

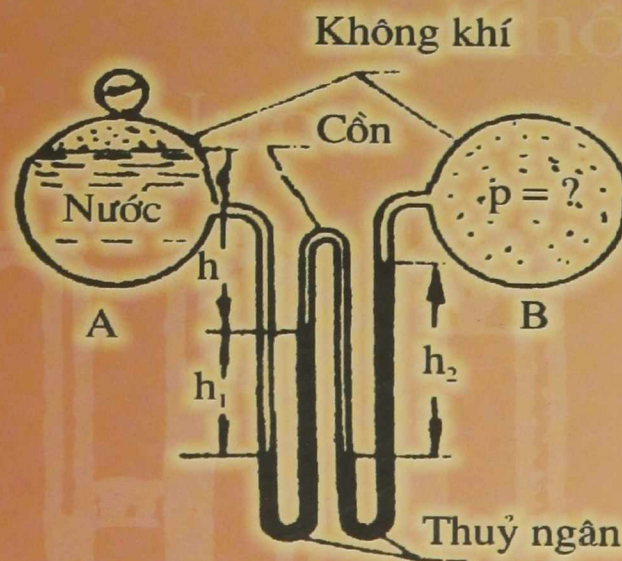
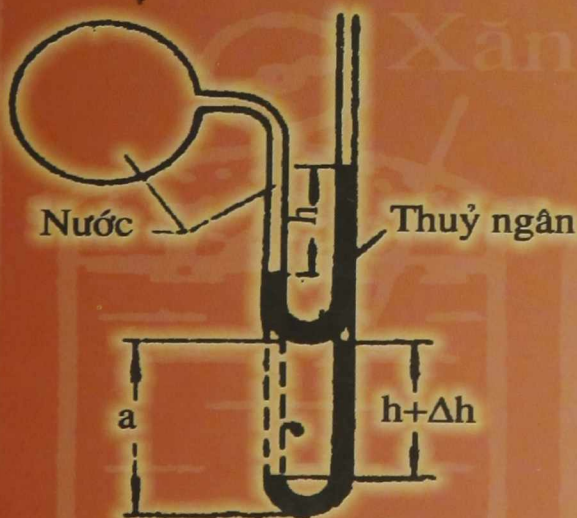


GT.0000020609

GS., TSKH. VŨ DUY QUANG - Chủ biên
PGS., TS. PHẠM ĐỨC NHUẬN

GIÁO TRÌNH

KỸ THUẬT THỦY KHÍ



YÊN
LIỆU



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

GS, TSKH. VŨ DUY QUANG - Chủ biên
PGS, TS. PHẠM ĐỨC NHUẬN

GIÁO TRÌNH
KỸ THUẬT THỦY KHÍ



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
Hà Nội - 2009

LỜI NÓI ĐẦU

Môn học Kỹ thuật Thủy khí hay nói đầy đủ hơn là Cơ học chất lỏng và chất khí kỹ thuật - Cơ Thủy khí kỹ thuật - được giảng dạy cho sinh viên Đại học Bách khoa Hà Nội và một số trường đại học kỹ thuật.

Chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình này nhằm đáp ứng yêu cầu giảng dạy và học tập với chất lượng ngày càng cao. Cuốn sách cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư ngành Máy Thủy khí, Hàng không, Tàu thủy v.v....

Phân công biên soạn:

Từ chương một đến chương chín và phần phụ lục:

GS, TSKH Vũ Duy Quang - Chủ biên

Từ chương mười đến chương mười hai PGS, TS Phạm Đức Nhuận

Chúng tôi chân thành cảm ơn các đồng nghiệp Bộ môn Kỹ thuật Thủy khí, Đại học Bách khoa Hà Nội và Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.

Hà Nội, tháng 10 năm 2008

Các tác giả

Chương I

MỞ ĐẦU

§1.1. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC - ỨNG DỤNG

1. Đối tượng

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 lí 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 Newton gọi là chất lỏng Newton. Còn những chất lỏng không theo quy luật này người ta gọi là chất lỏng phi Newton, như dầu thô chẳng hạn.

Kỹ thuật thủy khí nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng. Thông thường trong giáo trình, người ta chia thành bốn 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 hai 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.

- Ứng dụng vào máy thủy khí.

Vị trí của môn học: nó là nhịp nối giữa những môn khoa học cơ bản (toán, lí...) với những môn kĩ thuật chuyên ngành.

2. Phương pháp nghiên cứu

Dùng ba phương pháp sau đây:

- Phương pháp lí 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:

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

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

$$\text{rotor: } \text{rot} \vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix};$$

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

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

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.

- Phương pháp bán thực nghiệm: kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

3. Ứng dụng

Kỹ thuật thuỷ khí 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 (tham khảo thêm sách [3]).

