

CHƯƠNG I

MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG

♣ 1-1. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC. ỨNG DỤNG.

I. Đối tượng:

Môn học Thủy khí động lực ứng dụng, còn được gọi là Cơ học chất lỏng ứng dụng hay gọi một cách gần đúng là Thủy lực. Đối tượng nghiên cứu của môn học là chất lỏng. Chất lỏng ở đây hiểu theo nghĩa rộng, bao gồm chất lỏng ở thể nước - Chất lỏng không nén được (Khối lượng riêng ρ không thay đổi) và chất lỏng ở thể khí - Chất lỏng nén được (Khối lượng riêng thay đổi $\rho \neq \text{const}$). Để tiện cho việc nghiên cứu, cũng như theo sự phát triển của khoa học, người ta chia chất lỏng thành chất lỏng lý tưởng hay là chất lỏng không nhớt và chất lỏng thực, còn gọi là chất lỏng nhớt (độ nhớt $\mu \neq 0$). Chất lỏng tuân theo quy luật về lực nhớt của Niu-Tơn là chất lỏng Niu-Tơn. Còn những chất lỏng không tuân theo quy luật này người ta gọi là chất lỏng phi Niu-Tơn, như dầu thô chẳng hạn.

Thủy khí động lực nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng. Thông thường trong giáo trình, người ta chia thành ba phần:

- Tĩnh học chất lỏng: nghiên cứu các điều kiện cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh.

- Động học chất lỏng: nghiên cứu chuyển động của chất lỏng theo thời gian, không kể đến nguyên nhân gây ra chuyển động.

- Động lực học chất lỏng: nghiên cứu chuyển động của chất lỏng và tác dụng tương hỗ của nó với vật rắn. Cụ thể là phải giải 2 bài toán cơ bản sau đây:

1. Xác định sự phân bố vận tốc, áp suất, khối lượng riêng và nhiệt độ trong chất lỏng.
2. Xác định lực tác dụng tương hỗ giữa chất lỏng và vật rắn xung quanh nó.

Vị trí của môn học: nó là nhịp nối giữa những môn khoa học cơ bản (Toán, Lý..) với những môn kỹ thuật chuyên ngành.

2. Phương pháp nghiên cứu

- Dùng 3 phương pháp sau đây:

- Lý thuyết: Sử dụng công cụ toán học, chủ yếu như toán giải tích, phương trình vi phân. Chúng ta sẽ gặp lại các toán tử vi phân quen thuộc như:

gradient:
$$\vec{\text{grad}} p = \vec{i} \frac{\partial p}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial p}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial p}{\partial z}$$

divergent:
$$\text{div} \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z}$$

rotor:
$$\vec{\text{rot}} v = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ V_x & V_y & V_z \end{vmatrix}$$

Toán tử Laplas:
$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Đạo hàm toàn phần:
$$V(x, y, z, t): \frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t}$$

Và sử dụng các định lý tổng quát của cơ học như định lý bảo toàn khối lượng, năng lượng, định lý biến thiên động lượng, mômen động lượng, ba định luật trao đổi nhiệt (Fourier), vật chất (Fick), động lượng (Newton).

- Phương pháp thực nghiệm: dùng trong một số trường hợp mà không thể giải bằng lý thuyết, như xác định hệ số cản cục bộ.

- Bản thực nghiệm: kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

3. Ứng dụng:

- Thủy khí động lực có ứng dụng rất rộng rãi trong các ngành khoa học, kỹ thuật như giao thông vận tải, hàng không, cơ khí, công nghệ hoá học, vi sinh, vật liệu... vì chúng đều có liên quan đến chất lỏng: nước và khí

♣ 1-2. SƠ LƯỢC LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN MÔN HỌC.

