



HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM
VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY OF AGRICULTURE

Chương 5

Cơ học chất lưu

Nguyễn Tiến Hiến - Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

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

- ❖ Đại cương chất lưu
- ❖ Khối lượng riêng và Áp suất
- ❖ Tĩnh học chất lưu
- ❖ Động học chất lưu

- ❖ Chất lưu là chất có thể chảy.
- ❖ 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.
- ❖ Chất lưu có thể tích xác định nhưng không có hình dạng xác định. Chất lưu luôn có hình dạng của bình chứa nó.
- ❖ 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.
- ❖ 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 chuyển động.
- ❖ “Chất lưu lý tưởng” là chất lưu không chịu nén và không có độ nhớt.
- ❖ Chất lưu chịu nén hoặc có lực nội ma sát là chất lưu thực.

2. Khối lượng riêng và Áp suất

❖ Khối lượng riêng

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

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

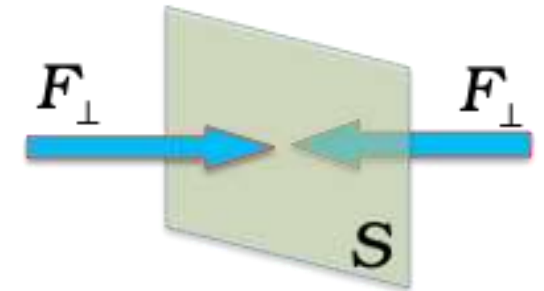
❖ Áp suất

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

- Đơn vị:

- Pascal (Pa): $1Pa = 1N/m^2$
- Bar: $1 bar = 10^5 Pa$; $1 mbar = 100 Pa$
- Át một phe: $1 atm = 1.013 \times 10^5 Pa = 1.013 bar$

- 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 không phải một vectơ.



3. Tĩnh học chất lưu

❖ 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.

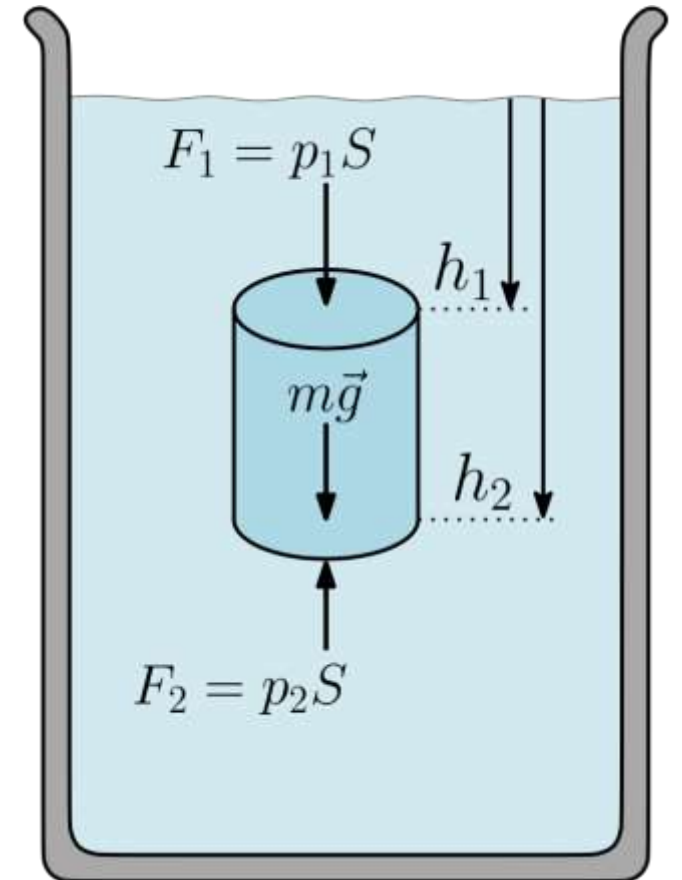
○ Lực tác dụng vào khối chất lưu theo phương thẳng đứng gồm:

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

$$\begin{aligned}\sum F &= 0 \Rightarrow F_1 - F_2 + mg = 0 \\ \Leftrightarrow p_1 S - p_2 S + \rho g S(h_2 - h_1) &= 0 \\ \Rightarrow p_2 &= p_1 + \rho g(h_2 - h_1)\end{aligned}$$

- Nếu đáy trên của hình trụ nằm ở mặt thoáng

$$\begin{aligned}h_1 &= 0; h_2 = h; p_1 = p_0 = \text{ASKQ} \\ \Rightarrow p &= p_0 + \rho gh\end{aligned}$$



❖ **Bài tập 1:** Khi lặn sâu xuống nước người thợ lặn phải lặn xuống một cách từ từ sao cho sự thay đổi áp lực do thay đổi độ sâu tăng chậm và không làm ảnh hưởng đến sức khỏe (không gây sốc). Hỏi áp suất thay đổi như thế nào khi người thợ lặn xuống sâu 2 mét so với mặt nước biển. Biết rằng khối lượng riêng của nước biển là 1025 kg/m^3 .

