



HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM
Vietnam National University of Agriculture

Chương 5

Cơ học chất lưu

Nguyễn Tiến Hiền
Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

Webpage: <http://fita.vnua.edu.vn/nthien/>

NỘI DUNG CHÍNH

1. Đại cương chất lưu
2. Khối lượng riêng và Áp suất
3. Tĩnh học chất lưu
4. Động học chất lưu

ĐẠI CƯƠNG CHẤT LƯU

1. Chất lưu là chất có thể chảy.
2. Chất lưu bao gồm cả chất lỏng và chất khí, phân biệt theo khả năng chịu nén của chúng. Chất lỏng chịu nén tốt hơn chất khí.
3. Chất lưu có thể tích xác định nhưng không có hình dạng xác định. Chất lưu luôn có hình dạng của bình chứa nó.
4. Dòng chảy chất lưu thường chảy theo từng lớp. Mỗi lớp có vận tốc khác nhau, ta gọi là sự chảy tầng của chất lưu.
5. Giữa các lớp chất lưu tồn tại một lực tương tác khi chuyển động gọi là lực nội ma sát (tính nhớt). Tính nhớt của chất lưu chỉ xuất hiện khi chất lưu chuyển động.
6. “Chất lưu lý tưởng” là chất lưu không chịu nén và không có độ nhớt.
7. Chất lưu chịu nén hoặc có lực nội ma sát là chất lưu thực.

KHỐI LƯỢNG RIÊNG và ÁP SUẤT

1. Khối lượng riêng

- Định nghĩa: Khối lượng trên một đơn vị thể tích vật chất
- Biểu thức

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{kg}{m^3}, \frac{g}{cm^3} \right)$$

2. Áp suất

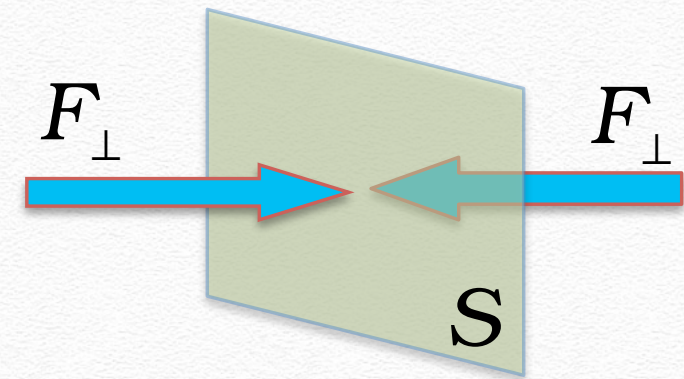
- Định nghĩa: Áp lực trên một đơn vị diện tích vuông góc với nó
- Đơn vị:

❖ Pascal (Pa); $1Pa = 1N/m^2$

❖ $1 bar = 10^5 Pa$; và do đó $1 mbar = 100 Pa$

❖ $1 atm = 1.013.10^5 Pa = 1.013 bar$

- Áp suất của chất lưu luôn vuông góc với một tiết diện bất kỳ dù cho tiết diện đó có định hướng như thế nào đi nữa. Do đó, khái niệm áp suất tự bản thân nó không có chiều xác định và vì thế nó là một đại lượng vô hướng chứ không phải một vectơ.



TĨNH HỌC CHẤT LƯU

1. Công thức cơ bản của tĩnh học chất lưu

- Tách ra một khối chất lưu chứa trong một hình trụ thẳng đứng nằm ở trạng thái cân bên trong một bình chứa chất lưu $\Rightarrow$ tổng hợp lực tác dụng vào nó bằng không.
- Lực tác dụng vào khối chất lưu theo phương thẳng đứng gồm:

- ❖ Trọng lượng của chất lưu $p = mg$
- ❖ Hai lực F_1 do áp suất p_1 và F_2 do áp suất p_2 tác dụng lên mặt trên và mặt dưới của khối chất lưu

$$\sum F = 0 \Rightarrow F_1 - F_2 + mg = 0$$

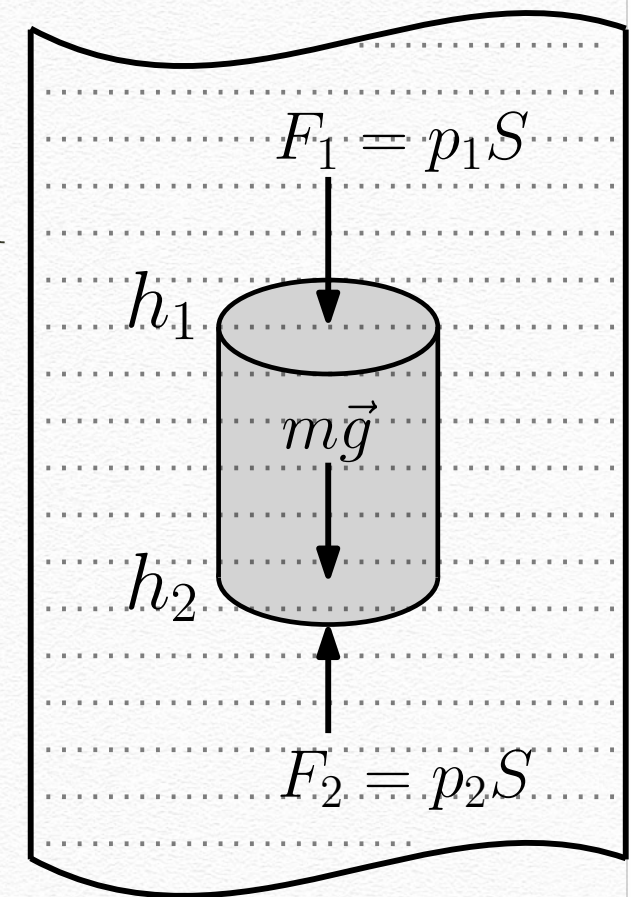
$$\Leftrightarrow p_1 S - p_2 S + \rho g S(h_2 - h_1) = 0$$

