng và ống dòng:

- **Đường dòng:** là những đường mà tiếp tuyến với nó tại mỗi điểm trùng với véc tơ vận tốc của phần tử chất lưu tại điểm đó.

- **Ống dòng:** Tập hợp các đường dòng tựa trên một đường cong kín bất kì tạo thành một ống dòng.

1.3. Khối lượng riêng và áp suất

a) *Khối lượng riêng:* Khối lượng riêng tại điểm M trong chất lưu được định nghĩa là:

$$\rho = \frac{dM}{dV}$$

trong đó: dV là yếu tố thể tích bao quanh điểm M; dM là khối lượng của chất lưu chứa trong yếu tố thể tích dV .

Nếu chất lưu là đồng nhất và không nén được thì $\rho = \text{const}$. Khi đó ta có:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

với m và V là khối lượng và thể tích của một lượng chất lưu xác định.

Trong hệ SI, khối lượng riêng có đơn vị là kg/m^3 .

b) *Áp suất*: áp suất do chất lưu gây ra tại điểm M trong chất lưu được định nghĩa là:

$$\rho = \frac{dF}{dS}$$

trong đó: dF là áp lực mà chất lưu tác dụng theo hướng vuông góc vào diện tích dS đặt tại M . Nếu áp suất suất tại mọi điểm trên diện tích S đều như nhau thì:

$$\rho = \frac{F}{S}$$

với F là áp lực mà chất lưu tác dụng theo hướng vuông góc vào diện tích S .

2. Phương trình liên tục

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ hay } Sv = \text{const}$$

vận tốc chảy của chất lưu tỉ lệ nghịch với tiết diện của ống dòng.

3. Phương trình Bernoulli

3.1. Thiết lập phương trình

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

hay

$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$$

Vậy: tổng áp suất tĩnh, áp suất trắc địa và áp suất động không thay đổi tại mọi điểm trong chất lưu.

3.2. Hệ quả

a) Nếu xét những điểm trong chất lưu cùng nằm trên một mặt phẳng ngang ($h = \text{const}$) thì áp suất trắc địa không thay đổi.

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}$$

b) Nếu trong chất lưu không có dòng chảy ($v = 0$)

$$p + \rho gh = \text{const}$$

3.3. Vài ứng dụng của phương trình Bernoulli

a) Tính vận tốc chảy ở vòi – công thức Toricelli:

$$v_2 = v = \sqrt{2gh}$$

b) *Bơm tia*: chỗ có tiết diện ống càng nhỏ thì tại đó, áp suất tĩnh p càng nhỏ. Dựa vào nguyên tắc này, người ta chế tạo ra thiết bị gọi là “*bơm tia*” - dùng trong việc sơn các dụng cụ, thiết bị khác - và *bộ chế hòa khí* (*carbureteur*) của động cơ đốt trong.

4. Tĩnh học chất lưu

4.1. Phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu

Nếu ta coi áp suất trên mặt thoáng của chất lưu là p_0 thì áp suất tĩnh tại một điểm cách mặt thoáng của chất lưu một khoảng h là:

$$p = p_0 + \rho gh$$

4.2. Định luật Pascal

Định luật Pascal: Áp suất tác dụng vào chất lưu sẽ được chất lưu truyền đi nguyên vẹn theo mọi hướng đến tất cả các phần tử trong chất lưu và đến thành bình.

4.3. Định luật Archimede

$$F_A = \rho ghS = \rho gV$$

Trong đó ρ là khối lượng riêng của chất lưu; V là thể tích phần chất lưu bị vật chiếm chỗ (chính là thể tích của vật, trong trường hợp vật bị nhúng chìm); g là gia tốc trọng trường. *Bất kỳ một vật nào nhúng trong chất lưu cũng bị chất lưu đó đẩy lên một lực bằng với trọng lượng của phần chất lưu bị vật chiếm chỗ*.

§6.6 CÂU HỎI LÝ THUYẾT VÀ BÀI TẬP

1. Câu hỏi lý thuyết

- 1) Chất lưu lí tưởng là gì? Nêu khái niệm đường dòng và ống dòng?
- 2) Thiết lập phương trình liên tục và phương trình Bernoulli?
- 3) Ứng dụng phương trình Bernoulli, xác định công thức Toricelli?
- 4) Bơm tia là gì? Vẽ sơ đồ cấu tạo và nêu nguyên lý hoạt động của bộ chế hòa khí?