❖ **Đáp án**

○ Áp dụng công thức cơ bản của tĩnh học chất lưu, gọi p là áp suất ở độ sâu h của nước biển so với mực nước biển, áp suất này được tính theo công thức

$$p = p_0 + \rho gh$$

○ Sự thay đổi áp suất khi xuống sâu độ sâu h so với mực nước biển là

$$\Delta p = p - p_0 = \rho gh$$

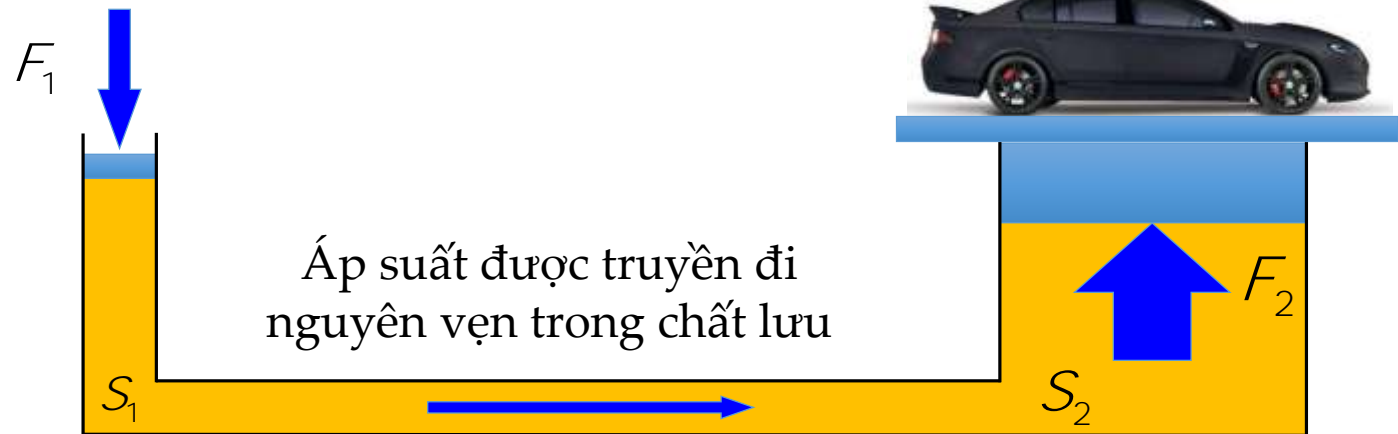
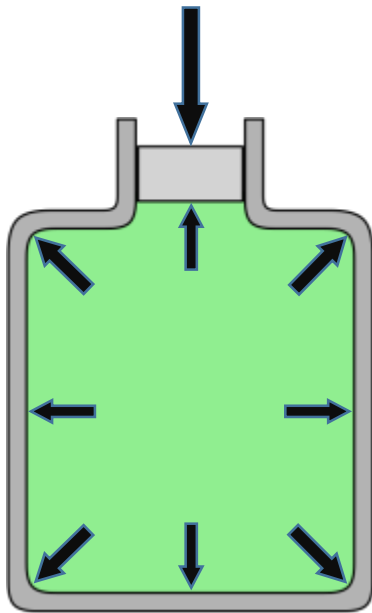
$$\Delta p = \rho gh = 1025 \times 9,8 \times 2 \text{ m} = 20090 \text{ Pa}$$

3. Tĩnh học chất lưu

❖ 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

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



4. Động học chất lưu

❖ 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

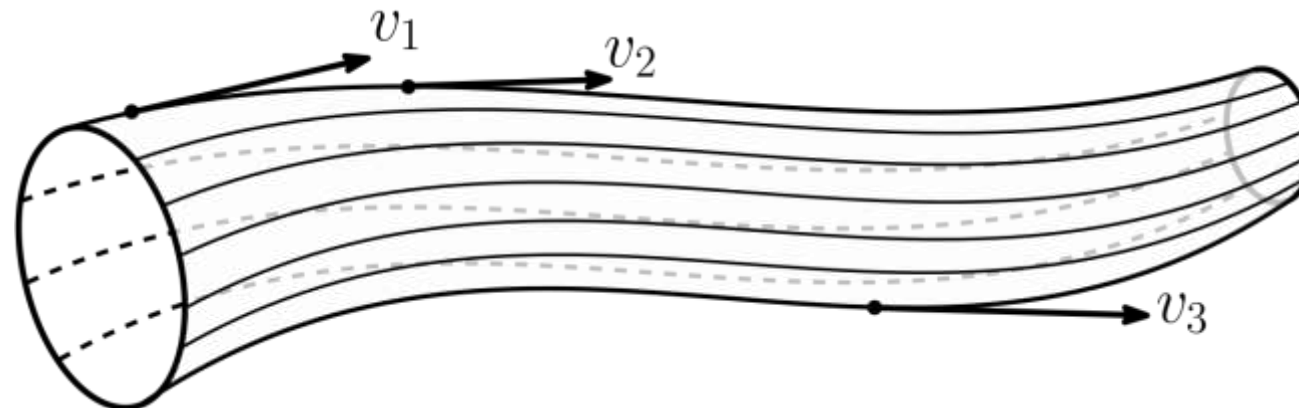


Vận tốc của chất lỏng không thay đổi theo thời gian



Vận tốc của chất lỏng thay đổi theo thời gian

- ❖ Trạng thái chảy ổn định, đường dòng, ống dòng
 - Đặc điểm của dòng chảy ổn định:
 - “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

