



HCMUTE

FLUID MECHANICS

Hung-Son Dang Ph.D.





CHƯƠNG 2 THỦY TĨNH HỌC

OUTLINES

- 1. Khái niệm chung**
- 2. Phương trình Euler thủy tĩnh**
- 3. Áp lực thủy tĩnh lên thành rắn**

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

(Xe chở dầu, nước sau khi đã khởi động, trong các bình nhiên liệu của xe máy, ô tô, máy bay khi khởi động và khi tăng vận tốc)

a) Quy luật phân bố áp suất:

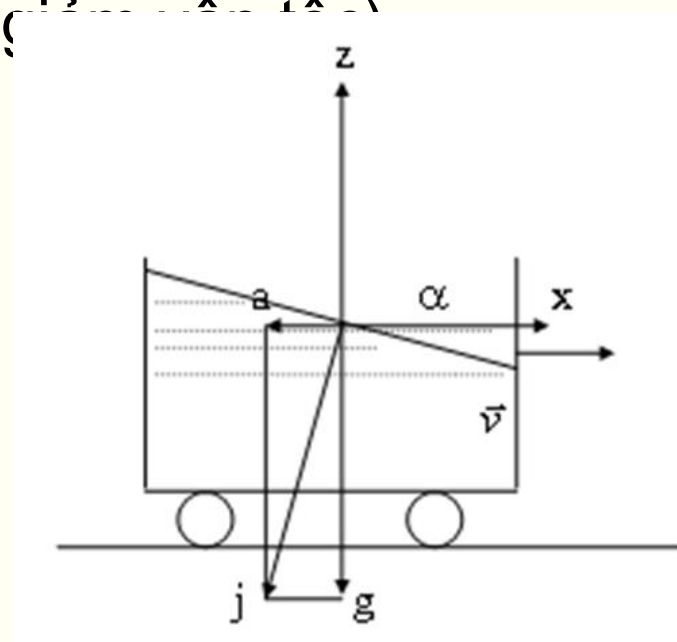
Trong trường hợp này, lực khối gồm:

+ Trọng lực: $G = mg$

+ Lực quán tính: $F = -ma$

Hình chiếu của gia tốc lực khối lên trục:

$$F_x = -a \quad ; \quad F_y = 0 \quad ; \quad F_z = -g$$



Hình 2.6 Phân bố lực trên phân tử chất lỏng

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

Thay vào, ta có:

$$dp = \rho(F_x dx + F_y dy + F_z dz)$$

$$dp = \rho(-a dx - g dz)$$

Tích phân lên, ta được:

$$p = -\rho a x - \rho g z + C$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

trong đó C – là hằng số tích phân, lấy từ điều kiện biên:

Tại $x = 0$, $z = 0$ ta có $p = p_0$ (áp suất tại mặt thoáng)

Thay vào pt áp suất, ta có: $C = p_0$

Thay C trở lại pt, ta được:

$$p = p_0 - \rho ax - \rho gz$$

$$p = p_0 - \rho ax - \gamma z$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

b) Mặt đẳng áp:

Thay $F_x = -a$, $F_z = -g$ vào:

