

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

-----o0o-----

TS. LƯƠNG NGỌC LỢI

**CƠ HỌC THỦY KHÍ
ỨNG DỤNG**

Hà Nội, 2008

Quyển sách giới thiệu kiến thức lý thuyết cơ bản về cơ học chất lỏng và chất khí và ứng dụng của nó trong các ngành kỹ thuật. Nội dung chủ yếu gồm tính chất cơ bản chất lỏng và chất khí, tĩnh học, động học, động lực học chất lỏng và một số chuyên đề ứng dụng trong tính toán đường ống thủy lực và khí động, dòng chảy trong khe hẹp (bài toán bồi trơn và làm mát...), lực tác động lên vật ngập trong lòng chất lỏng chuyển động, lý thuyết thứ nguyên-tương tự. Đặc biệt có phần giới thiệu cơ bản dòng tia và nguyên lý cơ bản về máy thủy lực.

Giáo trình này cho sinh viên chuyên ngành kỹ thuật tàu thủy với thời lượng 4 đv học trình theo nội dung của Chương trình khung ngành Kỹ thuật Tàu thủy được duyệt năm 2008 của Bộ Giáo dục và Đào tạo. Ngoài ra là giáo trình cho sinh viên các ngành cơ khí, làm tài liệu tham khảo cho sinh viên, kỹ sư các ngành kỹ thuật khác .

MỤC LỤC

| | trang | |
|--------------------|--|-----|
| Chương 1 | Một số tính chất vật lý cơ bản của chất lỏng | 3 |
| Chương 2 | Tĩnh học chất lỏng | 10 |
| Chương 3 | Động học chất lỏng | 25 |
| Chương 4 | Động lực học chất lỏng | 36 |
| Chương 5 | Chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được | 59 |
| Chương 6 | Chuyển động một chiều của chất khí | 71 |
| Chương 7 | Tính toán thủy lực đường ống | 82 |
| Chương 8 | Lực tác động lên vật ngập trong lòng chất lỏng chuyển động | 89 |
| Chương 9 | Lý thuyết thứ nguyên và tương tự | 98 |
| Chương 10 | Máy thủy lực và trạm | 107 |
| Tài liệu tham khảo | | 115 |

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-Ton (I.Newton) là chất lỏng Niu-Ton. Còn những chất lỏng không tuân theo quy luật này người ta gọi là chất lỏng phi Niu-Ton, 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:
 - + Xác định sự phân bố vận tốc, áp suất, khối lượng riêng và nhiệt độ trong chất lỏng.
 - + 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.

II. 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:

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

$$\text{divergent:} \quad \text{div} \vec{u} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

$$\text{rot } \vec{u} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ u_x & u_y & u_z \end{vmatrix}$$

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

$$\text{Đạo hàm toàn phần: } \vec{W}(x, y, z, t): \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{u}}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

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.

III. 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, TCN) gắn liền với thủy tĩnh-lực đẩy Acsimet.

Nhà danh hoạ 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. Chúng ta sẽ còn gặp lại hai ông nhiều lần trong giáo trình sau này. 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

I. Tính chất chung.

Chất lỏng có tính chất liên tục, di động, không chịu lực cắt, lực kéo, có tính chống nén cao (như nước, dầu), hoặc khả năng chịu nén tốt (như không khí, hơi).

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.

II. 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:

$$\rho = \frac{M}{W} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1-1)$$

Tương tự, trọng lượng riêng $\gamma = \frac{G}{W} \text{ (N/m}^3\text{ ; kG/m}^3\text{)}$ (1-2)

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 $t^0=4^0\text{C}$.

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_{n,4}} \quad (1-3)$$

Sự khác nhau về tính chất của một số chất thể hiện trên bảng 1-1.

III. Tính nén được:

Sự thay đổi thể tích W của chất lỏng khi tác dụng của áp suất p hoặc nhiệt độ t . Để biểu thị sự thay đổi đó ta có hệ số nén được:

Do áp suất $\beta_p = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp}$, (m^2/N) (1-4)

Do nhiệt độ $\beta_T = \frac{1}{W} \frac{dW}{dT}$, ($1/^\circ\text{K}$)

Mô đun đàn hồi: $E = \frac{1}{\beta}$ (1-5)

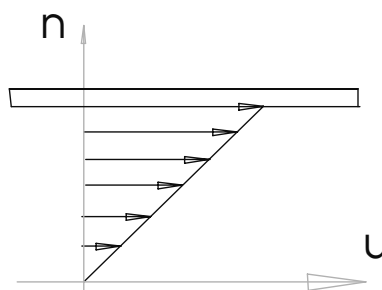
Là khả năng chống lại sự biến dạng của chất lỏng khi bị tác động của áp suất hoặc nhiệt độ.