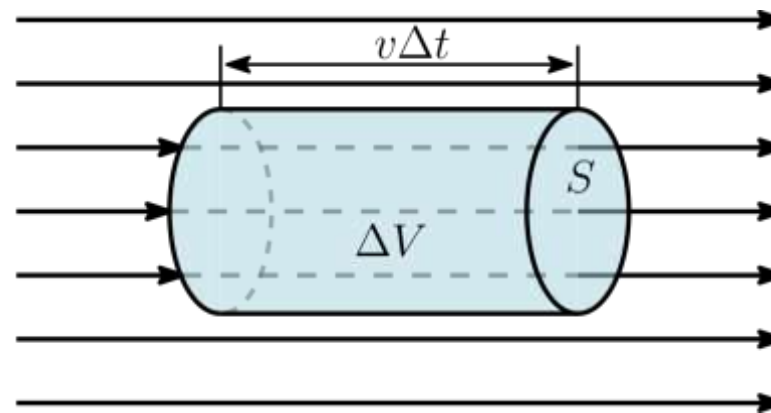


4. Động học chất lưu

❖ Phương trình liên tục

○ Lưu lượng dòng chảy

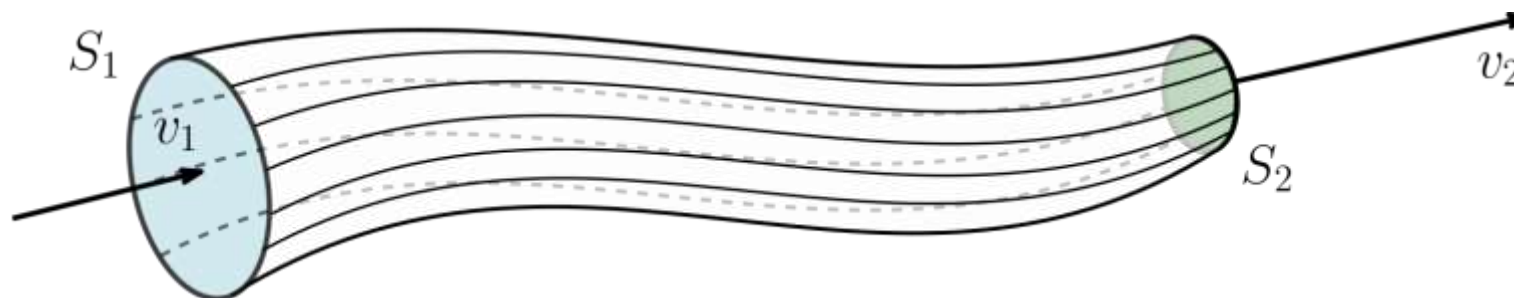
$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ \Delta V &= S \times v \Delta t \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = S \cdot v$$



○ 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:

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow S_1 v_1 = S_2 v_2$$



- ❖ Phương trình liên tục
- ❖ **Bài tập 3:** Bán kính của một ống dẫn giảm từ 10 cm xuống 5 cm . Hỏi nếu vận tốc của dòng chất lỏng chảy qua phần ống có tiết diện ngang lớn hơn là 4 m/s thì vận tốc của dòng chất lỏng chảy qua phần tiết diện nhỏ hơn sẽ là bao nhiêu?

- ❖ **Đáp án:**

- Áp dụng phương trình liên tục ($S_1 v_1 = S_2 v_2$)

$$\pi r_1^2 \cdot v_1 = \pi r_2^2 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} v_1 = \frac{(10\text{cm})^2}{(5\text{cm})^2} 4\text{m/s}$$

$$v_2 = \frac{100}{25} 4\text{m/s} = 16\text{m/s}$$

4. Động học chất lưu

- ❖ Phương trình liên tục
- ❖ **Bài tập 5:** Xy lanh y tế có kim tiêm nhỏ có đường kính $0,5 \text{ mm}$. Vì có đường kính nhỏ nên y tá thường tiêm chậm sao cho vận tốc thuốc chảy vào cơ thể không gây ra áp suất lớn làm vỡ thành mạch máu. Hỏi vận tốc thuốc tiêm vào cơ thể là bao nhiêu nếu y tá tiêm hết 5 ml thuốc vào cơ thể trong 1 phút.

❖ Đáp án:

- Áp dụng phương trình liên tục ($S_1 v_1 = S_2 v_2$ hoặc $Sv = hs$ hoặc $Q = Sv$)

$$Q = 5 \frac{\text{ml}}{1\text{p}} = \frac{5\text{cm}^3}{60\text{s}} = \frac{1 \text{ cm}^3}{12 \text{ s}} = \frac{1 \text{ 1000mm}^3}{12 \text{ s}}$$

$$Sv = \pi r^2 v = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 v = \pi \left(\frac{0,5\text{mm}}{2}\right)^2 v = \pi \left(\frac{0,05\text{cm}}{2}\right)^2 v$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{\left(\frac{1 \text{ cm}^3}{12 \text{ s}}\right)}{\left[\pi \left(\frac{0,05\text{cm}}{2}\right)^2\right]} = \frac{\left(1 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}\right) 4}{\left[\pi 12 \times 0,0025\text{cm}^2\right]} = 42,5 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0,425 \text{ m/s}$$

❖ 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

$$\rho_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = \rho_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

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

- Xem phần thiết lập phương trình Bernoulli ở phụ lục
- $p(\text{Pa}) = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{m}^3} = \frac{1\text{J}}{\text{m}^3}$ (năng lượng chia cho m^3) \Rightarrow năng lượng riêng
- $m(\text{kg}) \Rightarrow \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow$ Khối lượng riêng (khối lượng chia cho m^3)