Ta có: $-a dx - g dz = 0$

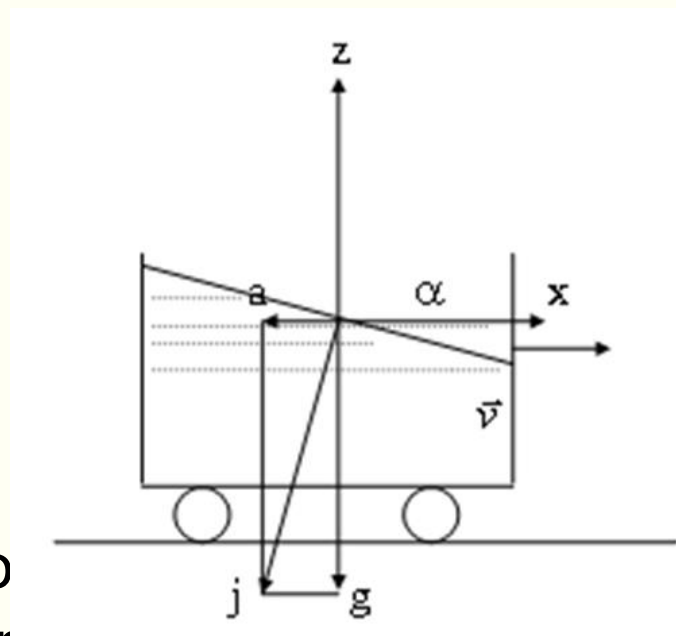
Hay: $dz = -\frac{a}{g} dx$,

Tích phân lên ta được biểu thức:

$$z = -\frac{a}{g}x + C \quad \text{- Pt mặt đẳng áp}$$

Vậy: Mặt đẳng áp là các mặt phẳng nghiêng vuông song song dọc theo trục z , lập với mặt phẳng ngang một góc α được xác định bởi:

$$\tan \alpha = -\frac{a}{g}$$



Hình 2.6 Phân bố lực trên phân tử chất lỏng

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 Chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

Từ biểu thức trên ra có nhận xét:

Nếu $a > 0$ (chuyển động nhanh dần đều) $\tan \alpha < 0$, chất lỏng bị dồn về phía sau.

Nếu $a < 0$ (chuyển động chậm dần đều) $\tan \alpha > 0$, chất lỏng bị dồn về phía trước.

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.1 Chất lỏng trong xe chuyển động thẳng với gia tốc $a = \text{const}$

Với giá trị $C = 0$ ta được phương trình mặt thoáng:

$$z = -\frac{a}{g} x$$

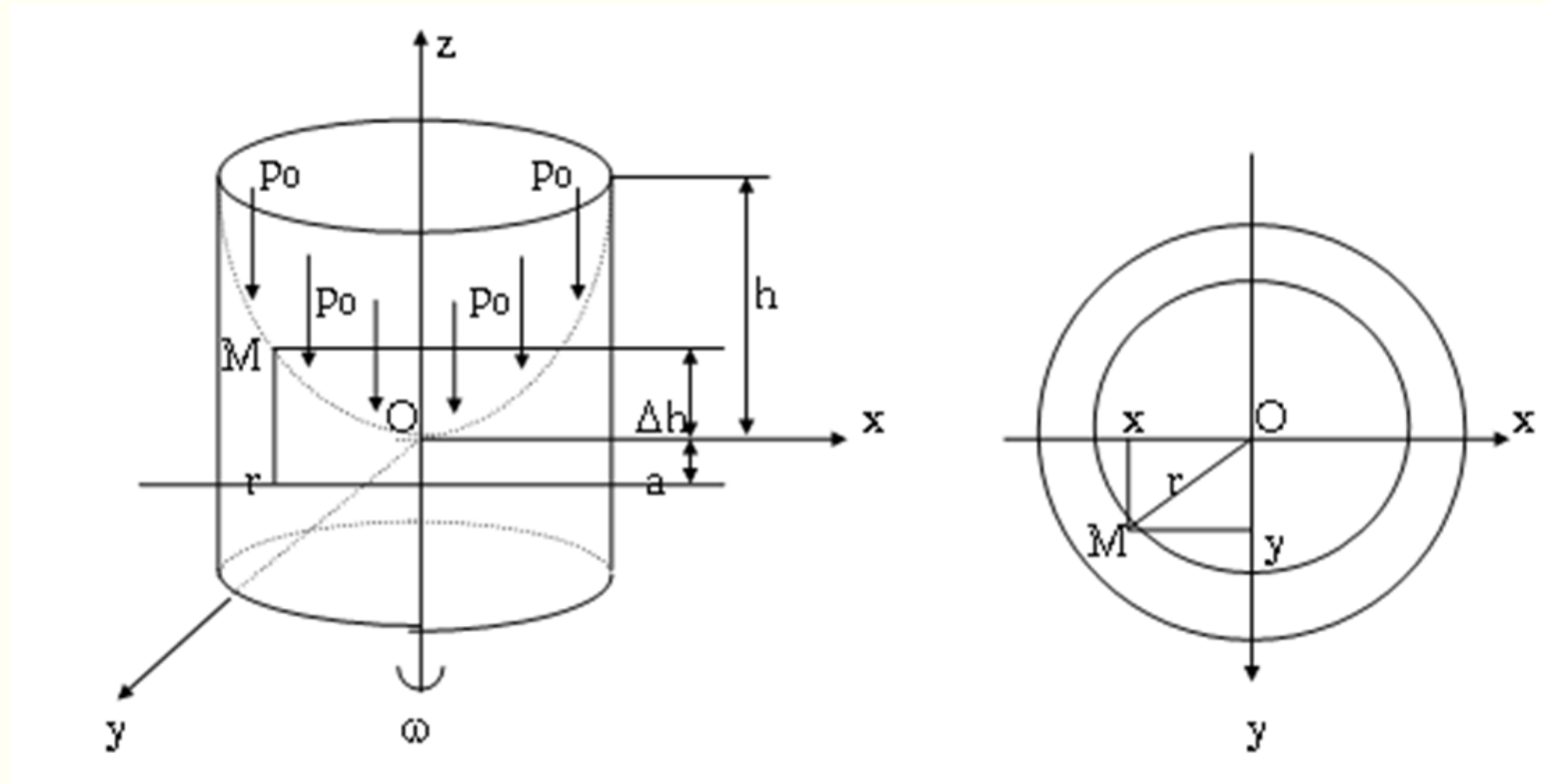
Trên hình vẽ ta thấy mặt đẳng áp \perp với vectơ $R = (\vec{a} + \vec{g})$

Chính vì hiện tượng này nên trong máy bay phải có biện pháp đặc biệt đảm bảo việc cung cấp nhiên liệu được điều hòa trong mọi trường hợp. Còn trong ô tô, xe máy thì sử dụng bộ chế hòa khí (hay còn gọi là bình xăng con).

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$



Hình 2.7 Phân bố lực trên phân tố chất lỏng

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Bình quay với vận tốc góc đều ω , mặt chất lỏng sẽ lõm xuống thành một hình đối xứng quanh trục bình. Ta chọn đáy của hình lõm làm gốc tọa độ, lấy trục của bình làm trục oz có chiều hướng lên trên.

Chất lỏng tiếp xúc với không khí $p_0 = p_a$.

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

a) *Quy luật phân bố áp suất:*

Lực khối gồm:

+ Trọng lực: $G = -mg$

+ Lực quán tính ly tâm: $F = ma_{lt} = m\omega^2 r$

r - khoảng cách từ điểm ta đang xét đến trục quay.

Hình chiếu của gia tốc của lực khối lên các trục:

$$F_x = \omega^2 x; F_y = \omega^2 y; F_z = -g$$

trong đó: x, y - hình chiếu của r lên ox, oy .

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Thay vào bt, ta có:

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

Lấy tích phân:

$$p = \rho\left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz\right) + C$$

Hằng số C được lấy từ điều kiện biên: tại gốc O: $x = 0, y = 0, z = 0$, có $p = p_0$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Nên: $C = p_o$

Thay C trở lại pt và đưa C lên trước, ta được:

$$p = p_o + \rho \left(\frac{\omega^2 x^2}{2} + \frac{\omega^2 y^2}{2} - gz \right)$$

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

Phương trình trên biểu thị *quy luật phân bố áp suất*.

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

b) Mặt đẳng áp:

Thay F_x, F_y, F_z vào, ta được:

$$\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz = 0$$

Hay:
$$dz = \frac{\omega^2}{g} (x dx + y dy)$$

Tích phân lên:

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

Vậy: *Mặt đẳng áp là họ các mặt paraboloid* trượt song song dọc theo trục z khi cho thay đổi C .

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Khi cho $C = 0$, ta có *phương trình của mặt thoáng*:

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

Hoặc biểu diễn thông qua bán kính r , phương trình có dạng:

$$z = \frac{\omega^2 r^2}{2g} = \frac{u^2}{2g}$$

Là nguyên lý làm việc của các máy ly tâm.

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.6 Ứng dụng phương trình Euler thủy tĩnh trong bài toán tính tương đối

2.6.2 Chất lỏng trong bình trụ tròn quay với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Thay $r = R$ là bán kính của bình trụ, ta được:

$$\Delta h = \frac{\omega^2 R^2}{2g} = \frac{u^2}{2g}$$

Là độ cao của mặt paraboloid.

Hiện tượng này được áp dụng vào việc chế tạo các máy đo số vòng quay, các hệ thống bôi trơn ổ trục khi trục quay thẳng đứng, các hệ thống lắng, lọc ly tâm, đúc ly tâm.

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.1 Các loại áp suất

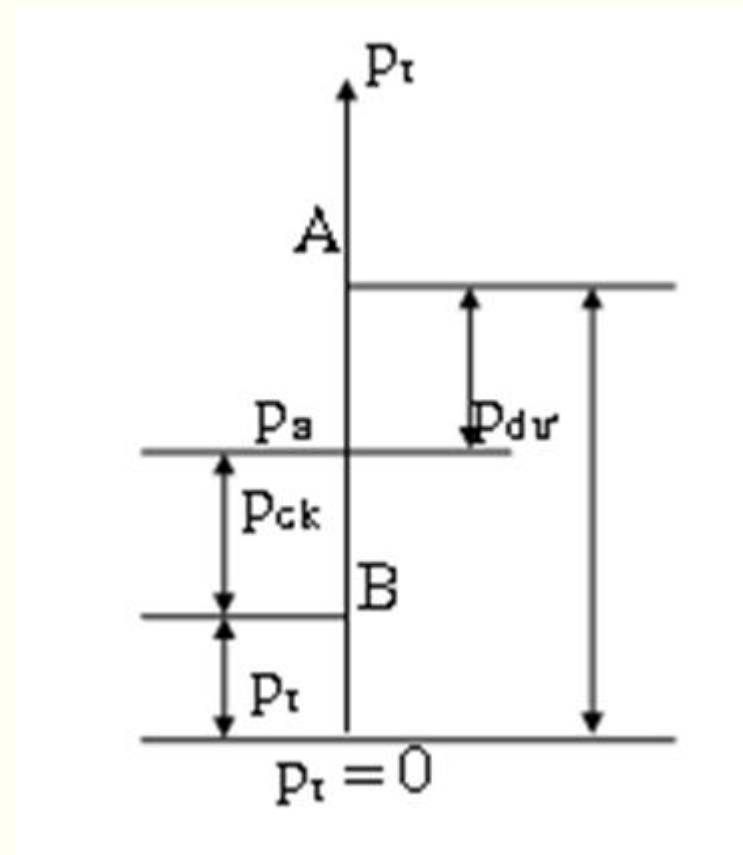
$$p_A > p_a \Rightarrow p_t = p_a + p_{dư}$$

$$p_B < p_a \Rightarrow p_t = p_a - p_{ck}$$

p_t luôn luôn dương $p_t > 0$

p dư có thể (+) hoặc (-)

$$p_{ck} = -p_{dư}$$



Hình 2.8 Phân bố áp suất

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.1 Các loại áp suất

Áp suất tuyệt đối: ký hiệu p_t hoặc p là giá trị toàn phần của áp suất được xác định theo dạng thứ I của phương trình cơ bản $p_t = p_0 + \gamma h$ khi p_0 và γh đều được đo bằng giá trị tuyệt đối.

Muốn đo được áp suất tuyệt đối thì phải đo trong một buồng kín không còn chứa 1 phần tử không khí nào, tức là trong chân không tuyệt đối (rất khó thực hiện).

Áp suất dư (hay áp suất hiệu dụng): ký hiệu p_d (hoặc p_{du}) là giá trị áp suất được đo trong môi trường khí trời, được tính bởi hiệu số của áp suất tuyệt đối trừ áp suất khí trời p_a

$$p_{du} = p_t - p_a$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.1 Các loại áp suất

Để đo áp suất dư thường dùng các áp kế kỹ thuật. Con số “0” ghi trên mặt áp kế chính là trị số dư của áp suất khí trời, vì vậy nên áp suất dư còn gọi là áp suất áp kế.

Vậy: áp suất tuyệt đối bao giờ cũng là một số dương, còn áp suất dư có thể âm hoặc dương.

Áp suất chân không: ký hiệu p_{ck}

Áp suất dư sẽ âm nếu $p_t < p_a$, lúc đó có hiện tượng chân không và có áp suất chân không.

$$p_{ck} = p_a - p_t = - p_{dư}$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.1 Các loại áp suất

Trong môi trường khí trời $p_t = p_a$

$$P_{ckmin} = 0$$

Trong môi trường chân không tuyệt đối $p_t = 0$

$$P_{ckmax} = p_a = 1at = 10mH_2O$$

Khi áp suất trên mặt thoáng p_0 bằng áp suất khí trời p_a ta có:

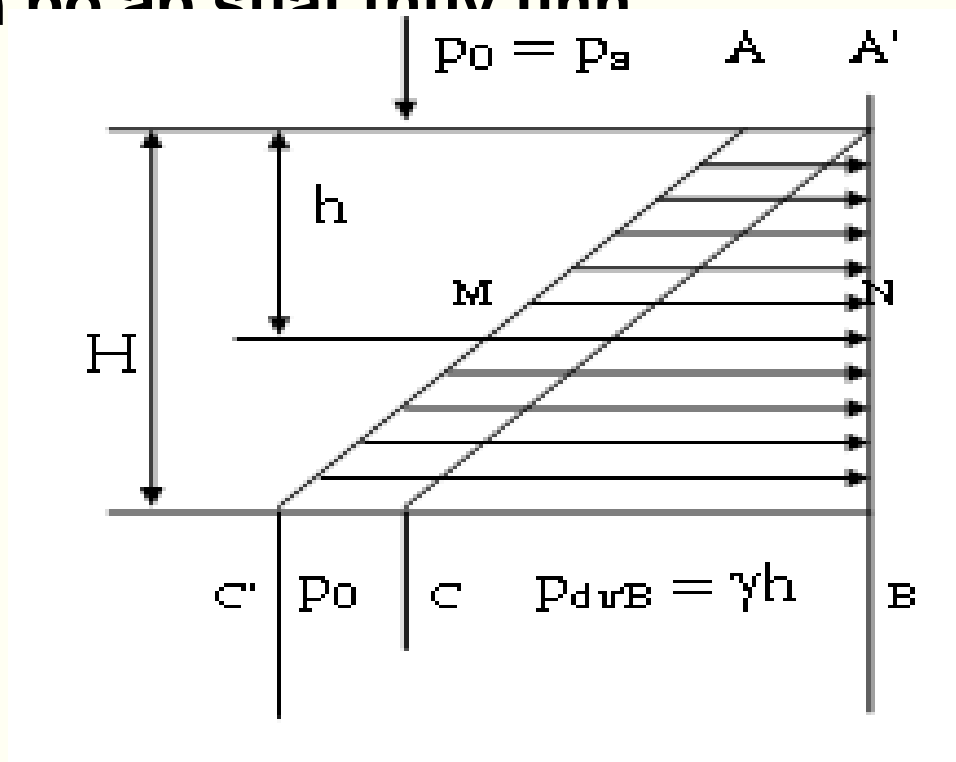
$$p_t = p_a + \gamma h$$

$$p_{du} = \gamma h$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.2 Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh



Hình 2.9 Phân bố lực phân tử chất lỏng lên thành bể

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.2 Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh

Sự phân bố áp suất theo chiều sâu trong chất lỏng có thể biểu diễn dưới dạng biểu đồ. Để đơn giản, ta vẽ biểu đồ phân bố áp suất dư trong trường hợp $p_a = p_0$. Theo phương trình thủy tĩnh học:

$p = p_0 + \gamma h \Rightarrow$ áp suất thủy tĩnh là hàm số bậc nhất của độ sâu h .

- Tại A $h = 0$ $p_{dưA} = 0$ $p_{tA} = p_0 = p_a$
- Tại B $h = H$ $p_{dưB} = \gamma H$ $p_{tB} = p_a + \gamma H$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

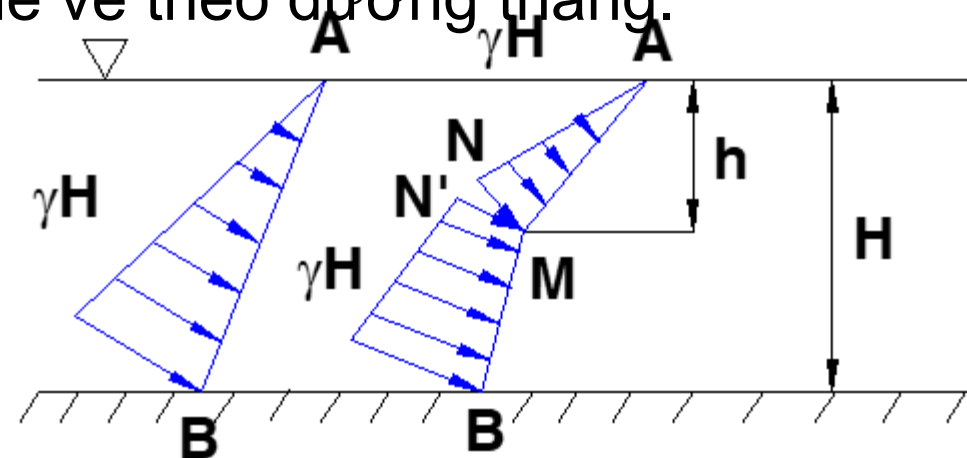
2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.2 Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh

Trường hợp áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt phẳng AB nghiêng thì biểu đồ phân bố áp suất cũng vẽ theo phương pháp nói trên(H2).

Trường hợp mặt thành chịu tác dụng áp suất thủy tĩnh là một mặt cong, biểu đồ phân bố áp suất phải vẽ cho từng điểm. Quy luật phân bố áp suất thủy tĩnh theo chiều sâu vẫn là hàm số bậc nhất, nhưng vì mặt chịu tác dụng áp suất là mặt cong nên không thể vẽ theo đường thẳng.

Hình 2.10 Phân bố lực phân tố chất lỏng lên thành bể



2. Phương trình Euler thủy tĩnh

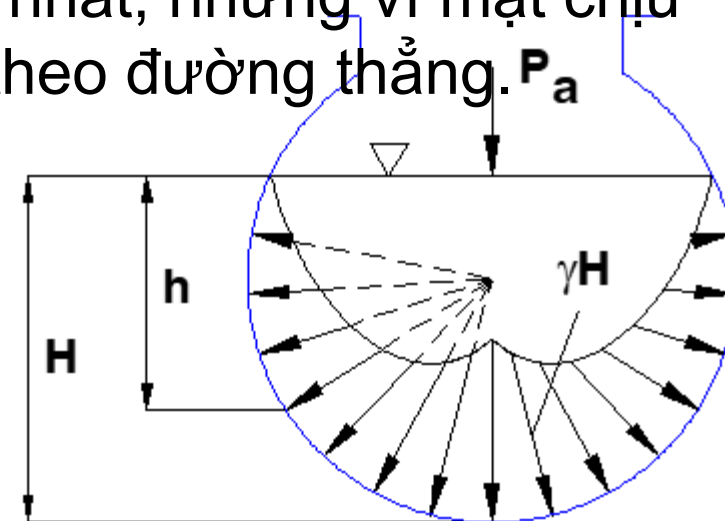
2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.2 Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh

Trường hợp áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt phẳng AB nghiêng thì biểu đồ phân bố áp suất cũng vẽ theo phương pháp nói trên(H2).

Trường hợp mặt thành chịu tác dụng áp suất thủy tĩnh là một mặt cong, biểu đồ phân bố áp suất phải vẽ cho từng điểm. Quy luật phân bố áp suất thủy tĩnh theo chiều sâu vẫn là hàm số bậc nhất, nhưng vì mặt chịu tác dụng áp suất là mặt cong nên không thể vẽ theo đường thẳng.

Hình 2.11 Phân bố lực phân tố chất lỏng lên thành bể



2. Phương trình Euler thủy tĩnh

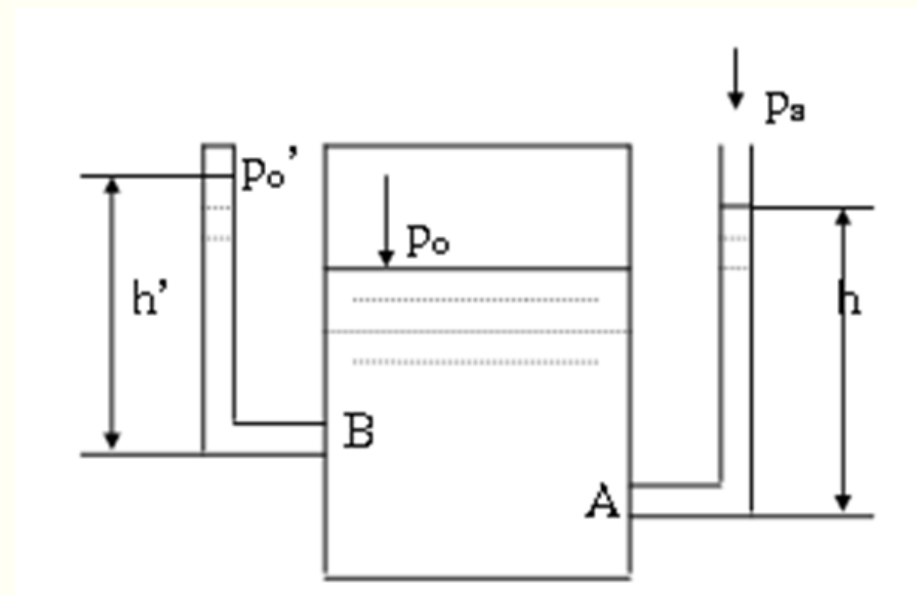
2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.3 Dụng cụ đo áp suất

Ống đo áp hở: là ống thủy tĩnh đường kính từ 10mm trở lên (đường kính lớn để tránh hiện tượng mao dẫn làm ảnh hưởng đến kết quả đo) có dạng hình chữ L, 2 đầu hở, 1 đầu thông với khí trời, còn đầu kia nối với điểm cần đo. Chất lỏng sẽ dâng lên trong ống một độ cao h (kể từ điểm đo đến mặt thoáng của ống).

Áp suất tại điểm đo:

$$p = p_a + \gamma h \quad \Rightarrow \quad p_{duy} = \gamma h$$



Hình 2.12 Ống đo áp hở

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.3 Dụng cụ đo áp suất

Ống này thường được dùng để đo áp suất dư.

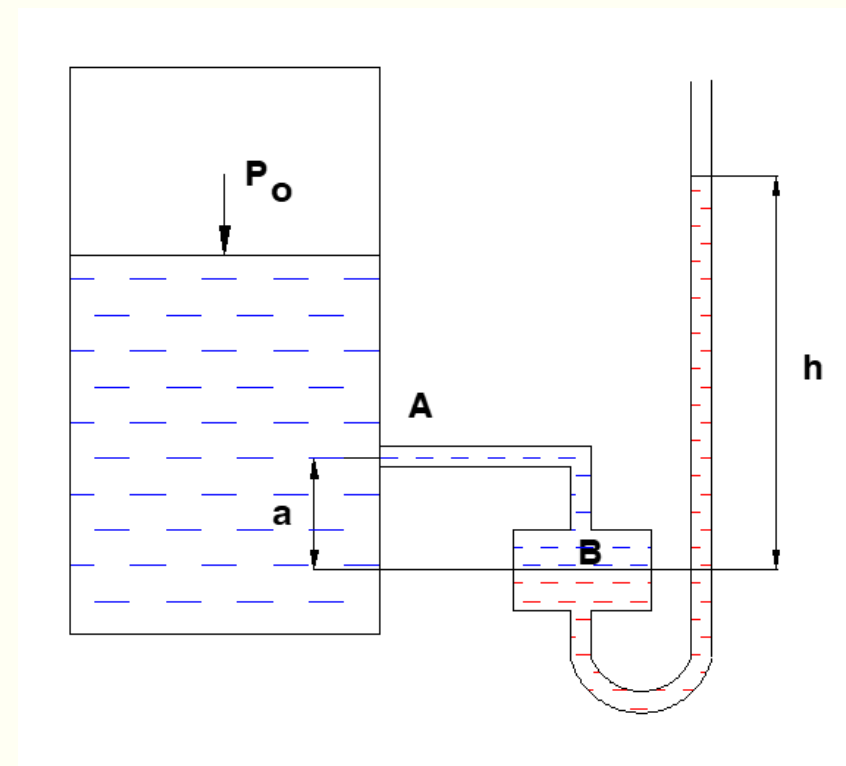
Ống đo áp kín: khác ống đo áp hở ở chỗ là đầu trên kín không thông với khí trời và lúc đo áp suất phải hút hết không khí ở ống ra để cho áp suất mặt thoáng $p_o' = 0$.

Áp suất tại điểm đo:

$$p = p_o' + \gamma h'$$

$$p = \gamma h'$$

Ống đo áp chữ U: là ống thủy tĩnh uốn hình chữ U hở 2 đầu, bên trong chứa lưu chất không hòa tan với lưu chất cần đo dùng để đo chênh áp giữa 2 điểm.



Hình 2.13 Ống đo áp kín

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.3 Dụng cụ đo áp suất

Áp kế thủy ngân là một ống hình chữ U đựng thủy ngân, ở nhánh trái của ống có 1 bầu lớn, mục đích để khi thủy ngân di chuyển trong ống thì mức thủy ngân ở bầu coi như không đổi.

Tính áp suất tại điểm A:

Ta có:

$$p_{\text{đáyB}} = \gamma_{\text{tn}} \cdot h$$

$$p_{\text{đáyB}} = p_{\text{đáyA}} + \gamma \cdot a$$

Suy ra:

$$p_{\text{đáyA}} = \gamma_{\text{tn}} h - \gamma \cdot a$$

2. Phương trình Euler thủy tĩnh

2.7 7. Các loại áp suất – Biểu đồ phân bố áp suất - Dụng cụ đo áp suất

2.7.3 Dụng cụ đo áp suất

Đồng hồ đo áp:

Có hai loại:

Áp kế: đo áp suất dư

$$p_{AK} = p_d$$

Giá trị tuyệt đối tại điểm đo tính theo công thức:

$$p_t = p_a + p_d$$

Chân không kế: đo áp suất chân không. Chỉ số trên áp kế là giá trị chân không do đó ta phải chuyển về giá trị tuyệt đối để tính.

$$p_t = p_a - p_{ck}$$



The End