$$\Rightarrow p_2 = p_1 + \rho(h_2 - h_1)g$$

- ❖ Nếu đáy trên của hình trụ nằm ở mặt thoáng

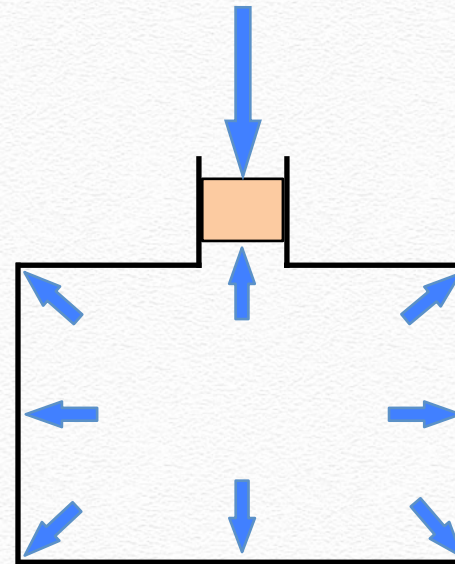
$$h_1 = 0; h_2 = h; p_1 = p_0 = \text{ASKQ}$$

$$\Rightarrow p = p_0 + \rho gh$$



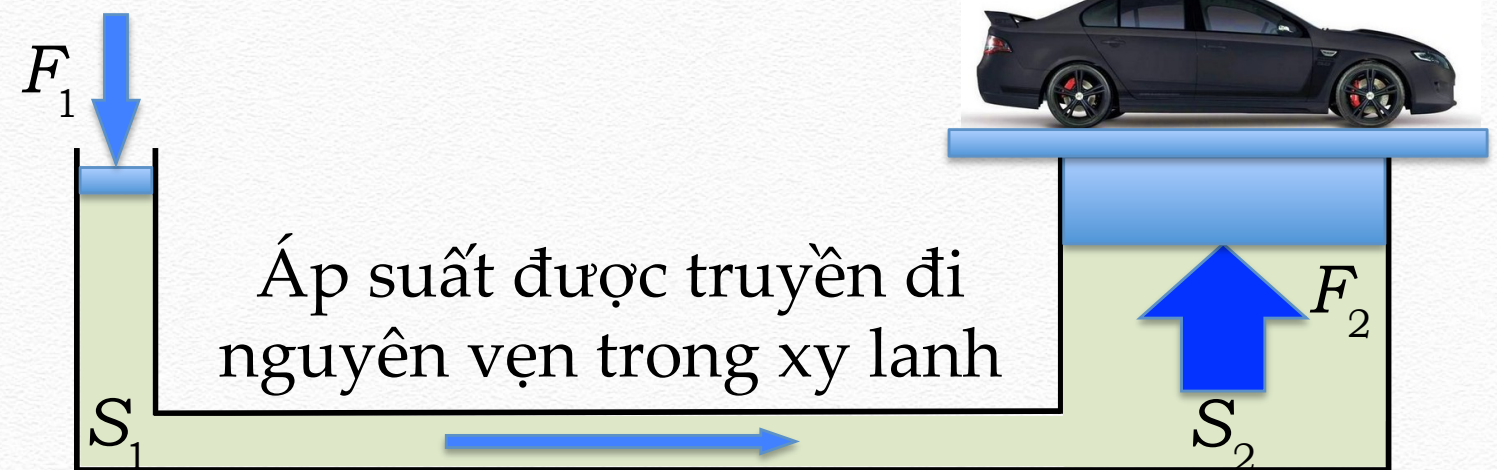
2. Nguyên lý Pascal

- Phát biểu định luật: “Áp suất tác dụng lên một bình kín chứa lưu được truyền đi nguyên vẹn theo mọi hướng trong bình chứa”.



- Áp dụng: kích thủy lực

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$
$$\Rightarrow F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1$$



ĐỘNG HỌC CHẤT LƯU

1. Sự chuyển động của chất lưu

- Chất lưu thường chuyển động thành dòng (chảy thành dòng)
- Có hai dạng dòng chảy: dòng chảy ổn định và không ổn định