❖ Phát biểu phương trình Bernoulli

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

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

ρgh là thế năng riêng của dòng chất lưu

p là năng lượng riêng của dòng chất lưu

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

❖ Phát biểu phương trình Bernoulli

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

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

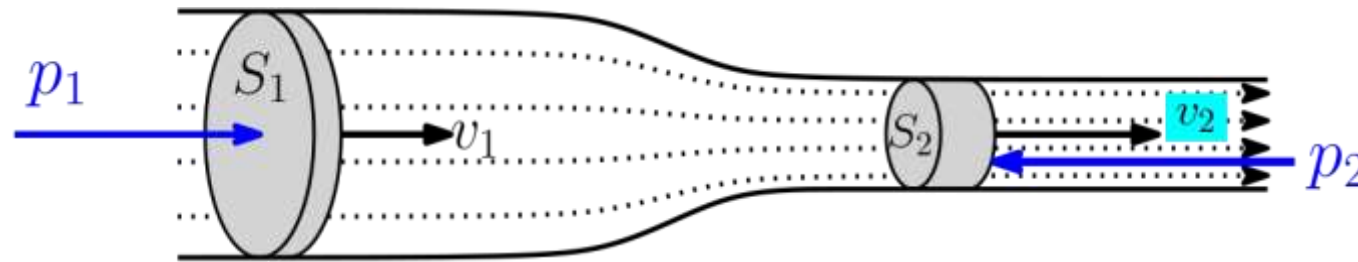
ρgh là áp suất thủy lực của dòng chất lưu

p là áp suất tĩnh của dòng chất lưu

- “Với một dòng chất lưu lý tưởng chảy ổn định 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”

❖ Hệ quả của phương trình Bernoulli

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



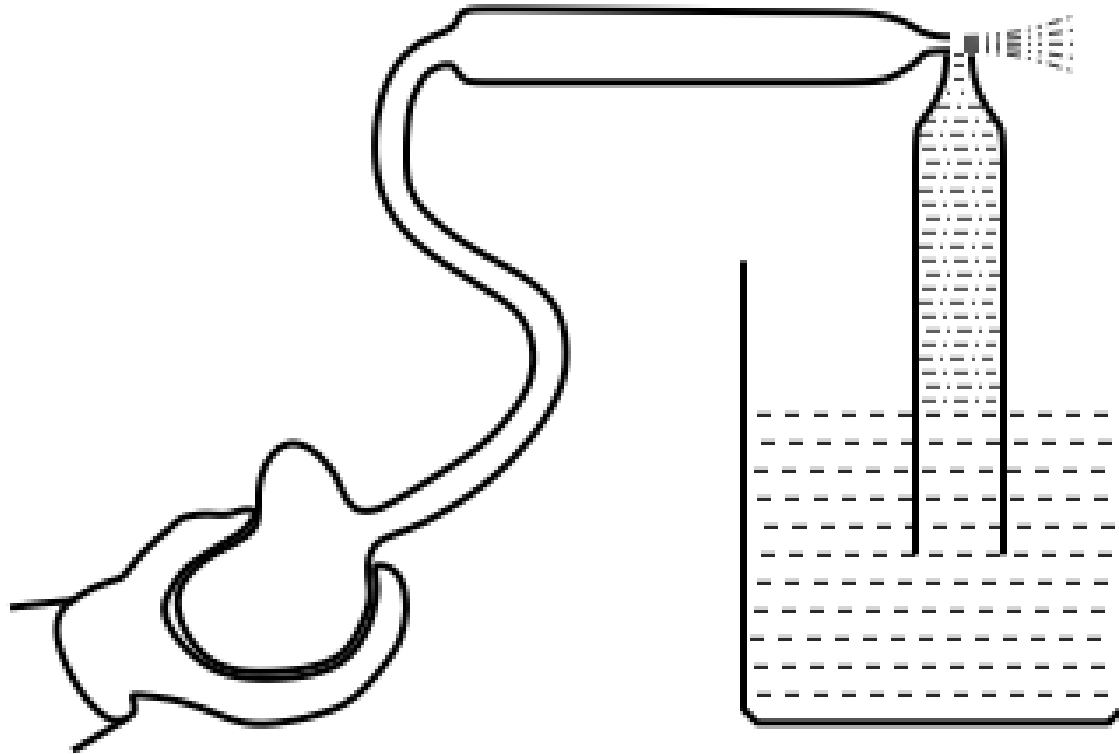
- Phương trình Bernoulli

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

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = h_2 \Rightarrow p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \\ S_1 > S_2 \\ v_1 S_1 = v_2 S_2 \end{array} \right\} \Rightarrow v_2 = \frac{S_1}{S_2} v_1 > v_1 \Rightarrow p_1 > p_2$$