- 5) Viết phương trình cơ bản của tĩnh học chất lưu? Nêu ý nghĩa các đại lượng?
 6) Phát biểu định luật Pascal và ứng dụng của nó?

2. Bài tập

Bài tập 1: Khí quyển có áp suất $P_0 = 1 \text{ atm}$. Thì diện tích 1 dm^2 trên cơ thể bạn sẽ chịu một áp lực bao nhiêu? Áp lực đó tương đương trọng lượng của vật bao nhiêu kilogram?

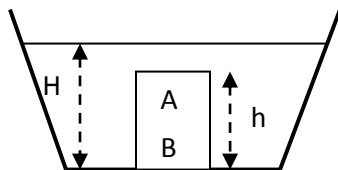
ĐS: $1013 \text{ N}; 100 \text{ Kg}$

Bài tập 2: Tính áp lực do nước đè lên đáy bể bơi hình hộp chữ nhật dài 10 m , rộng 5 m và sâu 2 m chứa đầy nước. Coi khối lượng riêng của nước là 1 tấn/m^3 , áp suất khí quyển là 10^5 N/m^2 .

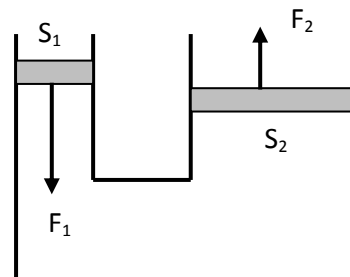
ĐS: $9,67 \cdot 10^5 \text{ N}$

Bài tập 3: Úp thùng hình trụ (hình 6.10), chiều cao $h = 1 \text{ m}$ đựng đầy dầu vào bể nước bằng cách đổ dầu vào thùng, đậy kín nắp úp xuống, nhìn vào nước rồi mở nắp thì khoảng cách từ mặt nước đến miệng thùng là $H = 3 \text{ m}$. Tính áp suất ở điểm A sát đáy thùng. Áp suất khí quyển $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$, khối lượng riêng của dầu: $\rho_d = 900 \text{ Kg/m}^3$; $\rho_0 = 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

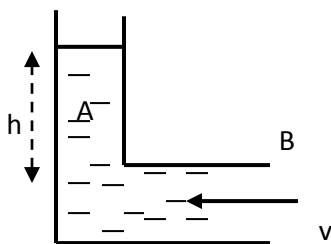
ĐS: $1,18 \text{ at}$



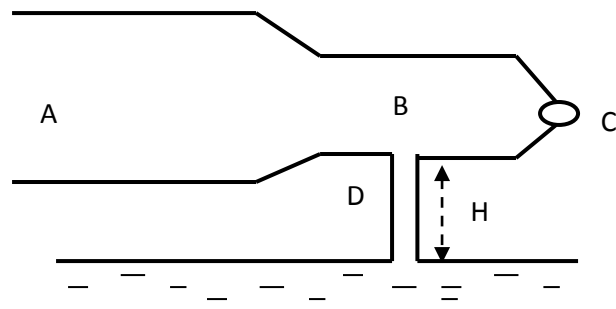
Hình 6.10



Hình 6.11



Hình 6.12



Hình 6.13

Bài tập 4: Máy thủy lực (hình 6.11) có tiết diện Pittông 1: $S_1 = 10\text{cm}^2$; Pittông 2: $S_2 = 200\text{cm}^2$. Ấn Pittông 1 bởi $F_1 = 10\text{N}$ khiến nó đi xuống một đoạn $h_1 = 2\text{ cm}$. Tính:

a) Lực F_2 nâng Pittông 2 lên.

b) Độ cao h_2 mà Pittông 2 được nâng lên.

ĐS: a) $F_2 = 200\text{N}$; b) $h_2 = 10\text{ mm}$

Bài tập 5: Máy đo vận tốc dòng chảy là ống Pitot (hình 6.12). Mực nước trong ống: $h = 20\text{cm}$, miệng ống sát mặt nước. Tính vận tốc dòng chảy v .