Vận tốc của chất lỏng không thay đổi theo thời gian

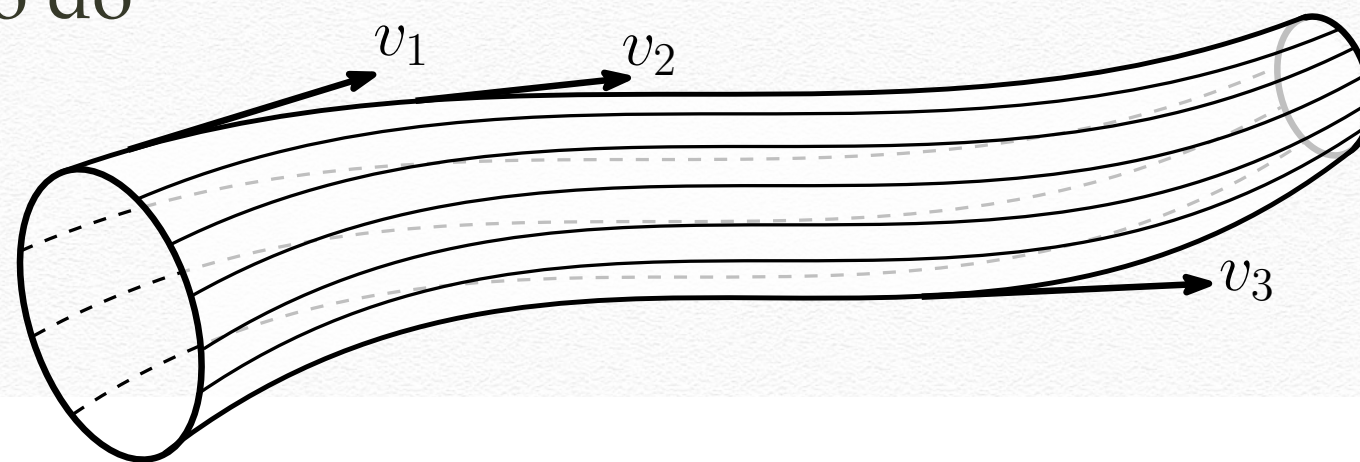


Vận tốc của chất lỏng thay đổi theo thời gian

ĐỘNG HỌC CHẤT LƯU

2. Trạng thái chảy ổn định, đường dòng, ống dòng

- Dòng chảy ổn định: dòng chảy mà tại mọi vị trí dọc theo dòng chất lưu vận tốc của nó không thay đổi theo thời gian.
- “Mọi phần tử chất lưu sẽ có cùng vận tốc khi chuyển động qua một vị trí xác định nào đó”
- Để mô tả vận tốc chuyển động của dòng chất lưu ta thường sử dụng các đường dòng.
- Đường dòng là những đường cong mà tiếp tuyến của nó tại mọi điểm luôn hướng theo phương của vận tốc tại điểm đó.
- Ống dòng là tập hợp các đường dòng tựa trên một chu vi tưởng tượng nào đó



ĐỘNG HỌC CHẤT LƯU

3. Phương trình liên tục

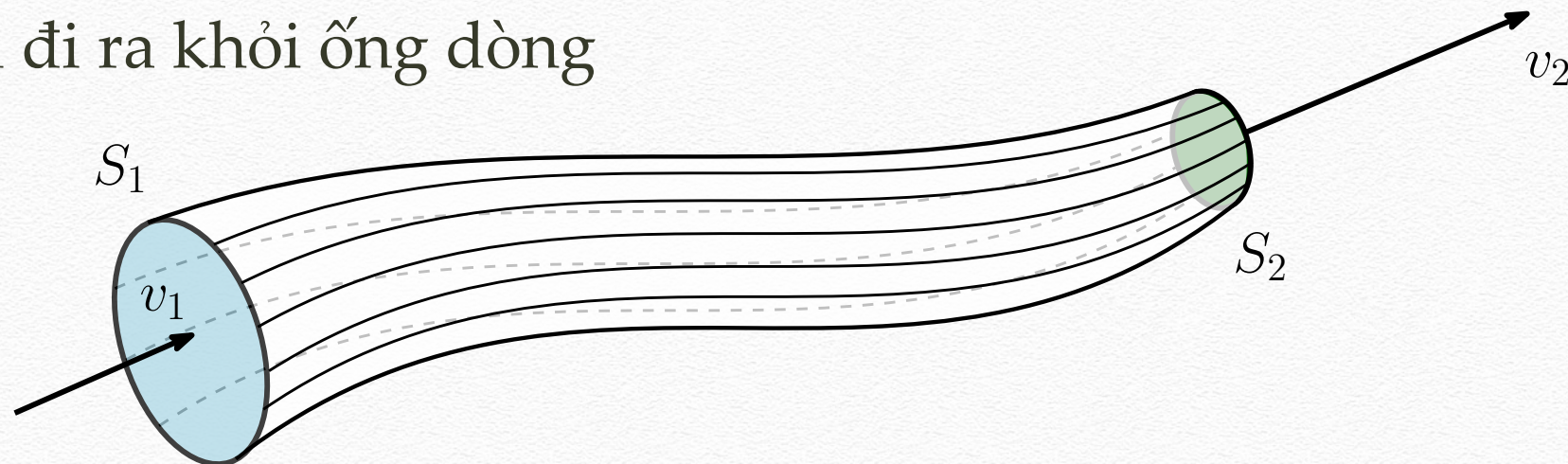
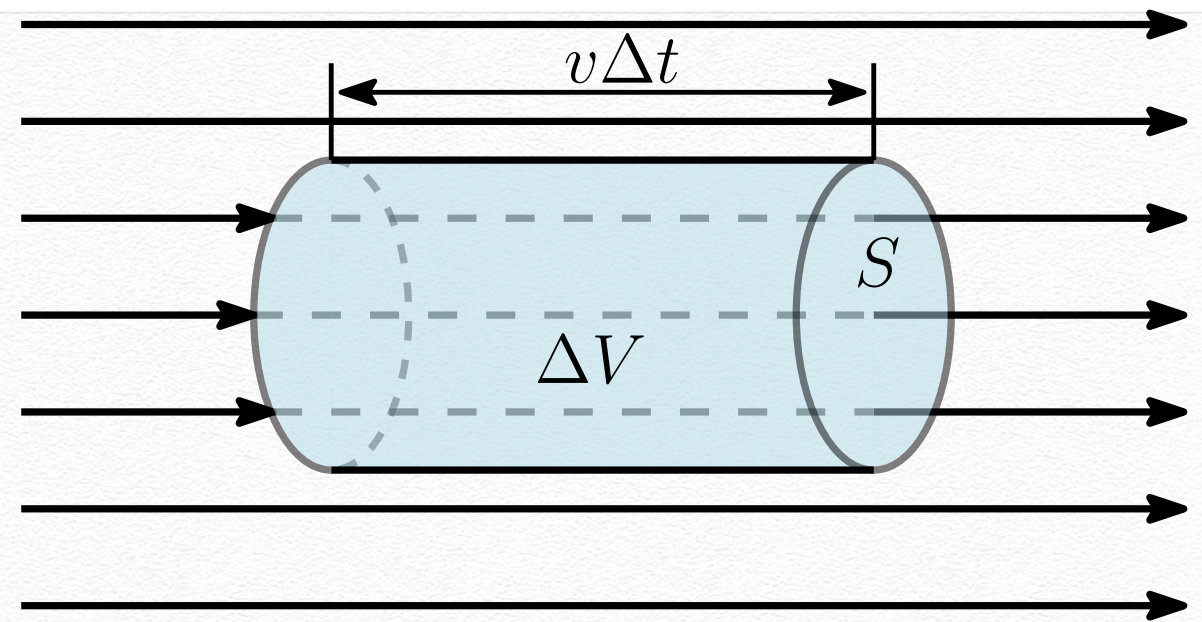
- Lưu lượng dòng chảy