Bảng 1 – 1: Tính chất vật lý của một số chất

| TT | Tên gọi | KLR, $r, \text{kg/m}^3$ | TLR $\gamma, \text{N/m}^3$ | Tỷ trọng δ | Nhiệt độ, $^{\circ}\text{C}$ |
|----|-----------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1 | Nước sạch | 1000 | 9810 | 1 | 4 |
| 2 | Xăng | | | 0,7-0,75 | 16 |
| 3 | Thuỷ ngân | | | 13,55 | 15 |
| 4 | Sắt | | | 7,8 | |
| 5 | Cồn | | | 0,8 | 0 |
| 6 | Dầu madut | | | 0,89-0,92 | 15 |
| 7 | Không khí | 1,127 | 11,77 | $1,127 \cdot 10^{-3}$ | 27 |

1. Tính nhớt và giả thuyết của Newton:

Tính nhớt là thuộc tính của chất lỏng làm cản trở chuyển động của bản thân chất lỏng. Ta nghiên cứu tính nhớt dựa trên thí nghiệm của Newton. Có hai tấm phẳng : 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 u // với tấm II.



Hình 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 lớp chất lỏng giữa 2 tấm phẳng tăng theo quy luật tuyến tính và tỉ lệ với khoảng cách tấm II (Hình 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:

$$T = \tau \times S \quad (1-6)$$

$$\text{Ứng suất tiếp:} \quad \tau = \mu \frac{du}{dn} \quad (1-7)$$

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 (1-6) gọi là chất lỏng Newton như đã nói ở trên.

Từ (1-6) rút ra: $\mu =$

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; $1P = 10^{-1}N.s/m^2$

Ngoài μ , còn dùng **hệ số nhớt động học** $\nu = \mu/\rho$ (1-8)

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 Stốc:(St) ; $1St = 10^{-4}m^2/s = cm^2/s$.

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.

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

| | $t, ^\circ C$ | P, at | ν, St |
|-------------------|---------------|---------|-----------|
| Nước | 20 | | 0,0001 |
| Dầu: IC-30, PS-46 | 30 | | 30 |

2. Phân loại lực tác dụng và chất lỏng công tác:

Để thuận tiện cho việc tính toán sau này có thể chia 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: $F_{qt}=m.a, \dots$)

Chất lỏng thực là chất lỏng có độ nhớt (μ khác không). Khi giải những bài toán thủy lực phức tạp, có nhiều ẩn số người ta đơn giản hóa bài toán. Một trong cách đó là coi chất lỏng có độ nhớt thấp như chất lỏng không có tính nhớt, gọi đó là chất lỏng lý tưởng.

*** Câu hỏi:**

1. Khái niệm về khối lượng riêng, trọng lượng riêng, tỷ trọng của chất lỏng, chất khí. Chỉ ra sự khác nhau cơ bản về giá trị của nước thường, không khí, thủy ngân, sắt.
2. Khái niệm về tính nén được của chất lỏng. Thể tích chất lỏng thay đổi phụ thuộc những yếu tố nào?
3. Khái niệm về tính chất của chất lỏng. Bản chất của việc sinh ra tính nhớt.
4. Khái niệm độ nhớt động học, độ nhớt động lực học, đơn vị. Sự khác nhau cơ bản độ nhớt của không khí, nước thường, dầu.
5. Khái niệm về chất lỏng thực, chất lỏng lý tưởng. Phân loại ngoại lực tác động lên chất lỏng.

CHƯƠNG II

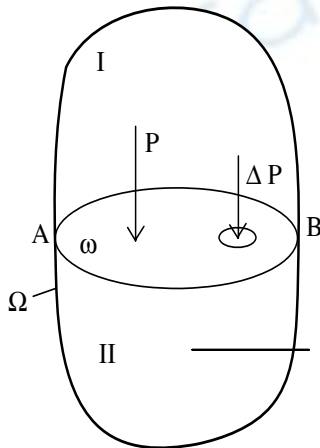
TÍNH HỌC CHẤT LỎNG

Tính 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.

I. 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.



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 (Hình 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.

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

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)

$$1at = 9,8 \cdot 10^4 N/m^2 = 10^4 kG/m^2 = 10mH_2O = 10T/m^2 = 1kG/cm^2$$

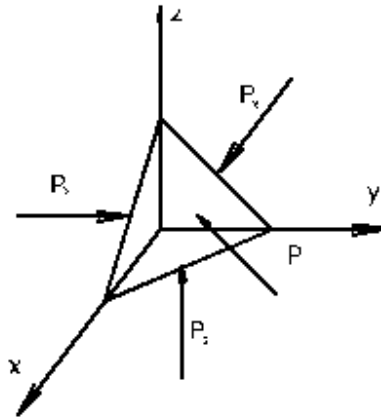
$$1bar = 10^5 \cdot N/m^2; \quad MPa = 10^6 N/m^2; \quad \text{Áp suất là một đơn vị véctơ}$$

II. 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 (Hình 2-2).

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

Có thể giả thích điều đó bằng cách xét khối chất lỏng dạng một tứ diện (Hình 2-2) là một góc của tọa độ ĐỀ Các. Các cạnh dx, dy, dz vô cùng nhỏ bé như hình vẽ. Trên bốn mặt có bốn véctơ áp suất tương ứng.