Thủy khí động lực biểu thị sự liên hệ rất chặt chẽ giữa khoa học và yêu cầu thực tế. Nông nghiệp đã đòi hỏi thủy lợi phát triển rất sớm như kênh đào, đập nước, đóng thuyền, bè... Ở đây chỉ xin nêu ra một số nhà bác học quen thuộc mà qua đó thấy sự phát triển của môn học. Tên tuổi Acsimet (287-212, trước công nguyên) gắn liền với thủy tĩnh-lực đẩy Acsimet.

Nhà danh họa ý Lêôna Đovanhxi (1452-1519) đưa ra khái niệm về lực cản của chất lỏng lên các vật chuyển động trong nó. Ông rất muốn biết tại sao chim lại bay được. Nhưng phải hơn 400 năm sau, Jucopxki và Kutta mới giải thích được: đó là lực nâng.

Hai ông L.Ôle (1707-1783) và D.Becnuli (1700-1782) là những người đã đặt cơ sở lý thuyết cho thủy khí động lực, tách nó khỏi cơ học lý thuyết để thành một ngành riêng. Hai ông đều là người Thụy Sĩ, sau được nữ hoàng Nga mời sang làm việc ở Viện hàn lâm khoa học Pêtêcbua cho đến khi mất. Tên tuổi của Navie và Stôc gắn liền với nghiên cứu chất lỏng thực. Hai ông đã tìm ra phương trình vi phân chuyển động từ năm 1821 đến năm 1845. Nhà

bác học người Đức L.Prandtl đã sáng lập ra lý thuyết lớp biên (1904), góp phần giải nhiều bài toán động lực học. Nửa cuối thế kỷ này, thủy khí động lực phát triển như vũ bão với nhiều gương mặt sáng chói, kể cả trong nước ta.

♣ 1-3. MỘT SỐ ĐỊNH NGHĨA VÀ TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA CHẤT LỎNG

1. Khối lượng riêng và trọng lượng riêng.

Khối lượng M của chất lỏng được đặc trưng bởi khối lượng của 1 đơn vị thể tích w gọi là *khối lượng riêng* hay khối lượng đơn vị:

$$\rho = \frac{M}{W} \text{ (kg / m}^3\text{)}$$

$$\text{Tương tự, trọng lượng riêng} \quad \gamma = \frac{G}{W} \text{ (N / m}^3\text{; kG / m}^3\text{)}$$

Trọng lượng 1 vật có khối lượng 1 kg có thể coi bằng 9,8N ;

$$1\text{kG} \approx 10\text{N} = 1\text{daN}$$

Ta có mối liên hệ: $\gamma = \rho g$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Tỷ trọng là tỷ số giữa trọng lượng riêng của chất đó so với trọng lượng riêng của nước ở nhiệt độ $t^0=4^0\text{C}$

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_{n,4}},$$

2. Chất lỏng có một số tính chất dễ nhận biết sau đây.

Tính liên tục: vật chất được phân bố liên tục trong không gian. Tính dễ *di động* biểu thị ở chỗ: ứng suất tiếp (nội ma sát) trong chất lỏng chỉ khác 0 khi có chuyển động tương đối giữa các lớp chất lỏng.

Tính nén được: thể tích W của chất lỏng thay đổi khi áp suất tác dụng của áp suất p và nhiệt độ t thay đổi. Ta có hệ số nén được:

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp} \text{ (m}^2 \text{ / N)}$$

$$\beta_T = \frac{1}{W} \frac{dW}{dT} \text{ (1/}^0 \text{ K)}$$

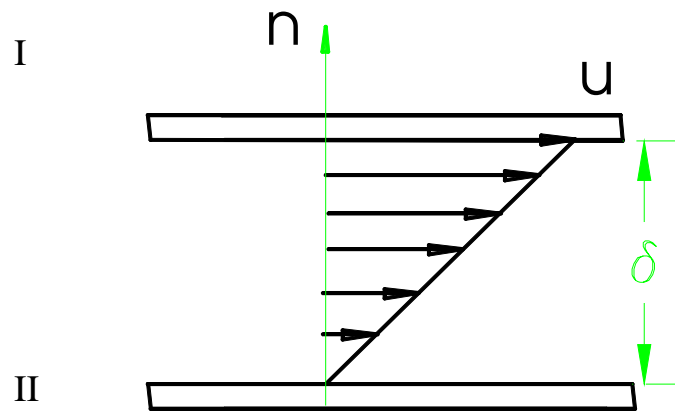
Mô đun đàn hồi: $E = \frac{1}{\beta}$, là khả năng chống lại sự biến dạng của chất lỏng.