§1.2. SƠ LƯỢC LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN MÔN HỌC

Kỹ thuật thuỷ khí biểu thị sự liên hệ rất chặt chẽ giữa khoa học và yêu cầu thực tế. Nông nghiệp đã đòi hỏi thuỷ lợi phát triển rất sớm như kênh đào, đập nước, đống 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 thuỷ 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, Jucopki (1847-1921) 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 thuỷ 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 Pêtecbuga cho đến khi mất. Chúng ta sẽ còn gặp lại hai ông nhiều lần trong giáo trình sau này. Tên tuổi của C.L.M.H. Navier (1785-1836) và Sir George G. Stokes (1819-1903) 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 (1875-1953) đã sáng lập ra lý thuyết lớp biên (1904), góp phần giải nhiều bài toán động lực học.

Từ nửa cuối thế kỉ 20, 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

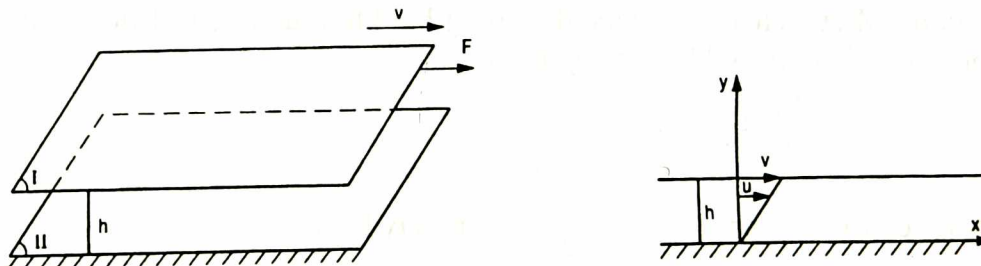
1. Chất lỏng có một số tính chất dễ nhận biết sau đây

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 p thay đổi. Ta có hệ số nén được:

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

2. Tính nhớt

Là tính cản trở chuyển động của chất lỏng. Nguyên nhân nào? Ta nghiên cứu tính nhớt dựa trên thí nghiệm của Newton. Có hai tấm phẳng (hình 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 một thời gian nào đó, tấm I sẽ chuyển động đều với vận tốc tương đối v song song với tấm II. Thí nghiệm cho ta thấy rằng các phần tử chất lỏng dính chặt vào tấm I sẽ di chuyển cùng với vận tốc v , còn những phần tử dính chặt vào tấm II thì không chuyển động. Vận tốc các phần tử lỏng giữa 2 tấm phẳng tăng theo quy luật tuyến tính và tỉ lệ với khoảng cách tấm II (hình 1.1).



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:

$$f_T = \mu S \frac{v}{h}$$

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. Tổng quát hơn, ta có thể biểu diễn công thức trên dưới dạng định luật của Newton về lực nhớt:

$$T = \mu S \frac{du}{dy}$$

Hay biểu diễn dưới dạng ứng suất tiếp:

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.1)$$

Trong đó du/dy là gradient vận tốc theo phương y vuông góc với dòng chảy. Những chất lỏng tuân theo (1.1) gọi là chất lỏng Newton như đã nói ở trên.

Từ (1.1) rút ra:

$$\mu = \frac{T}{S \frac{du}{dy}}$$

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

Ngoài μ , còn dùng hệ số nhớt động học $\nu = \mu/\rho$ trong các biểu thức có liên quan đến chuyển động. Đơn vị đo ν trong hệ SI là m^2/s , trong hệ CGS là:

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

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 tăng nhiệt độ và giảm khi áp suất tăng.

3. 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 hoặc khối lượng đơn vị:

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

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

Trọng lượng 1 vật có khối lượng 1kg có thể coi bằng $9,8N \approx 10N$;

$$1kG \approx 10N = 1daN$$

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

4. Ngoại lực tác dụng lên chất lỏng

Được chia thành hai loại:

- Lực mặt là lực tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với diện tích mặt tiếp xúc (như áp lực...).
- Lực khối là lực tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với khối lượng (như trọng lực, lực quán tính...).

Chương 2 TÍNH HỌC CHẤT LỎNG

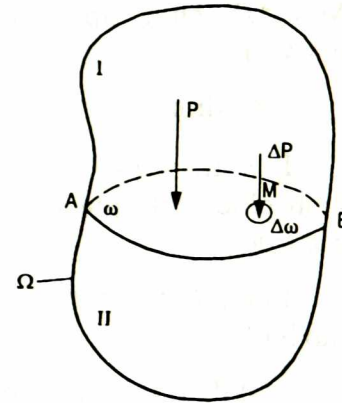
Tính học chất lỏng hay thủy tĩnh học nghiên cứu các quy luật về cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh. Người ta phân ra 2 trạng thái tĩnh: Tĩnh tuyệt đối: chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định (gắn liền với trái đất). Tĩnh tương đối: chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối. Như vậy, ở đây chất lỏng thực và lý tưởng là một. Trong 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 lực khối và lực mặt 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 .



Hình 2.1

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:
$$N/m^2 = Pa \text{ (Pascal);}$$

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

2. Hai tính chất của áp suất thủy tĩnh

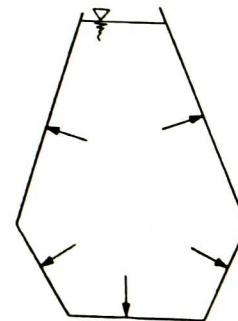
a) Áp suất thủy tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (hình 2.2).