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

- ❖ Hệ quả của phương trình Bernoulli
 - Hệ quả 2: Hiện tượng Venturi



❖ Hệ quả của phương trình Bernoulli

○ Hệ quả 3: Công thức Toricelli

▪ Phương trình Bernoulli

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

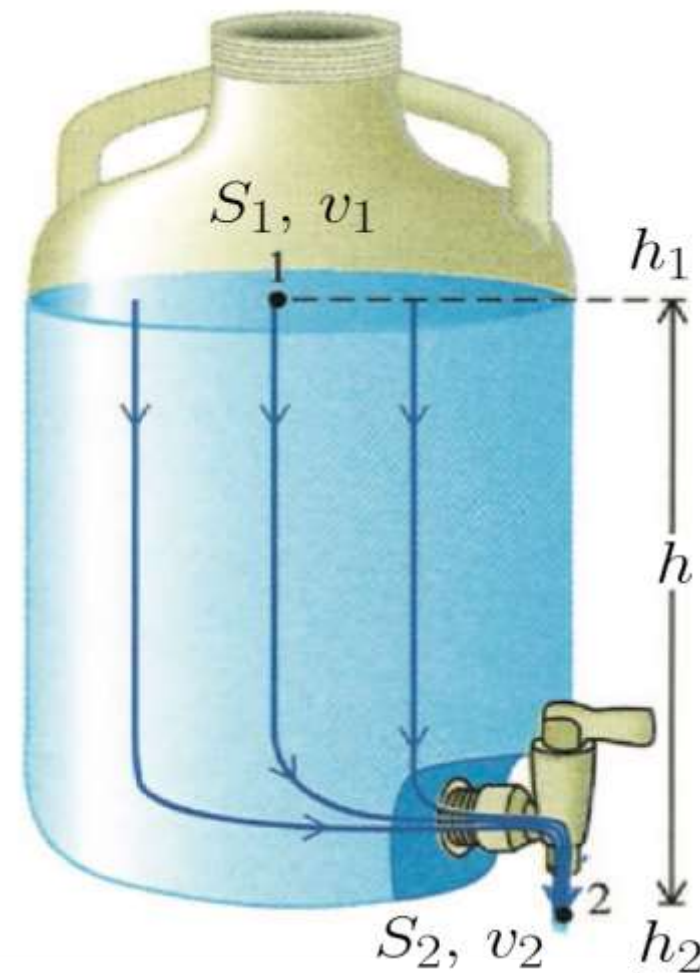
$$p_1 = p_2 = p_0 = \text{ASKO} \Rightarrow \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

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

▪ Vì vậy phương trình trở thành

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

- Như vậy, tốc độ dòng chất lỏng chảy ra khỏi lỗ thủng của một bình chứa ở độ cao h chính bằng tốc độ của một vật rơi tự do từ cùng độ cao xuống mặt đất



- ❖ **Bài tập 2:** Trong một giây người ta rót được 0,2 lít nước vào bình. Hỏi ở đáy bình phải có một lỗ có diện tích bằng bao nhiêu để mức nước trong bình không đổi và có độ cao bằng 1 mét (kể từ lỗ thủng)?

4. Động học chất lưu

❖ **Bài tập 4:** Giả sử tốc độ của dòng không khí chảy phía dưới cánh máy bay là 100 m/s , hỏi tốc độ dòng không khí phía trên cánh máy bay phải bằng bao nhiêu để tạo ra một sự chênh lệch áp suất 1000 Pa ? Lấy khối lượng riêng của không khí bằng 1.293 kg/m^3 .

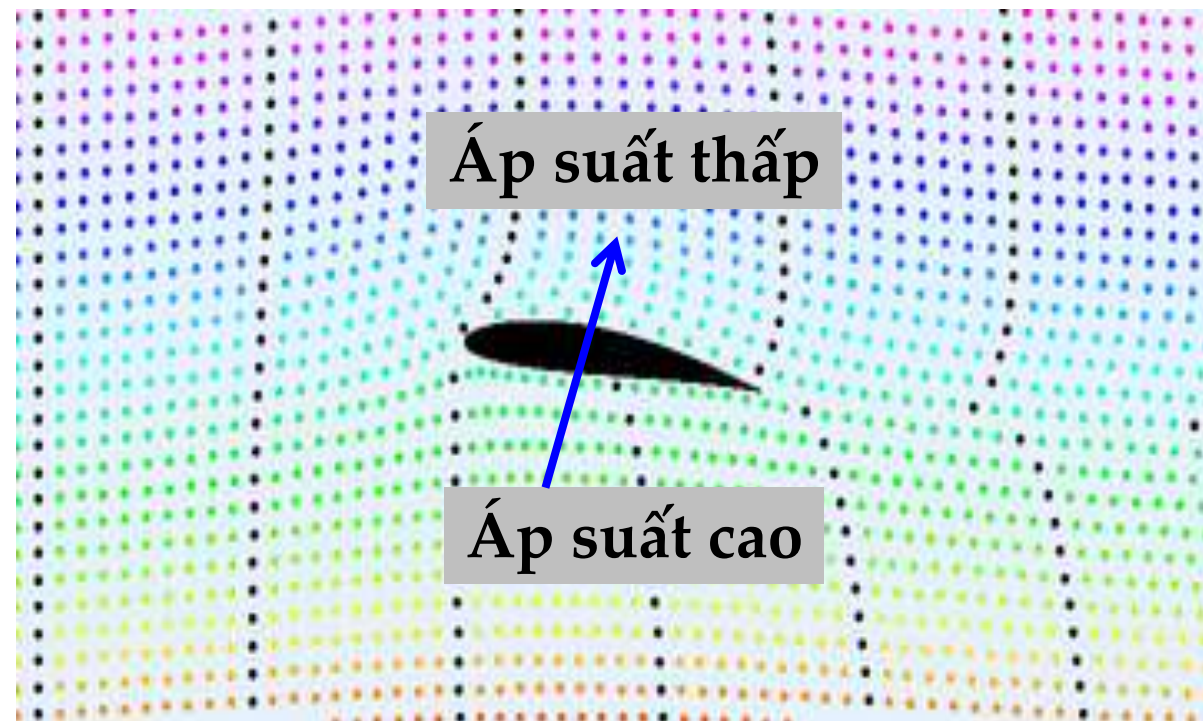
❖ **Đáp án**

$$\rho_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = \rho_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

$$h_1 = h_2 \Rightarrow \rho_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = \rho_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\Delta p = \rho_1 - \rho_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