Hình 2-2

Khi thể tích khối chất lỏng $\Delta W = dx \cdot dy \cdot dz \neq 0$ thì các vectơ đó hoàn toàn khác nhau:

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

Khi thể tích này nhỏ vô cùng $\Delta W = dx \cdot dy \cdot dz \rightarrow 0$ thì giá trị của các vectơ này hoàn toàn bằng nhau: $p_x = p_y = p_z = p$ (2-1)

♣ 2-2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CÂN BẰNG CỦA CHẤT LỎNG PHƯƠNG TRÌNH Ô-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 $dx, dy, dz \parallel x, y, z$ (Hình 2-3). Trọng tâm $M(x, y, z)$ chịu áp suất thủy tĩnh $p(x, y, z)$.

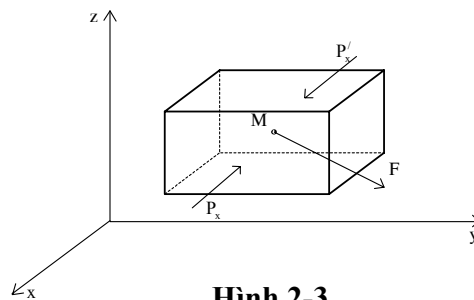
Lực mặt tác dụng lên hình hộp gồm các lực do áp suất thủy tĩnh tác động trên 6 mặt (áp lực).

Theo phương ox áp lực từ hai phía sẽ là:

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

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

Với $m = \rho \cdot dx \cdot dy \cdot dz$;



Hình 2-3

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

Hình chiếu của các lực lên trục x:

$$\text{Do áp suất} \quad \sum_x = P'_x - P_x + mX = 0 \quad (2-2)$$

Thay vào (2-2) ta được:

$$\sum_x = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + X\rho dx dy dz = 0, \text{ với: } m = \rho dx dy dz \neq 0$$

$$\text{Hay là} \quad X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0$$

Tương tự cho trục y và z

$$Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0$$

$$(2-3)$$

Đó là phương trình Ole tĩnh viết dưới dạng ba hình chiếu.

$$\text{Viết dưới dạng vectơ:} \quad \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p = 0 \quad (2-4)$$

Trong đó : \vec{F} là lực khối đơn vị - lực khối của 1 đơn vị khối lượng:

$$\vec{F} = iX + jY + kZ$$

Nhân các phương trình (2-3) lần lượt với dx, dy, dz, rồi cộng lần lượt lại theo cột, ta được:

$$Xdx + Ydy + Zdz = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right)$$

$$\text{Hay là} \quad Xdx + Ydy + Zdz = \frac{1}{\rho} dp \quad (2-5)$$

Đây là một dạng khác của phương trình vi phân cân bằng của chất lỏng thể hiện sự biến thiên áp suất theo không gian ba chiều.

Mặt đẳng áp là mặt trên đó tại mọi điểm áp suất $p = \text{const}$, hay $dp = 0$. Từ (2-5) suy ra phương trình của mặt đẳng áp:

$$\text{Hay là} \quad Xdx + Ydy + Zdz = 0 \quad (2-5')$$

♣ 2-3. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN THỦY TĨNH

Là việc áp dụng cụ thể phương trình vi phân cân bằng trong các trường hợp chất lỏng tĩnh tuyệt đối và tĩnh tương đối.

I. Chất lỏng tĩnh tuyệt đối

Khái niệm *tĩnh tuyệt đối* là tuyệt đối xét với hệ quy chiếu là trái đất.