ĐS: $v = 2\text{m/s}$

Bài tập 6: Cắm hai ống áp kế thẳng đứng vào một ống ngang có nước chảy ở 2 chỗ có tiết diện $S_1 < S_2$ thì độ lệch mực nước ở hai ống đó là Δh . Tính lưu lượng nước Q chảy trong ống ngang (thể tích nước qua tiết diện trong 1 giây) theo Δh , S_1 , S_2 và gia tốc trọng trường g .

$$\text{ĐS: } Q = S_1 \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta h}{1 - \left(\frac{S_1^2}{S_2^2}\right)}}$$

Bài tập 7: Máy phun nước (hình 6.13). Khối lượng riêng của không khí ρ_{kk} , của nước ρ_n . Tại A có tiết diện S_A , áp suất tĩnh P_A . Tại B có tiết diện S_B . Áp suất khí quyển ở mặt thoáng của nước là P_0 . Thổi không khí với vận tốc ở A là v_A thì nước phun ra ở C. Tính độ cao của ống?

$$\text{ĐS: } h = \frac{1}{\rho_n g} \left[P_0 - P_A + \frac{\rho_k v_A^2}{2} \frac{(S_A^2 - S_B^2)}{S_B^2} \right]$$

Chương 7

THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ VÀ CHẤT KHÍ LÝ

TƯỜNG

Nội dung chương

- 7.1. Nội dung của thuyết động học phân tử
- 7.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử
- 7.3. Nhiệt độ - Nhiệt giai
- 7.4. Hệ quả của thuyết động học phân tử
- 7.5. Khí thực
- 7.6. Tóm tắt nội dung
- 7.7. Câu hỏi lý thuyết và bài tập

Mục tiêu chương

Học xong chương này sinh viên nắm được: Các nội dung cơ bản và phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử, hiểu được ý nghĩa vật lý của nhiệt độ, nắm được các nhiệt giai cơ bản. Sinh viên cũng nắm được cách suy ra các định luật thực nghiệm của chất khí từ phương trình động học cơ bản và biết cách vận dụng tốt nó để khảo sát các tính chất của chất khí.

§7.1 NỘI DUNG CỦA THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

Thuyết Động Học Phân Tử là một trong những thuyết Vật Lý ra đời sớm nhất. Nó kế thừa những quan điểm cổ đại về cấu tạo vật chất và những kết quả của cuộc đấu tranh kéo dài nhiều thế kỷ giữa các tư tưởng đối lập nhau về bản chất của nhiệt

Nội dung cơ bản của Thuyết Động Học Phân Tử có thể tóm tắt bằng các quan điểm sau:

- + Vật chất được cấu tạo gián đoạn từ những hạt rất nhỏ, gọi là phân tử.
- + Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng.
- + Các phân tử tương tác với nhau bằng các lực hút và lực đẩy
- + Chuyển động và tương tác của các phân tử tuân theo các định luật cơ học của Newton.

Thuyết Động Học Phân Tử không những giải thích được các hiện tượng nhiệt của các chất như: khuếch tán, truyền nhiệt, dẫn nhiệt, bay hơi, ngưng tụ, ... mà còn là cơ sở để nghiên cứu về các quá trình biến đổi trạng thái của khí.

§7.2 PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

1. Mẫu khí lý tưởng

Để dễ dàng vận dụng thuyết Động Học Phân Tử vào việc khảo sát định lượng các tính chất của chất khí, ta bỏ qua những yếu tố phụ không ảnh hưởng đến những tính chất cơ bản của khí. Từ đó, xây dựng nên mẫu khí lý tưởng, bao gồm các đặc tính sau:

- + Một khối khí bất kì cũng gồm vô số các phân tử. Các phân tử có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng, và được coi là những chất điểm.
- + Các phân tử khí luôn chuyển động hỗn loạn không ngừng và chỉ tương tác với nhau khi va chạm vào nhau.
- + Va chạm giữa các phân tử khí với nhau hay với thành bình là hoàn toàn đàn hồi.

Trên thực tế không có khí lý tưởng. Tuy nhiên, trong phạm vi gần đúng, các kết quả rút ra đối với khí lý tưởng cũng áp dụng được cho khí thực. Trong giáo trình này, ta chỉ nghiên cứu về khí lý tưởng.

2. Áp suất khí lý tưởng

Các phân tử khí chuyển động hỗn loạn không ngừng va vào thành bình hoặc vào bề mặt ΔS bất kì nằm trong khối khí, tạo nên áp suất. Chuyển động của các phân tử càng nhanh, tức động năng càng lớn, thì đập vào bình với áp lực càng lớn, gây ra áp suất càng lớn. Ngoài ra, mật độ các phân tử khí càng lớn thì khả năng va chạm với thành bình càng cao, suy ra áp suất càng lớn.

Vậy: áp suất của khí có liên quan đến động năng của các phân tử khí và mật độ khí. Hệ thức liên hệ giữa áp suất, mật độ và động năng của các phân tử khí, gọi là phương trình cơ bản của Thuyết Động Học Phân Tử.