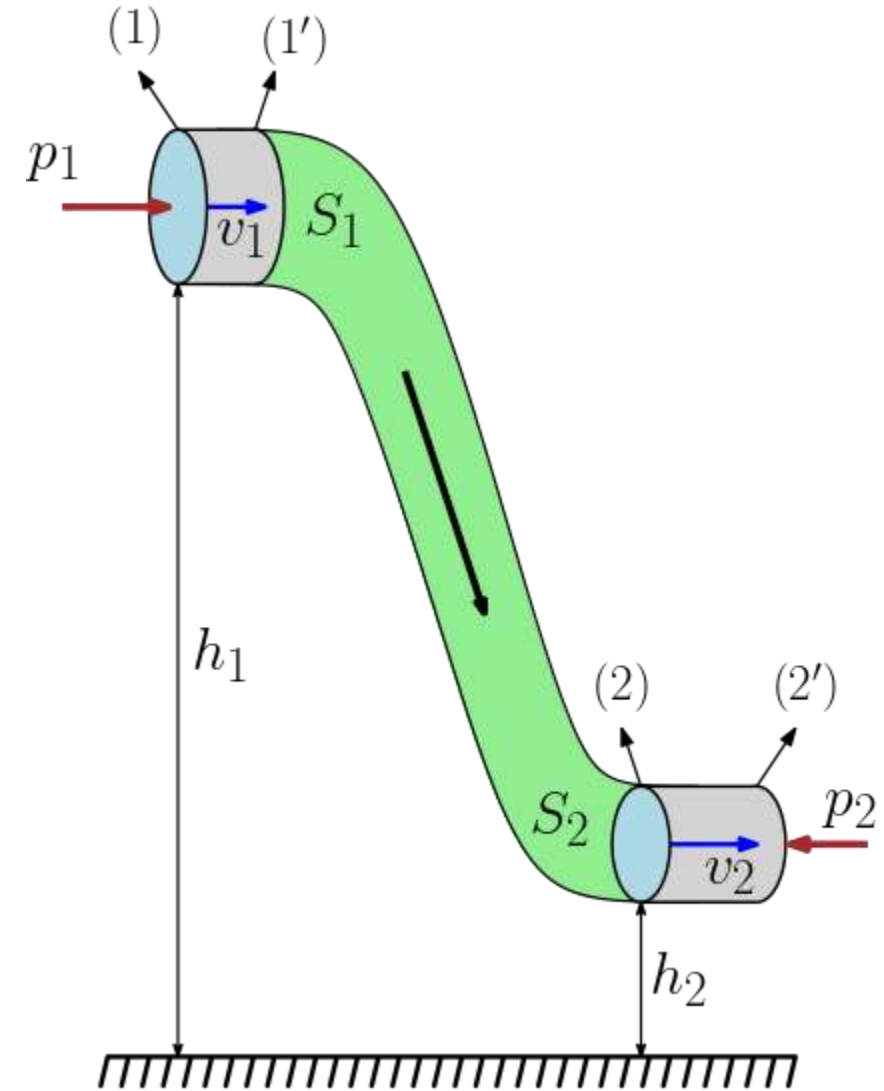
$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho} + v_1^2}$$



❖ Phương trình Bernoulli

- Xét một dòng chất lưu lý tưởng chảy ổn định trong một ống dòng.
- 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 ở hai vị trí này là v_1 và v_2 .
- 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')
- Áp dụng nguyên lý toàn công-cơ năng cho dòng chất lưu