Xét khối chất lỏng trong bình chứa đặt cố định dưới mặt đất. Trường hợp này lực khối chỉ có trọng lực hướng xuống: $\vec{G} = m\vec{g}$, nên các thành phần của lực khối sẽ là:

$$X = 0, Y = 0, Z = -g$$

Từ (2-5) ta có: $-gdz = \frac{1}{\rho} dp$

Sau khi tích phân lên, ta được phương trình cơ bản thủy tĩnh:

$$\frac{p}{\gamma} + z = \text{const} = C \quad (2-6)$$

Khi $dp = 0$ ta có phương trình họ mặt đẳng áp là:

$$z = \text{const} \quad (2-6')$$

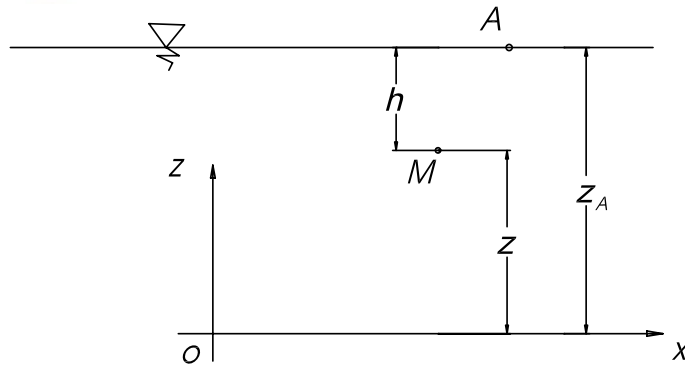
Các mặt đẳng áp trong chất lỏng tĩnh tuyệt đối (trong đó có mặt thoáng) là các mặt phẳng nằm ngang.

Hệ quả: Tính áp suất điểm

Cần tính áp suất tại điểm M: $p = ?$

Từ công thức (2-6): $\frac{p_A}{\gamma} + z_A = \frac{p}{\gamma} + z = \dots = \text{Const}$

Hay là $\frac{p}{\gamma} = \frac{p_A}{\gamma} + (z_A - z) \rightarrow p = p_A + \gamma(z_A - z)$



Hình 2-4

Nếu điểm A tại mặt thoáng $p_A = p_a$ và $z_A - z = h$ là độ sâu từ mặt thoáng đến điểm M, ta được:

$$p = p_A + \gamma h \rightarrow p = p_a + \gamma h \quad (2-7)$$

γh là trọng lượng cột chất lỏng cao bằng h và có diện tích đáy bằng 1 đơn vị;

$h = \frac{p - p_a}{\gamma}$ biểu thị áp suất, nên có đơn vị là m cột nước, $1 \text{at} = 10 \text{mH}_2\text{O}$.

Ý nghĩa của phương trình cơ bản thủy tĩnh (2-6).

Ý nghĩa hình học hay thủy lực.

z - độ cao hình học

$\frac{p}{\gamma}$ - độ cao của một cột chất lỏng biểu thị áp suất, gọi là độ cao đo áp

$$z + \frac{p_t}{\gamma} = H_t = \text{const} - \text{cột áp thủy tĩnh tuyệt đối.}$$

Vậy, trong một môi trường chất lỏng cân bằng, cột áp thủy tĩnh của mọi điểm là một hằng số.

Ý nghĩa năng lượng.

Xét phân tử chất lỏng quanh điểm A có khối lượng dm , $dG = gdm$ ở độ cao hình học z và chịu áp suất p . So với mặt chuẩn của phân tử có thế năng $z \cdot gdm = z \cdot dG$, đặc trưng cho vị trí của phân tử, gọi là vị năng. Do chịu áp suất p nên có năng lượng $\frac{p}{\gamma} dG$ - cũng là thế năng, nhưng đặc trưng cho áp suất thủy tĩnh tác dụng lên phân tử chất lỏng, gọi là áp năng.

$$\text{Tổng thế năng là : } \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) dG$$

$$\text{Tính cho một đơn vị trọng lượng chất lỏng: } \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) dG / dG = z + \frac{p}{\gamma}$$

Trong môi trường chất lỏng cân bằng, theo phương trình cơ bản thủy tĩnh,

$$z + \frac{p}{\gamma} = e_t = \text{const}$$

Vậy, thế năng đơn vị của mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng đều bằng nhau và bằng cột áp thủy tĩnh H_t .

II. Chất lỏng tĩnh tương đối.

Ta xét hai dạng tĩnh tương đối đặc trưng sau đây.

Bình chứa chất lỏng chuyển động thẳng thay đổi đều (gia tốc $\vec{a} = \text{const}$).

Hiện tượng này có trong các xe chở dầu, nước sau khi khởi động, bộ chế hoà khí của ô tô, máy bay v.v..

Ở đây cần xác định sự biến thiên áp suất trong không gian và mặt đẳng áp của chất lỏng.

Chọn hệ toạ độ như hình vẽ (Hình 2-5).