- ❖ $\Delta V = (v\Delta t)S$

- ❖ $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = vS$

- Phương trình liên tục

- ❖ Đối với một dòng chảy ổn định thì trong một đơn vị thời gian thể tích chất lưu chảy vào ống dòng cân bằng với thể tích chất lưu chảy ra khỏi ống dòng (định luật bảo toàn dòng), lưu lượng dòng chảy chất lưu đi vào ống dòng cân bằng với lưu lượng dòng chảy chất lưu đi ra khỏi ống dòng



$$Q_1 = Q_2 \iff v_1 S_1 = v_2 S_2 \text{ hay } vS = hS$$

4. Phương trình Bernoulli

- Dựa vào sự bảo toàn năng lượng của dòng chất lưu khi chuyển động, Bernoulli đã thiết lập một phương trình mô tả trạng thái chuyển động của một dòng chất lưu lý tưởng chảy ổn định trong một ống dòng
- Phương trình

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$\text{hay } p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = hs$$

- Xem phần thiết lập phương trình Bernoulli ở phụ lục

5. Phát biểu phương trình Bernoulli

- Cách phát biểu 1: coi các số hạng mô tả năng lượng

p là năng lượng riêng của dòng chất lưu

$\frac{1}{2}\rho v^2$ là động năng riêng của dòng chất lưu

ρgh là thế năng riêng của dòng chất lưu

- “Với một dòng chất lưu lý tưởng chảy dừng trong một ống dòng, tổng động năng riêng, thế năng riêng và năng lượng riêng của khối chất lưu là một số không đổi dọc theo ống dòng”

5. Phát biểu phương trình Bernoulli

- Cách phát biểu 2: coi các số hạng mô tả áp suất

p là áp suất tĩnh của dòng chất lưu

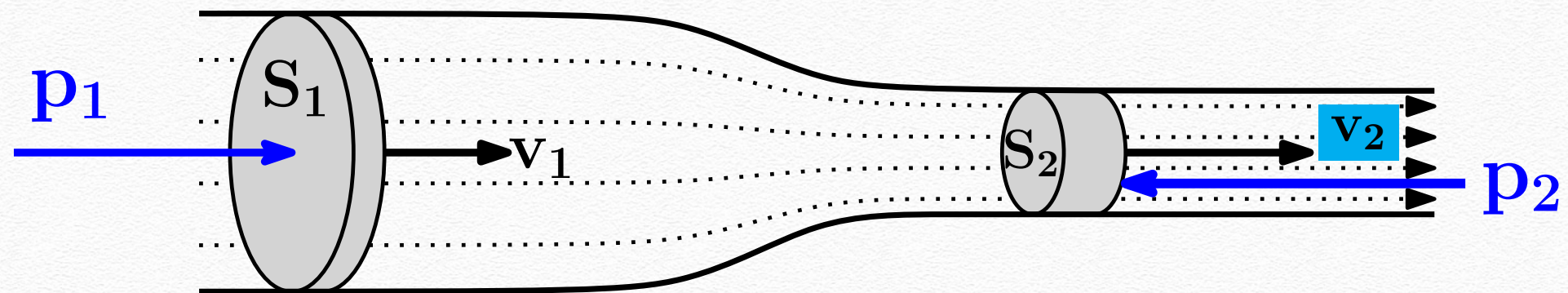
$\frac{1}{2}\rho v^2$ là áp suất động của dòng chất lưu

ρgh là áp suất thủy lực của dòng chất lưu

- “Với một dòng chất lưu lý tưởng chảy dừng trong một ống dòng, tổng áp suất động, áp suất tĩnh và áp suất thủy lực của khối chất lưu là một số không đổi dọc theo ống dòng”