$$dA = dW = dW_d + dW_t$$



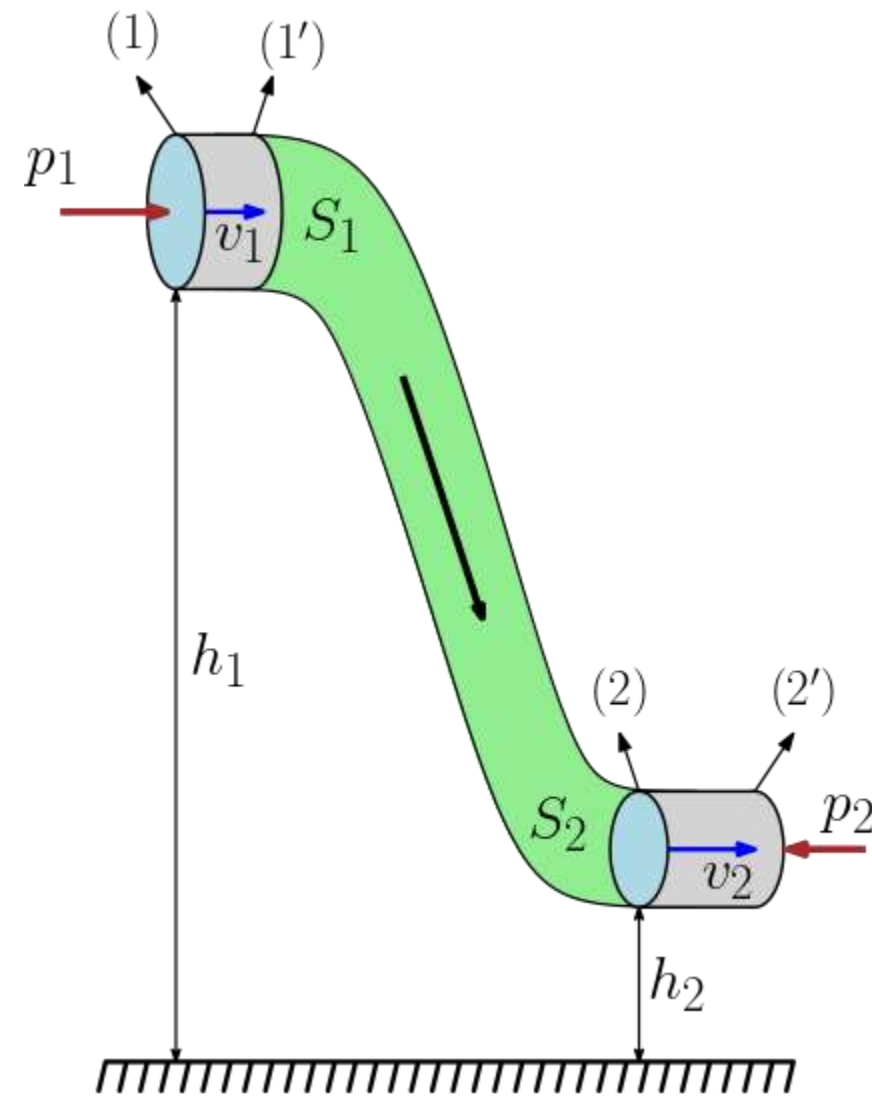
❖ Phương trình Bernoulli

- a – Công tác dụng lên dòng chất lưu

$$\begin{aligned}dA &= F_1 \overline{11'} - F_2 \overline{22'} \\ &= p_1 S_1 \overline{11'} - p_2 S_2 \overline{22'}\end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{vì } F_1 = p_1 S_1; F_2 = p_2 S_2 \\ \text{và vì } S_1 \overline{11'} = S_2 \overline{22'} = dV \end{array} \right\} \text{ nên } dA = (p_1 - p_2) dV$$

(Công do lực F_2 gây ra là công cản)



❖ Phương trình Bernoulli

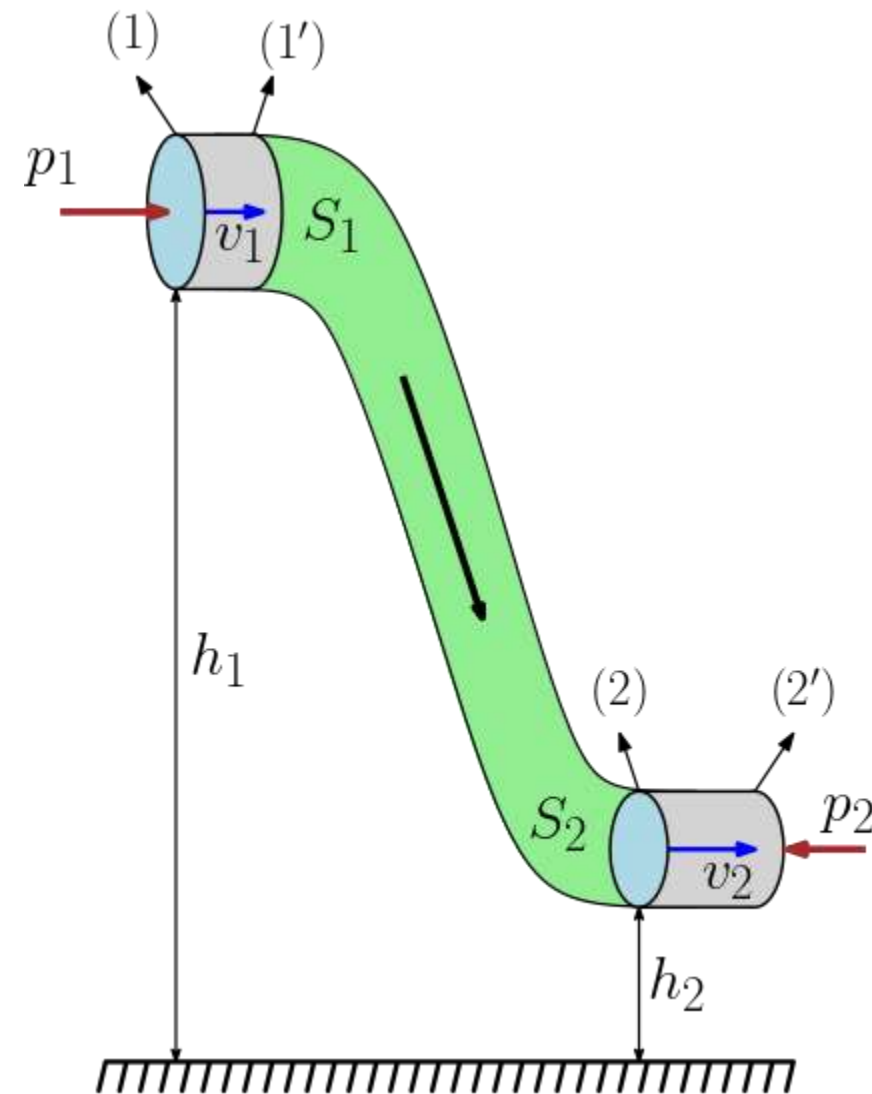
- Vì khối chất lưu nằm giữa hai vị trí (1') – (2) là đứng yên, nên ta có thể coi chuyển động của khối chất lưu thực chất là từ vị trí (11') “nhảy” sang (22').