Xuất phát từ phương trình (2-5), lực khối tác dụng ở đây gồm:

Trọng lực $\vec{G} = m\vec{g}$, lực quán tính $\vec{F} = -m\vec{a}$. Các hình chiếu của lực khối đơn vị tương ứng là:

$$X = 0; Y = -a; Z = -g$$

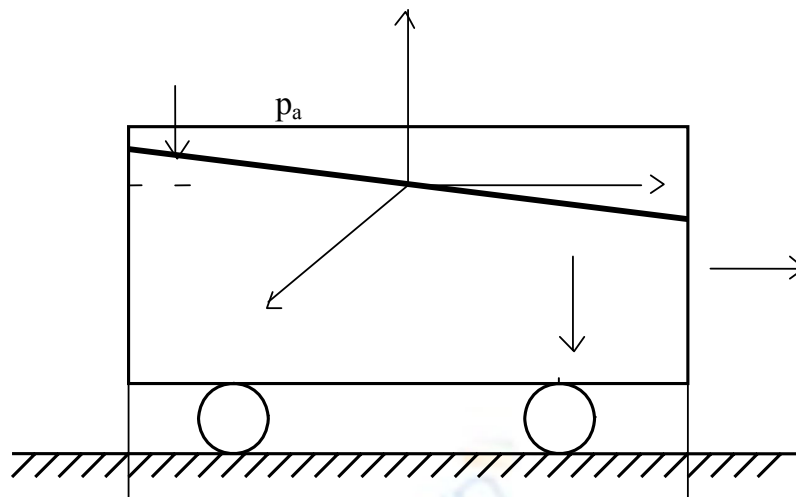
$$\text{Do đó} \quad dp = \rho(-a \cdot dy - g \cdot dz) \rightarrow p = -\rho a y - \rho g z + C$$

$$\text{Khi } y = 0, z = 0 \text{ thì } p = C = p_0.$$

Vậy, phân bố áp suất tại mọi điểm trong chất lỏng $p = p_0 - \gamma z - \rho a y$

Phương trình các mặt đẳng áp khi $p = \text{const}$ $dp = 0$ là:

$$a dy + g dz = 0 \rightarrow ay + gz = C$$



Hình 2-5

Đó là họ các mặt phẳng nghiêng một góc α so với mặt nằm ngang:

$$\operatorname{tg}\alpha = -\frac{a}{g};$$

$-\frac{a}{g} < 0 \rightarrow a > 0$: vận tốc tăng, chuyển động nhanh dần đều, đường dốc xuống như hình 2-5.

$-\frac{a}{g} > 0 \rightarrow a < 0$: vận tốc giảm (khi hãm), chuyển động chậm dần đều, đường dốc lên..

Bình chứa chất lỏng quay đều theo trục thẳng đứng với vận tốc góc $\omega = \text{const}$ (Hình 2-6).

Lúc này lực khối gồm: trọng lực $G = mg$; lực quán tính li tâm: $F_{qt} = m\omega^2 r$

Các hình chiếu của lực khối đơn vị: $X = \omega^2 x$, $Y = \omega^2 y$, $Z = -g$.

Do đó $dp = \rho(\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz)$

$$p = \rho \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z + C$$

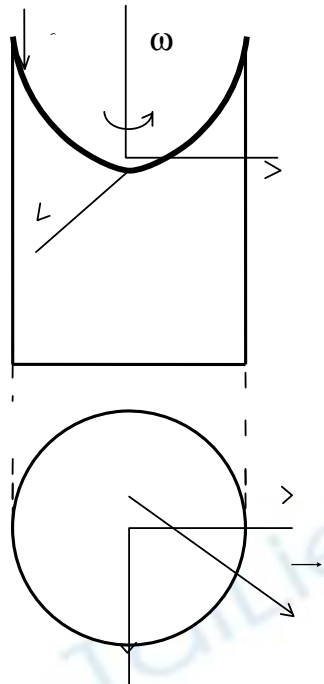
khi $x = y = z = 0$, thì $p = C = p_0 = p_a$ và \rightarrow

$$p = \rho \frac{\omega^2}{2} r^2 - \gamma z + p_0$$

Phương trình các mặt đẳng áp sẽ là: $\rho \omega^2 \frac{r^2}{2} - \gamma z = C$

Đó là phương trình các mặt paraboloid quay quanh trục Oz .

Phương trình mặt thoáng khi góc tọa độ trùng với mặt thoáng: $p = p_0 = p_a$



H. 2-6.
Phân bố áp suất
và mặt đẳng áp

Thì
$$\rho\omega^2 \frac{r^2}{2} - \gamma.z = 0$$

Do đó
$$\Delta h = z = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \quad (2-8)$$

Trong đó, Δh - là chiều cao của mặt thoáng so với gốc toạ độ O của điểm M có khoảng cách r so với trục quay.

Dựa trên hiện tượng này, người ta chế tạo các máy đo vòng quay, các hệ thống bôi trơn ổ trục, đúc các bánh xe, các ống gang thép v.v..