Có thể tự chứng minh bằng phản chứng.

b) Áp suất thủy tĩnh tại mỗi điểm theo mọi phương bằng nhau. Chẳng hạn, tại điểm gốc tọa độ Đêcác O:

$$p_x = p_y = p_z = p_n \quad (2.1)$$

Có thể chứng minh bằng cách xét khối chất lỏng trong một hình 4 mặt có các cạnh dx, dy, dz vô cùng nhỏ bé. Chứng minh biểu thức (2.1) khi $dx, dy, dz \rightarrow 0$ (Tham khảo giáo trình [1]).



Hình 2.2

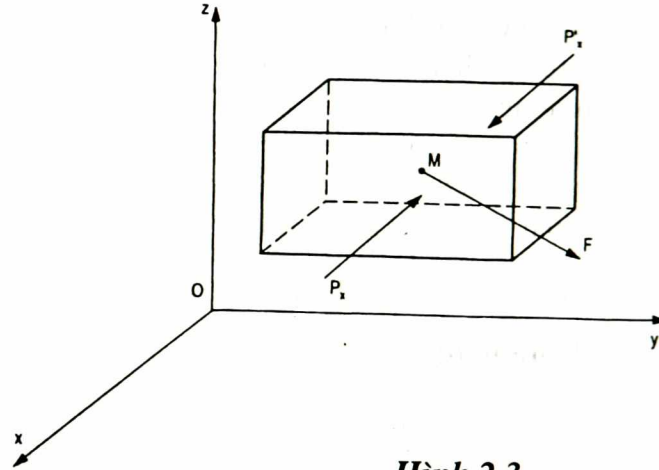
§2.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CÂN BẰNG CỦA CHẤT LỎNG – PHƯƠNG TRÌNH OLE TĨNH (1755)

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 cân bằng có các cạnh dx, dy, dz // x, y, z (hình 2.3). Trọng tâm $M(x,y,z)$ chịu áp suất thủy tĩnh $p(x,y,z)$.

Lực khối:

$F \sim m = \rho dx dy dz$; X, Y, Z là hình chiếu của gia tốc lực khối lên các trục x, y, z .



Hình 2.3

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

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 :

$$\Sigma_x = P'_x - P_x + F_x = 0 \quad (2.2)$$

Trong đó:

$$F_x = X \rho dx dy dz$$

$$P_x = (p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz$$

$$P'_x = (p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} dx) dy dz$$

Thay vào (2.2) ta được:

$$\Sigma_x = -\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + X \rho dx dy dz = 0$$

hay là:
$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

Tương tự cho trục y và z :
$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (2.3)$$

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

Đó là phương trình Oler viết dưới dạng hình chiếu.

$$\text{Viết dưới dạng vectơ: } \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p = 0 \quad (2.4)$$

Trong đó: F là lực khối của 1 đơn vị khối lượng:

$$\vec{F} = \bar{i}X + \bar{j}Y + \bar{k}Z$$

§2.3. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN THỦY TĨNH

Nhân các phương trình (2.3) lần lượt với dx, dy, dz rồi cộng lại theo cột, ta được:

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

$$\text{hay là: } Xdx + Ydy + Zdz = \frac{1}{\rho} dp \quad (2.5)$$

Đây là một dạng khác của phương trình vi phân cân bằng của chất lỏng.

1. Mặt đẳng áp

Mặt đẳng áp là mặt trên đó tại mọi điểm áp suất $p = \text{const}$. Từ (2.5) suy ra phương trình của mặt đẳng áp:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

2. Xét trường hợp lực khối chỉ có trọng lực và trục oz hướng lên trên

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

Từ (2.5) ta có:

$$-gdz = \frac{1}{\rho} dp$$

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

$$\frac{p}{\gamma} + z = \text{const} = C \quad (2.6)$$

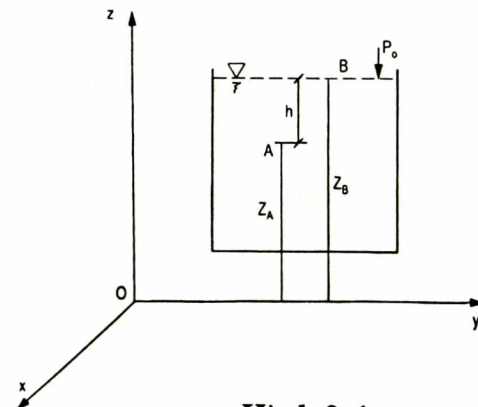
hay là:

$$\frac{p_A}{\gamma} + z_A = \frac{p_B}{\gamma} + z_B = \dots = \text{const} + z_A$$

3. Công thức tính áp suất điểm

Cần tính áp suất tại điểm A: $p_A = ?$

$$\frac{p_A}{\gamma} = \frac{p_B}{\gamma} + (z_B - z_A) \rightarrow p_A = p_B + \gamma(z_B - z_A)$$



Hình 2.4