- b – Sự thay đổi động năng

$$\begin{aligned}dW_d &= W_{d,2} - W_{d,1} \\ &= \frac{1}{2} dm \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} dm \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \rho dV (v_2^2 - v_1^2)\end{aligned}$$

- c – Sự thay đổi thế năng

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



❖ Phương trình Bernoulli

- Nguyên lý bảo toàn công-cơ năng

$$dA = dW_d + dW_t$$

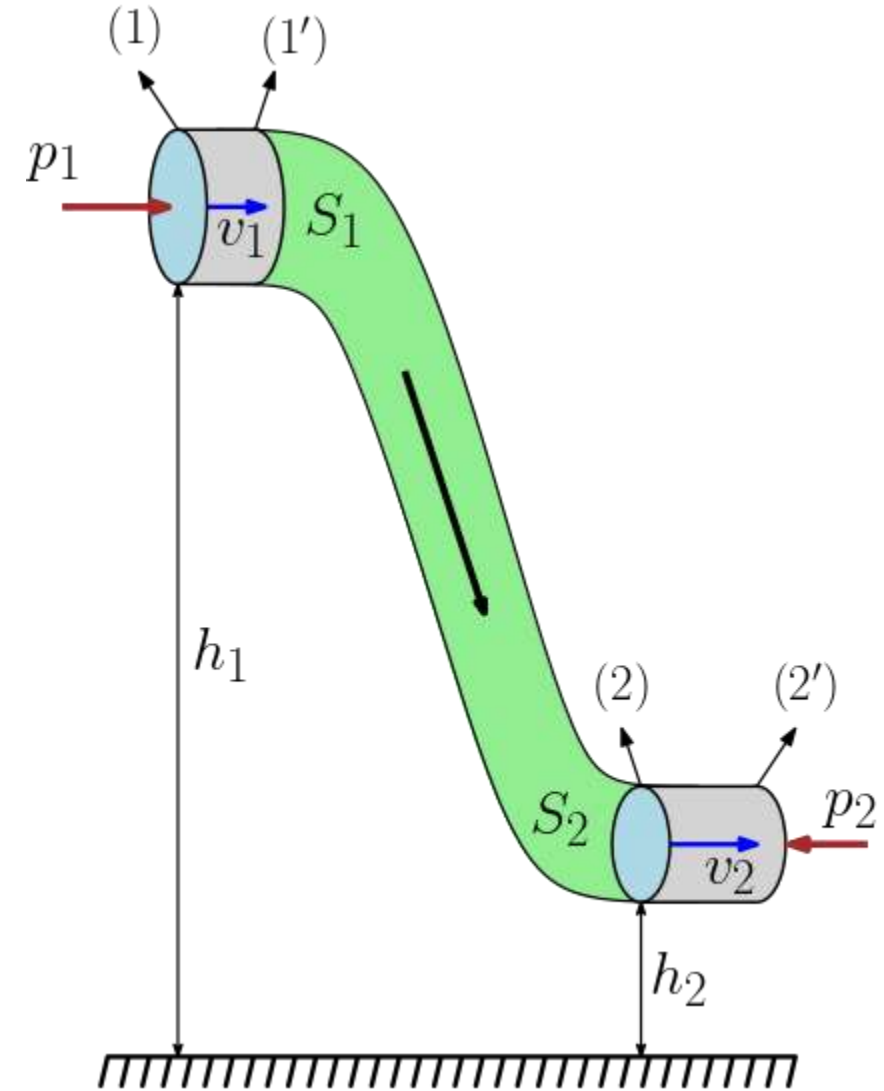
- Trong đó

$$\begin{cases} dA = (p_1 - p_2)dV \\ dW_d = \frac{1}{2} \rho dV (v_2^2 - v_1^2) \\ dW_t = \rho dV g (h_2 - h_1) \end{cases}$$

- Vậy

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

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



❖ Phương trình Bernoulli

- Chuyển các số hạng có chỉ số 1 sang một bên và 2 sang một bên

$$\rho_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = \rho_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

- Vì vị trí (1) và (2) là bất kỳ nên tổng quát ta có thể viết

$$\rho + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

- Đây là phương trình Bernoulli viết cho một khối chất lưu lý tưởng chảy dừng trong một ống dòng



HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM
VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY OF AGRICULTURE

Hết chương 5

Nguyễn Tiến Hiến - Bộ môn Vật lý

Email: nguyentienhien@vnua.edu.vn

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