♣2- 4. PHÂN LOẠI ÁP SUẤT, BIỂU ĐỒ ÁP SUẤT

I. Phân loại áp suất:

Trên cơ sở công thức tính áp suất điểm (2-7) người ta chế tạo ra các dụng cụ đo áp suất điểm bằng chất lỏng trong ống đo áp chữ U (ống bằng thủy tinh có đường kính $d = 0,015$ m, uốn hình chữ U, chất lỏng là thủy ngân hoặc nước, cồn,...). Nối trực tiếp một đầu ống thủy tinh qua ống cao su vào điểm cần đo áp suất, một đầu thông với khí trời có áp suất $p_a = 1$ at.

- Khi áp suất cần đo trong bình bằng áp suất khí trời (Hình 2-7a) thì mực nước hai cột ống chữ U bằng nhau .
- Khi áp suất bình lớn hơn áp suất khí trời (Hình 2-7b) mực nước cột thông với bình giảm xuống, cột nước tự do dâng cao hơn cột kia một lượng là Δh . Áp suất tính theo (2-7):

$$p - p_a = \Delta p = \gamma \Delta h.$$

Ta định nghĩa là áp suất dư: $\Delta p = \gamma \Delta h = p_d$.

$$p_d = p - p_a \quad (2-9)$$

- Khi áp suất bình nhỏ hơn áp suất khí trời (Hình 2-7c) mực nước cột thông với bình dâng lên, cột tự do hạ xuống hơn nhau một lượng là $-\Delta h$. Áp suất tính theo (2-7):

$$p - p_a = \Delta p = -\gamma \Delta h$$

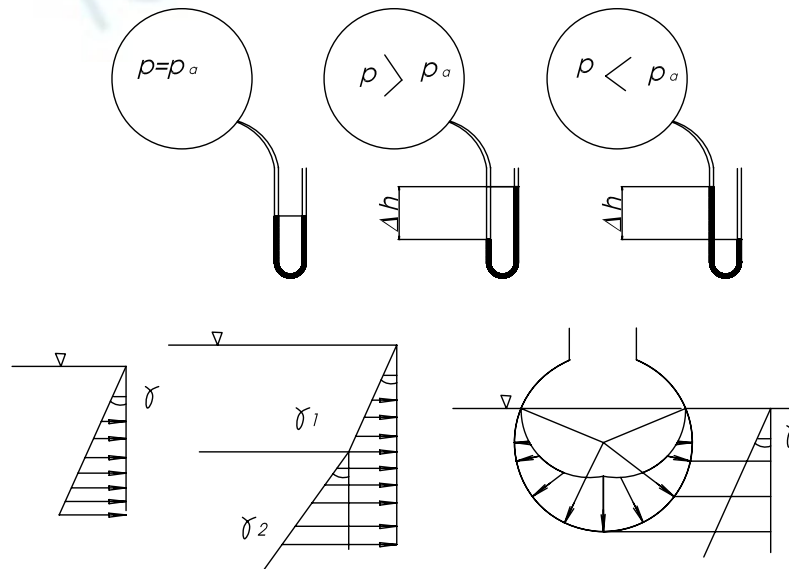
Ta định nghĩa là áp chân không: $-\Delta p = \gamma \Delta h = p_{ck}$.

$$p_{ck} = p_a - p \quad (2-10)$$

- Độ chân không được ký hiệu là $H_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma} = \frac{p_a - p}{\gamma}$. Độ chân không tuyệt đối

$$\text{khi } p = 0, H_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma} = \frac{p_a - p}{\gamma} = \frac{1.98100}{9810} = 10m(H_2O).$$

Như vậy, khi trong bình là chân không tuyệt đối thì nước chỉ dâng lên một độ cao là $\Delta h_n = 10m$, còn thủy ngân có độ dâng là $\Delta h_{Hg} = (10/13,55) m$.



Hình 2-7

II. Biểu đồ áp suất:

Là biểu đồ thể hiện sự thay đổi áp suất theo không gian trong các trường hợp chất lỏng là tĩnh tuyệt đối hay tĩnh tương đối. Để đơn giản ta chỉ xét trường hợp chất lỏng tĩnh tuyệt đối.

Từ biểu thức (2-7) $p = p_a + \gamma \cdot h$ hay

$$P_d = \gamma \cdot h \quad (2-10)$$

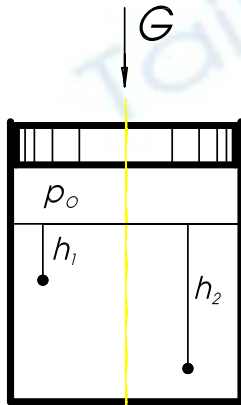
Trong thực tế chỉ cần vẽ biểu đồ với áp suất dư (2-11). Chọn một trục tọa độ là chiều sâu h hướng xuống theo thực tế, gốc tọa độ sẽ là điểm nằm trên mặt thoáng (tại

đó áp suất dư bằng không), trục toạ độ thứ hai là giá trị áp suất dư p_d (để đơn giản từ sau đây gọi tắt là p) có thể chọn bên trái hay phải tùy theo cách bố trí bản vẽ. Đồ thị $p = \gamma \cdot h$ là đường thẳng nghiêng với trục h một góc α với $\operatorname{tg}\alpha = p/h = \gamma$. Để dễ nhớ ta ký hiệu góc $\alpha = \gamma$ với hàm ý là góc đó (trên biểu đồ là độ) phụ thuộc vào giá trị của trọng lượng riêng chất lỏng γ (N/m^3).