Bảng 1-1: Khối lượng riêng, trọng lượng riêng, và tỷ trọng của một số chất

tt	Tên gọi	KLR, $\rho, \text{kg/m}^3$	TLR $\gamma, \text{N/m}^3$	Tỷ trọng δ	Nhiệt độ ^0C	áp suất, at
1.	Nước sạch	1000	9810	1	4	
2.	Xăng	700	6867	0,7	16	
3.	Thủy ngân	13.550	132.9255	13,55	15	
4.	Sắt	7.800	76.518	7,8		
5.	Cồn	800	7848	0,8	0	
6.	Dầu madut	900	8829	0,9		
7.	Không khí	1,127	11,77	$1,127 \cdot 10^{-3}$	27	1

3. Tính nhớt và giả thuyết của Newton:

Tính nhớt là tính cản trở chuyển động của chất lỏng. Ta nghiên cứu tính nhớt dựa trên thí nghiệm của Newton. Có hai tấm phẳng (H.1-1): Tấm dưới II cố định; Tấm trên I có diện tích S chuyển động dưới tác dụng của ngoại lực F. Giữa 2 tấm có 1 lớp mỏng chất lỏng h. Sau đó một thời gian nào đó, tấm I sẽ chuyển động đều với vận tốc tương đối v // với tấm II.



H.1-1

Thí nghiệm cho ta thấy rằng các phân tử chất lỏng dính chặt vào tấm I sẽ di chuyển cùng với vận tốc u , còn những phân tử dính chặt vào tấm II thì không chuyển động. Vận tốc các phân tử lỏng giữa 2 tấm phẳng tăng theo quy luật tuyến tính và tỉ lệ với khoảng cách tấm II (H.1-1).

Newton giả thiết là khi chất lỏng chuyển động, nó chảy thành lớp vô cùng mỏng với vận tốc khác nhau, do đó trượt lên nhau. Giữa các lớp chất lỏng chuyển động tương đối với nhau ấy xuất hiện lực ma sát. Đó là lực ma sát trong, còn gọi là lực nhớt:

$$T = \tau.S;$$

ứng suất tiếp:
$$\tau = \mu \frac{du}{dn}; \quad (1.1)$$

μ là hệ số chỉ phụ thuộc vào chất lỏng giữa hai tấm phẳng, nó đặc trưng cho tính nhớt gọi là **hệ số nhớt động lực** hoặc độ nhớt động lực.

Trong đó du/dn là gradient vận tốc theo phương n vuông góc với dòng chảy \vec{u} . Những chất lỏng tuân theo (1.1) gọi là chất lỏng Newton như đã nói ở trên.

Từ (1.1) rút ra
$$\mu = \frac{T}{S} \frac{du}{dn}$$

Nếu lấy $S = 1$ đơn vị; $\frac{du}{dn} = 1$ đơn vị thì μ tương ứng với một lực. Đơn vị đo μ trong hệ SI là N.s/m^2 ; trong hệ CGS là poa-zơ: P; $1\text{P} = 10^{-1}\text{N.s/m}^2$

Ngoài μ , còn dùng **hệ số nhớt động học**

$$\nu = \mu/\rho$$

trong các biểu thức có liên quan tới chuyển động. Đơn vị đo ν trong hệ SI là m^2/s , trong hệ CGS là:

$$\text{Stốc: St; } 1\text{St} = 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}.$$

Các hệ số μ và ν thay đổi theo nhiệt độ và áp suất. Nhìn chung μ và ν của chất lỏng giảm khi nhiệt độ tăng và tăng khi áp suất tăng; của chất khí tăng khi nhiệt độ tăng và giảm khi áp suất tăng.