6. Hệ quả của phương trình Bernoulli

- Hệ quả 1: Nếu ống dòng nằm ngang có tiết diện ngang thay đổi



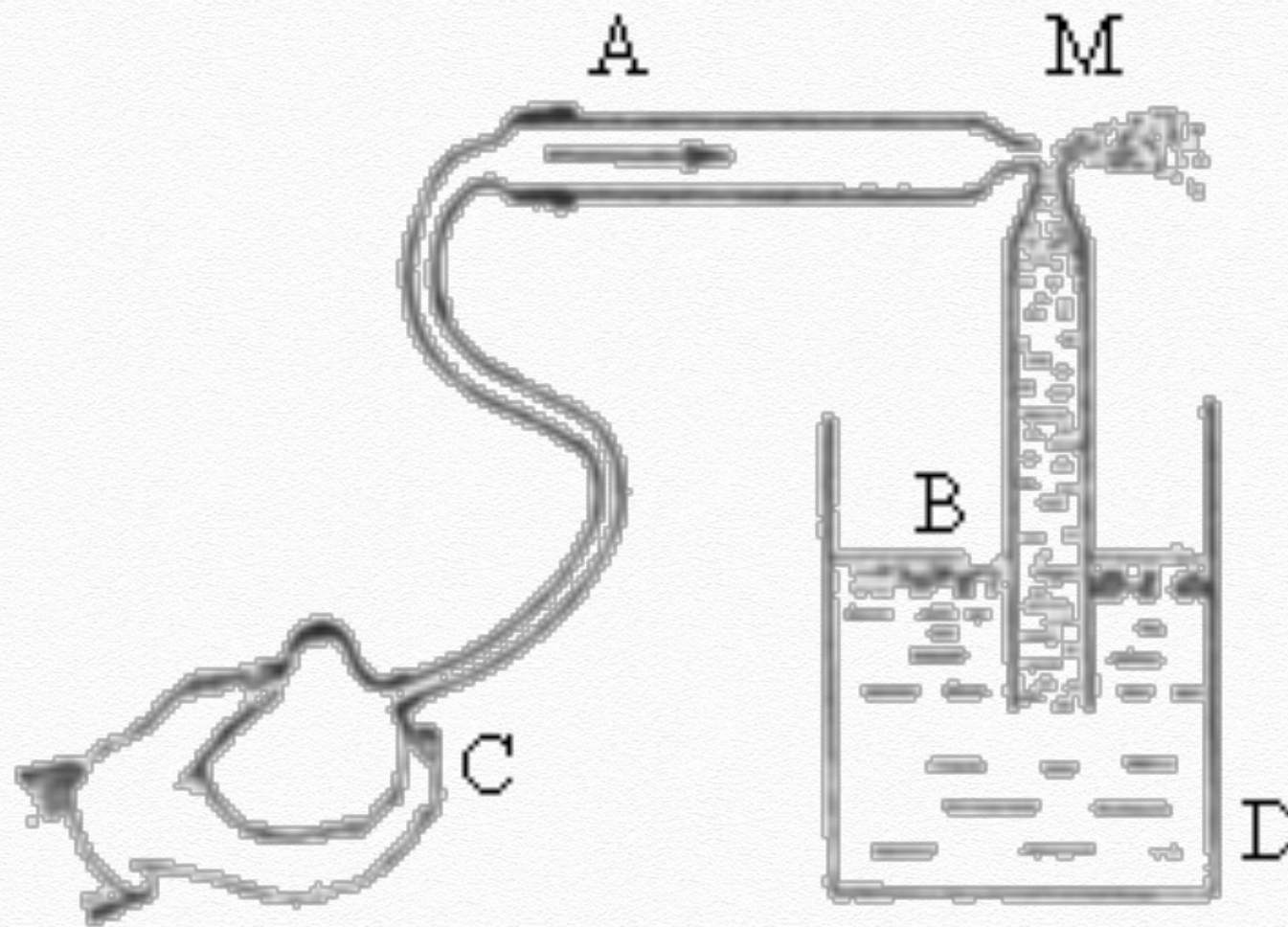
$$\left. \begin{array}{l} z_1 = z_2 \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \\ S_1 > S_2 \\ v_1 S_1 = v_2 S_2 \end{array} \right\} \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{S_1}{S_2} > v_1 \Rightarrow p_1 > p_2$$