Vẽ biểu đồ áp suất theo đúng vị trí của vật khi vật chắn là tấm phẳng chú ý phương và chiều của các vectơ áp suất luôn hướng vào và vuông góc bề mặt tác dụng (Hình 2-7d), với chất lỏng hai lớp ($\gamma_2 > \gamma_1$) trên (Hình 2-7e), với mặt chịu tác dụng là bình dạng cầu (Hình 2-7g).

♣ 2.5. ĐỊNH LUẬT PASCAL VÀ MÁY ÉP THỦY LỰC

Xét bình nước và khí được đậy kín bởi quả pittong (Hình 2-8). Áp suất phần khí trên bề mặt nước là p_0 . Áp suất tại điểm 1 và 2 bất kỳ trong lòng nước có độ sâu là h_1 và h_2 trong hai trường hợp tải trọng trên pittong khác nhau:



Hình 2-8

$G = 0$ thì áp suất tại hai điểm là;

$$p_{10} = p_0 + \gamma h_1$$

$$p_{20} = p_0 + \gamma h_2$$

$G \neq 0$, trên mặt nước có áp suất là: $p_0 + \Delta p$

Và, tại hai điểm sẽ có áp suất là:

$$p_1 = p_0 + \gamma h_1 + \Delta p = p_{10} + \Delta p$$

$$p_2 = p_0 + \gamma h_2 + \Delta p = p_{20} + \Delta p$$

với $\Delta p = P/S$

- Áp suất tĩnh do ngoại lực tác động lên bề mặt chất lỏng được truyền nguyên vẹn đến mọi điểm trong lòng chất lỏng (với tốc độ âm thanh).

Theo định luật Pascal người ta chế tạo ra máy ép thủy lực, máy kích, máy tích năng, các bộ phận truyền lực v.v..

Theo sơ đồ máy ép thủy lực (Hình 2-9), tải trọng G cân bằng với áp lực dưới đáy piston lớn:

$$G = \Delta p \cdot \pi D^2 / 4$$

Phía piston nhỏ, lực P , sinh ra do lực R tác động lên tay đòn cân bằng với áp lực dưới piston nhỏ $P = \Delta p \cdot \pi d^2 / 4$

$$\text{Hệ số khuếch đại thủy lực: } K_t = G/P = (D/d)^2$$

$$\text{Hệ số khuếch đại toàn bộ: } K = G/R = (D/d)^2 \cdot (a+b)/b$$

Để chế tạo máy ép thủy lực người ta chỉ cần thêm vào khối xy lanh một khung chịu lực (Hình 2-9).

♣ 2-5. TÍNH ÁP LỰC THUỶ TĨNH.

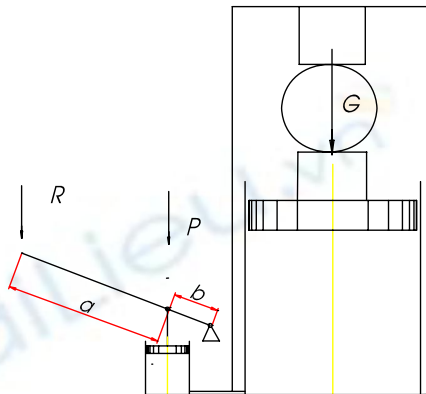
Là việc tính áp lực của chất lỏng lên các công trình, thiết bị.

I. Áp lực lên thành phẳng.

Tính áp lực P lên diện tích S (H. 2-10). Phải xác định 3 yếu tố: phương chiều, trị số, điểm đặt của P.

Cách tính: tính dp tác dụng lên dS, sau tích phân trên toàn S sẽ được P.

- Phương chiều: $P \perp S$, hướng vào.



Hình 2-9

- Trị số:

$$P = \int_S dP = \int_S p \cdot dS = \int_S \gamma \cdot h \cdot dS = \int_S \gamma \cdot y \cdot \sin \alpha \cdot dS = \gamma \sin \alpha \int_S y dS$$

$$= \gamma \sin \alpha \cdot y_c S = S \cdot \gamma \cdot h_c = S p_c$$

với: $p_c = \gamma h_c$ - áp suất tại trọng tâm.