Ví dụ:

Bảng 1- 2:Độ nhớt động học của một số chất

	t, °C	ν, St
Nước	20	0,0001
Dầu PS-46	30	46
Dầu: IC-30,	50	30
Không khí	27	$13,94.10^{-11}$

4. Ngoại lực tác dụng lên chất lỏng được chia thành 2 loại:

- Lực mặt là lực tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với diện tích mặt tiếp xúc (như áp lực: $P=p.S$, lực ma sát: $T=\tau.S, \dots$)

- Lực khối là lực tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với khối lượng (như trọng lực: $G=mg$, lực quán tính: $F_{qt}=m.a, \dots$)

Chương II

TĨNH HỌC CHẤT LỎNG

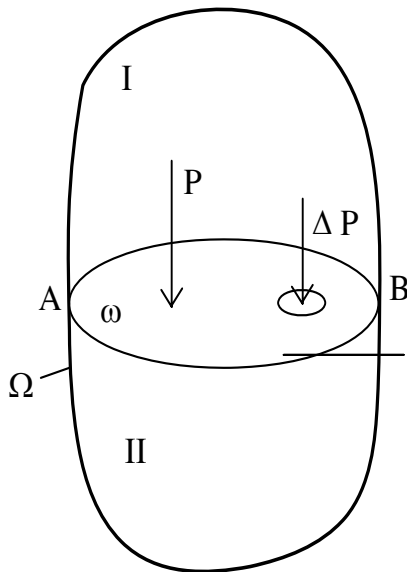
Tĩnh học chất lỏng hay thủy tĩnh học nghiên cứu các quy luật về cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh. Người ta phân ra làm 2 trạng thái tĩnh: Tĩnh tuyệt đối - chất lỏng không chuyển động so với hệ tọa độ cố định gắn liền với trái đất; Tĩnh học tương đối - chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định, nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối. Như vậy, ở đây chất lỏng thực và lý tưởng là một. Chương này chủ yếu nghiên cứu áp suất và áp lực do chất lỏng tạo nên.

♣ 2-1. ÁP SUẤT THỦY TĨNH.

1. Định nghĩa:

Áp suất thủy tĩnh là những ứng suất gây ra bởi các ngoại lực tác dụng lên chất lỏng ở trạng thái tĩnh

H.2.1



Để thể hiện rõ hơn khái niệm áp suất thủy tĩnh trong chất lỏng, ta xét thể tích chất lỏng giới hạn bởi diện tích Ω (H.2-1). Tưởng tượng cắt khối chất lỏng bằng mặt phẳng AB, chất lỏng trong phần I tác dụng lên phần II qua mặt cắt ω . Bỏ I mà vẫn giữ II ở trạng thái cân bằng thì phải thay tác dụng I lên II bằng lực P gọi là áp lực thủy tĩnh tác dụng lên mặt ω .

Áp suất trung bình $p_{tb} = \frac{P}{\omega}$

Còn áp suất tại điểm M: $p_M = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$

Đơn vị của áp suất: $N/m^2 = Pa$ (Pascal)