- Những vị trí mà ống dòng có tiết diện lớn hơn có áp suất cao hơn

ĐỘNG HỌC CHẤT LƯU

6. Hệ quả của phương trình Bernoulli

- Hệ quả 1: Hiện tượng Venturi



ĐỘNG HỌC CHẤT LƯU

6. Hệ quả của phương trình Bernoulli

- Hệ quả 2: Công thức Toricelli

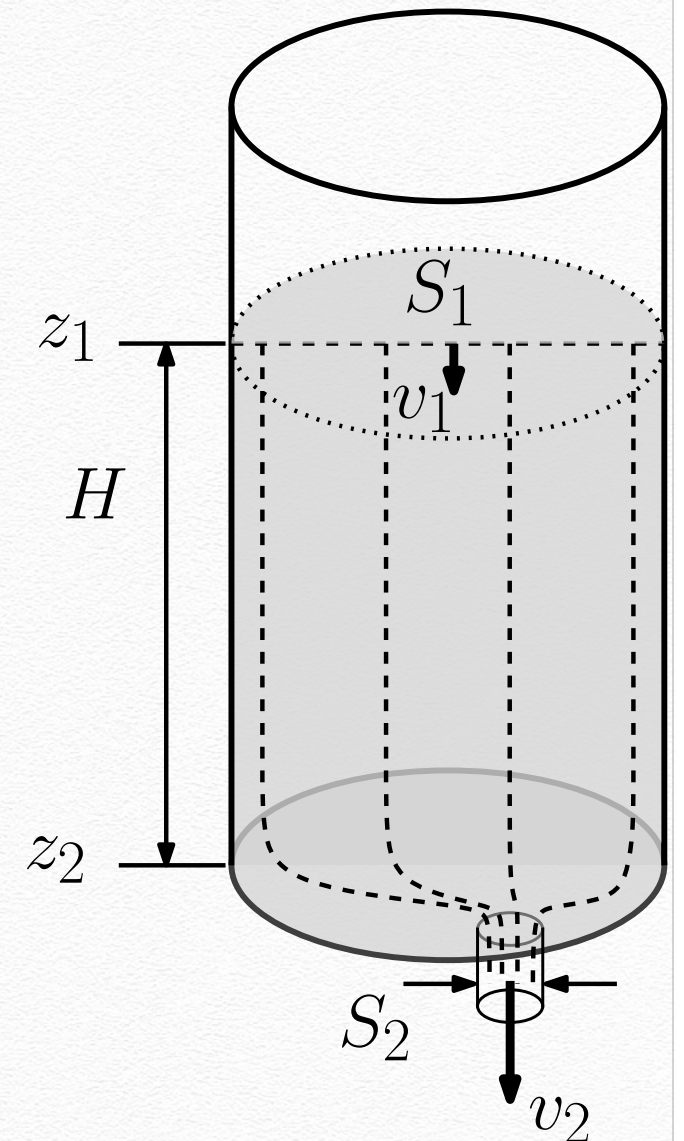
$$p_1 = p_2 = p_0 \Rightarrow \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$\left. \begin{array}{l} v_1 S_1 = v_2 S_2 \\ S_1 \gg S_2 \end{array} \right\} \Rightarrow v_1 = v_2 \frac{S_2}{S_1} \ll v_2 \Rightarrow v_1 \approx 0$$

$$\rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \Rightarrow v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

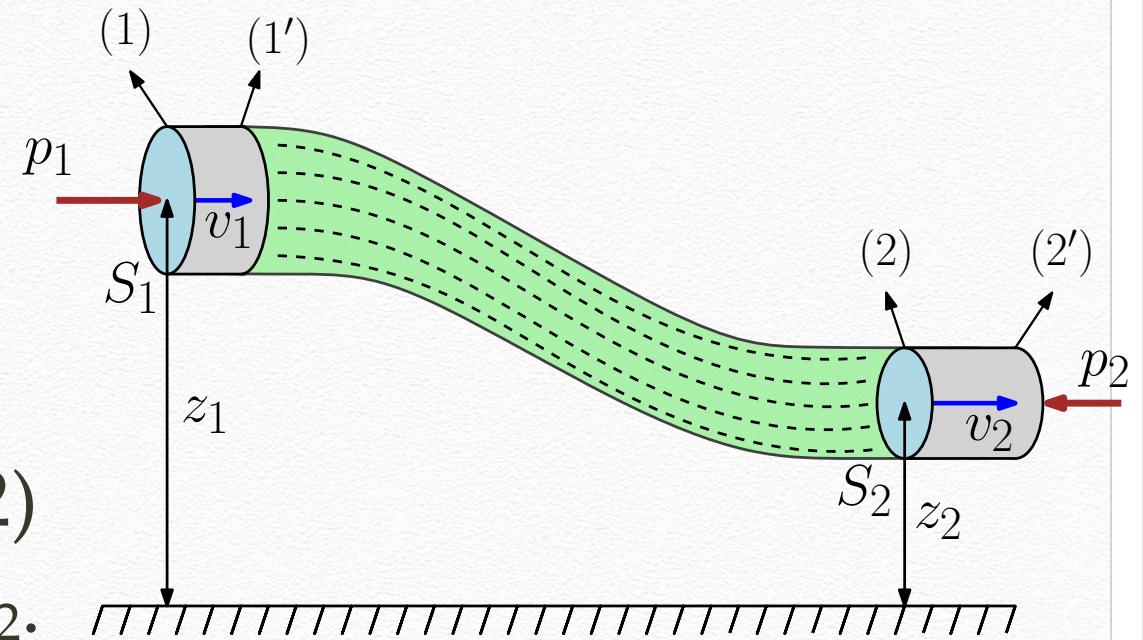
$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Tốc độ dòng chảy của khối chất lưu chính bằng tốc độ của một vật rơi tự do từ cùng độ cao



Thiết lập phương trình Bernoulli

1. Xét một dòng chất lưu lý tưởng chảy dừng trong một ống dòng
2. Ở thời điểm t khối chất lưu nằm trong khoảng không gian được giới hạn bởi vị trí (1) và (2) với vận tốc tương ứng là v_1 và v_2 .



3. Sau một khoảng thời gian dt , khối chất lưu chuyển động tới vị trí mới nằm trong khoảng không gian được giới hạn bởi vị trí (1') và (2')

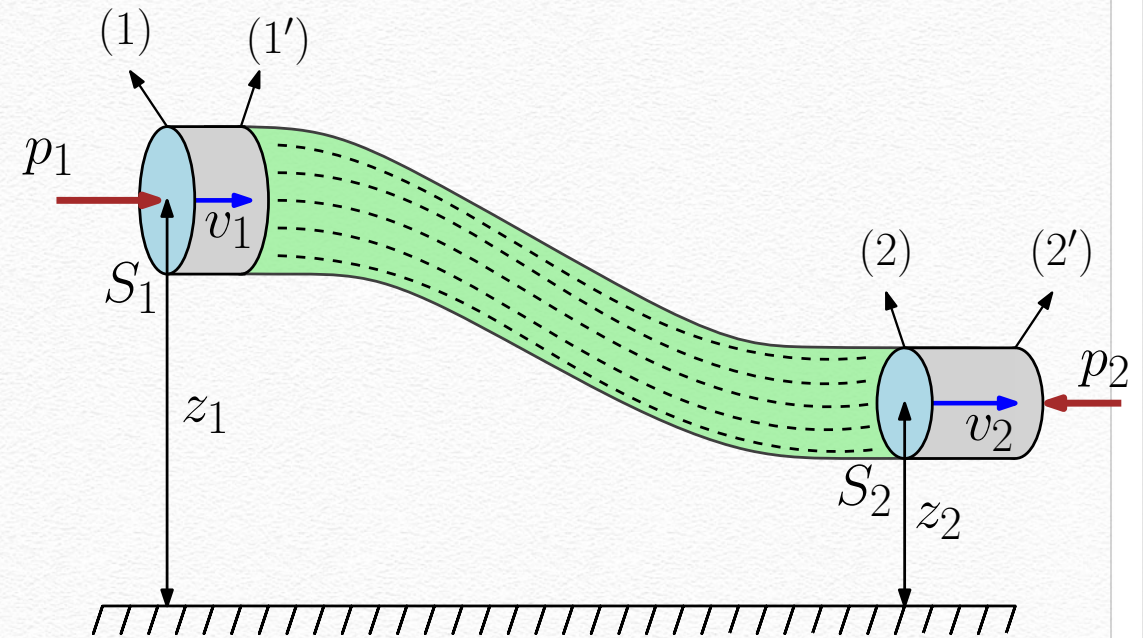
4. Áp dụng nguyên lý bảo toàn công-cơ năng cho dòng chất lưu

$$dA = dW = dW_{đ} + dW_t$$

5. Trong đó dA là Công của ngoại lực thực hiện lên dòng chất lưu, $dW_{đ}$ và dW_t là sự Thay đổi động năng và thế năng của nó

Thiết lập phương trình Bernoulli

6. Công của ngoại lực: Ngoại lực tác dụng ở đây lực chất là lực đẩy của dòng chất lưu phía sau và lực cản của dòng chất lưu phía trước, gây ra áp suất p_1 và p_2 tương ứng



$$\begin{aligned} dA &= F_1 \overline{11'} - F_2 \overline{22'} \\ &= p_1 S_1 \overline{11'} - p_2 S_2 \overline{22'} \quad (\text{vì } F_1 = p_1 S_1; \quad F_2 = p_2 S_2) \end{aligned}$$

- vì $S_1 \overline{11'} = S_2 \overline{22'} = dV$ nên $dA = (p_1 - p_2) dV$

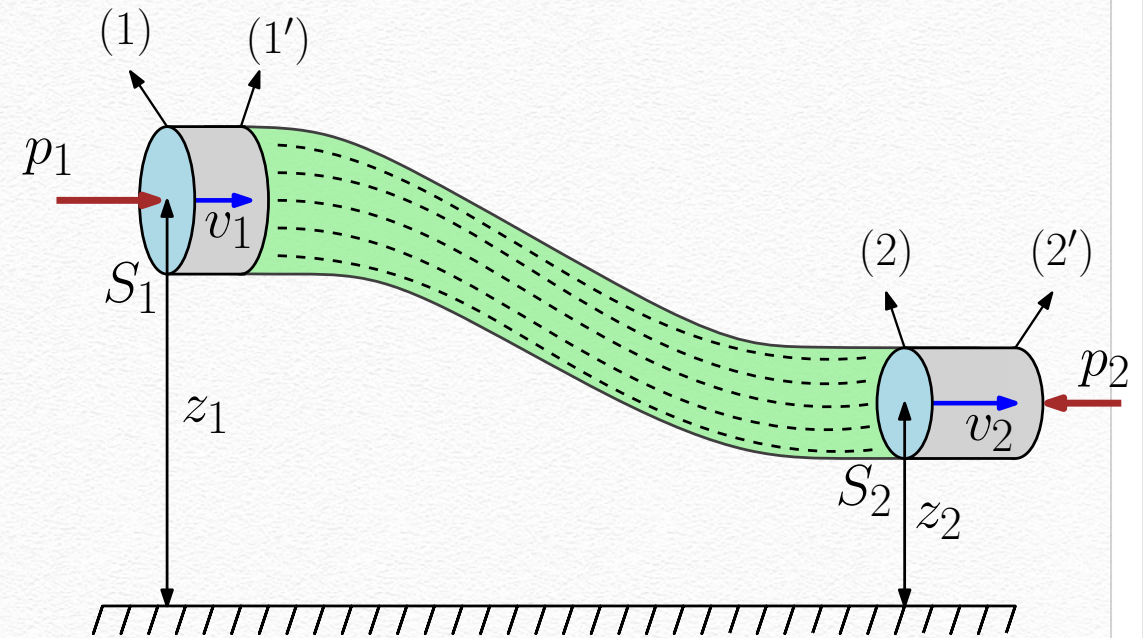
$$dA = (p_1 - p_2) dV$$

Thiết lập phương trình Bernoulli

7. Sự thay đổi động năng

- Khi khối chất lưu (ở thời điểm ban đầu) nằm trong khoảng không gian 12 di chuyển đến vị trí mới 1'2' thì trong khi di chuyển giữa hai khối chất lưu 12 và 1'2' có một khoảng không gian chung (trùng nhau) là 1'2. Vì vậy ta có thể giả thiết là sự chuyển dời vị trí từ 12 sang vị trí 1'2' chỉ đơn giản là phần chất lưu từ vị trí 11' di chuyển (nhảy) sang vị trí 22'.
- Sự thay đổi động năng của khối chất lưu bằng

$$\begin{aligned}dW_{đ} &= W_{đ2} - W_{đ1} \\&= \frac{1}{2}dm \cdot v_2^2 - \frac{1}{2}dm \cdot v_1^2 = \frac{1}{2}\rho dV(v_2^2 - v_1^2)\end{aligned}$$



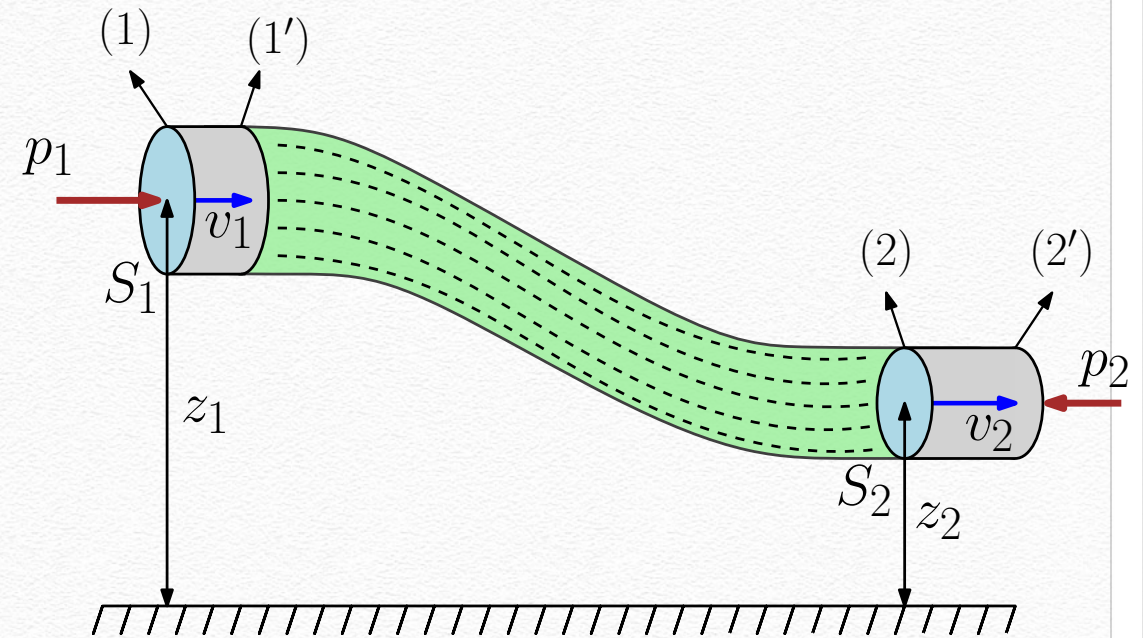
Thiết lập phương trình Bernoulli

8. Sự thay đổi thế năng

- Khi khối chất lưu (ở thời điểm ban đầu) nằm trong khoảng không gian 12 di chuyển đến vị trí mới 1'2' thì trong khi di chuyển giữa hai khối chất lưu 12 và 1'2' có một khoảng không gian chung (trùng nhau) là 1'2. Vì vậy ta có thể giả thiết là sự chuyển dời vị trí từ 12 sang vị trí 1'2' chỉ đơn giản là phần chất lưu từ vị trí 11' di chuyển (nhảy) sang vị trí 22'.

- Sự thay đổi thế năng của khối chất lưu bằng

$$\begin{aligned}dW_t &= W_{t2} - W_{t1} \\ &= dm \cdot gh_2 - dm \cdot gh_1 = \rho g dV(h_2 - h_1)\end{aligned}$$



Thiết lập phương trình Bernoulli

9. Tổng kết

$$dA = (p_1 - p_2)dV$$

$$dA = dW_{đ} + dW_t \quad \text{trong đó} \quad dW_{đ} = \frac{1}{2}\rho dV(v_2^2 - v_1^2)$$

$$dW_t = \rho g dV(h_2 - h_1)$$

$$(p_1 - p_2)dV = \frac{1}{2}\rho dV(v_2^2 - v_1^2) + \rho g dV(h_2 - h_1)$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(h_2 - h_1)$$

10. Chuyển các số hạng có chỉ số 1 sang một bên, chỉ số 2 sang một bên ta nhận được phương trình

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$\text{hay } p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = h_s$$

Đây là phương trình Bernoulli

Hết chương 5

Nguyễn Tiên Hiền

Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

Webpage: <http://fita.vnua.edu.vn/nthien/>