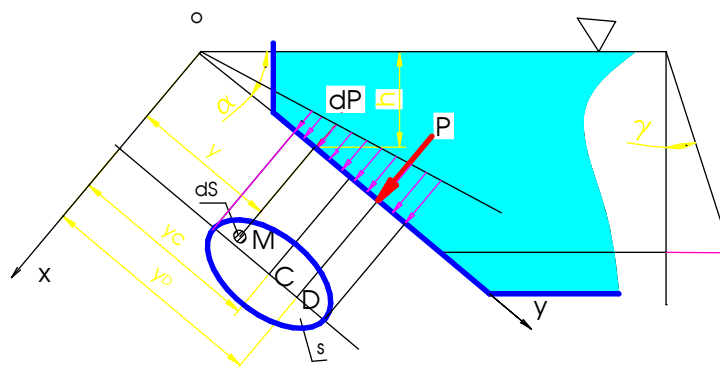
$h = y \sin \alpha$; $h_c = y_c \sin \alpha$ (Hình 2-10);

$I_x = \int_S y dS = y_c S$ - mô men tĩnh của diện tích S so với trục ox.

Vậy, giá trị của áp lực là: $P = \gamma \cdot h_c \cdot S$

(2-12)

Điểm đặt của áp lực:



Hình 2-10

Giả sử hình phẳng S có 1 trục đối xứng // với oy. Gọi D là điểm đặt của P có toạ độ là y_D . Lấy mô men của lực P và các dP với trục ox, theo định lý Varinhong(Mô men của hợp lực (P) đối với một trục bằng tổng các mômen của các lực thành phần (dP) đối với trục đó):

Với $J_{ox} = \int y^2 dS = J_{xc} + y_c^2 S$ - là mômen quán tính của S đối với trục ox

$$P \cdot y_D = \int_S y \cdot dP$$

$$P \cdot y_D = \gamma \cdot h_c \cdot S \cdot y_D = \gamma \cdot y_c \cdot \sin\alpha \cdot S \cdot y_D$$

$$\int_S y dP = \int y \cdot \gamma \cdot h \cdot dS = \int \gamma \cdot \sin\alpha \cdot y^2 dS = \gamma \sin\alpha \cdot J_{ox}$$

Thay các giá trị vào biểu thức trên, ta rút ra:

$$y_D = y_c + \frac{J_{xc}}{y_c S} \quad (2-13)$$

J_{xc} - là mômen quán tính của S đối với trục song song với ox đi qua trọng tâm C.

Trường hợp hình phẳng không có trục đối xứng phải tính thêm x_D

II. Áp lực chất lỏng lên thành cong (ống dẫn nước, bể chứa dầu...)

Xét trường hợp thành cong S của bình chứa có một mặt tiếp xúc với chất lỏng còn mặt kia tiếp xúc với không khí (Hình 2-11). Đặt hệ toạ độ xOy trùng với mặt thoáng. Chia nhỏ mặt cong thành các mặt cong nhỏ. dS nhỏ nên coi như mặt phẳng. Tính dP lên dS chứa điểm M có độ sâu h.

$d\vec{P} = \vec{p}dS$,..... $d\vec{P} \equiv \vec{n}$ (véctơ pháp của phân tố diện tích dS). Các phân tố lực $d\vec{P}$ không song song với nhau nên không thể cộng đại số được. Một phương pháp giải quyết như sau:

Chia $d\vec{P}$ thành 3 véctơ theo toạ độ Đềcát:

$$d\vec{P} = \vec{i}dP_x + \vec{j}dP_y + \vec{k}dP_z$$

Lúc đó ta có ba cặp các phân tố lực. Mỗi cặp các phân tố lực cùng phương, cùng chiều với nhau nên có thể tổng đại số được.

Các hình chiếu của các véctơ $d\vec{P}$ của các dS đều cùng phương nên:

$$P_x = \int dP_x = \int dP \cdot \cos(\vec{n}, x) = \int p \cdot dS \cdot \cos(\vec{n}, x) = \int \gamma h dS_x = \gamma \cdot h_c S_x$$

$$P_y = \int dP_y = \int dP \cdot \cos(\vec{n}, y) = \int p \cdot dS \cdot \cos(\vec{n}, y) = \int \gamma h dS_y = \gamma \cdot h_{cy} S_y \quad (2-14)$$

$$P_z = \int dP_z = \int dP \cdot \cos(\vec{n}, z) = \int p \cdot dS \cdot \cos(\vec{n}, z) = \int \gamma h dS_z = \gamma \int dV = \gamma V_{Al}$$

Trong đó: S_x, S_y là hình chiếu của mặt cong S theo phương x,y.