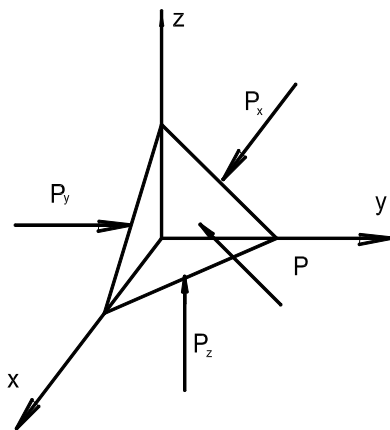
$$1 \text{at} = 9,8 \cdot 10^4 N/m^2 = 10^4 kG/m^2 = 10 \text{mH}_2\text{O} = 10 T/m^2 = 1 kG/cm^2$$

$$1 \text{bar} = 10^5 \cdot N/m^2, \quad \text{MPa} = 10^6 N/m^2$$

Áp suất là một đơn vị véc tơ

2. Hai tính chất của áp suất thủy tĩnh

a. Áp suất thủy tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (H.2-2).



b. Áp suất thủy tĩnh tại mỗi điểm theo mọi phương bằng nhau.

Có thể chứng minh bằng cách xét khối chất lỏng trong một hình 4 mặt có các cạnh dx, dx, dz vô cùng nhỏ bé như hình vẽ. Khi thể tích $\Delta W = dx \cdot dy \cdot dz \neq 0$ thì

$$\vec{p}_x \neq \vec{p}_y \neq \vec{p}_z \neq \vec{p}$$

Khi $\Delta W = dx \cdot dy \cdot dz \rightarrow 0$ thì $p_x = p_y = p_z = p$ (2.1)

♣ 2-2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CÂN BẰNG CỦA CHẤT

LỎNG- PHƯƠNG TRÌNH Ó-LE TĨNH (1755)

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa ngoại lực tác dụng vào một phần tử chất lỏng với nội lực sinh ra trong đó (tức là áp suất thủy tĩnh p)

Xét một phần tử chất lỏng hình hộp có các cạnh $dx, dy, dz // x, y, z$ (H.2-3). Trọng tâm $M(x,y,z)$ chịu áp suất thủy tĩnh $p(x,y,z)$

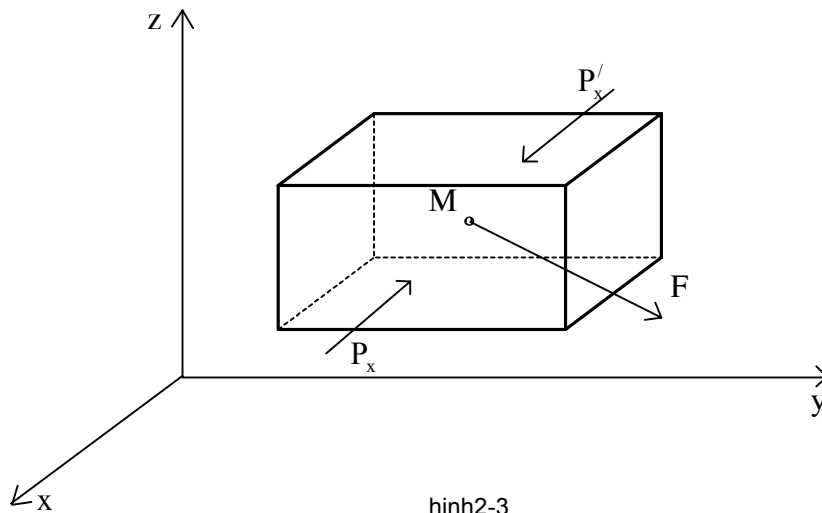
Lực mặt tác dụng lên hình hộp gồm các lực do áp suất thủy tĩnh tác động trên 6 mặt (áp lực).

Theo phương ox áp lực từ hai phía sẽ là

$$P_x = \left(p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz \quad \text{và} \quad P'_x = \left(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx \right) dydz$$

Lực khối theo phương ox là: $mX = X\rho dx dy dz$

Với $m = \rho dx dy dz;$



Lập điều kiện cân bằng của phần tử chất lỏng hình hộp dưới tác dụng của lực khối và áp lực.

Hình chiếu của các lực lên trục x :

$$\sum_x = P'_x - P_x + mX = 0 \quad (2-2)$$

Thay vào (2-2) ta được: