



## **CHƯƠNG 5: CƠ HỌC CHẤT LỎU**

**§1. Áp suất chất lỏng**

**§2. Sự chảy dừng. Phương trình liên tục**

**§3. Phương trình Bernoulli**

**§4. Chuyển động trong chất lỏng thực.  
Tính nhớt của chất lỏng.**



# Mở đầu

## 1. Khái niệm chất lưu

- Khái niệm: “Chất lưu là chất có thể chảy”.
- Chất lưu bao gồm cả chất lỏng và chất khí. Ta phân biệt chất khí và chất lỏng 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.



# Mở đầu

- Giữa các lớp chất lưu tồn tại một lực tương tác khi chuyển động gọi là lực nội ma sát hay tính nhớt của chất lưu. Tính nhớt của chất lưu chỉ xuất hiện khi chất lưu chuyển động. Trong chất lưu tĩnh không có độ nhớt.
- “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. Trong thực tế chỉ có chất lưu thực không có chất lưu lý tưởng.

## 2. Các đại lượng đặc trưng

- **Khối lượng riêng**  $\rho = \frac{m}{V} \quad (5.1)$

- **Áp suất**  $p = \frac{F_{\perp}}{S} \quad (5.2)$

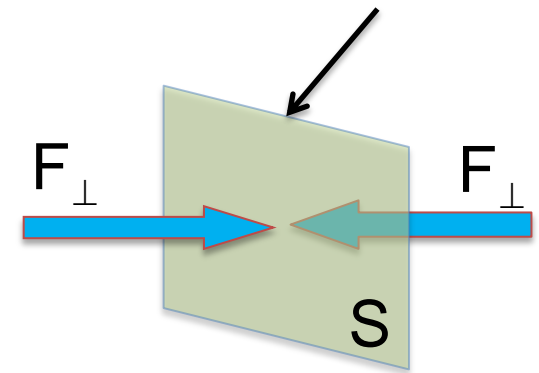
- Đơn vị: Pascal ( $Pa$ );  $1Pa = 1N/m^2$

- $1 \text{ bar} = 10^5 Pa$ ; và do đó  $1 \text{ mbar} = 100 Pa$

- $1 \text{ atm} = 1.013.10^5 Pa = 1.013 \text{ bar}$

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 riêng và áp suất là một đại lượng vô hướng chứ không phải một véctơ.

Bề mặt có diện tích  $S$  nhúng chìm trong chất lỏng ở trạng thái tĩnh



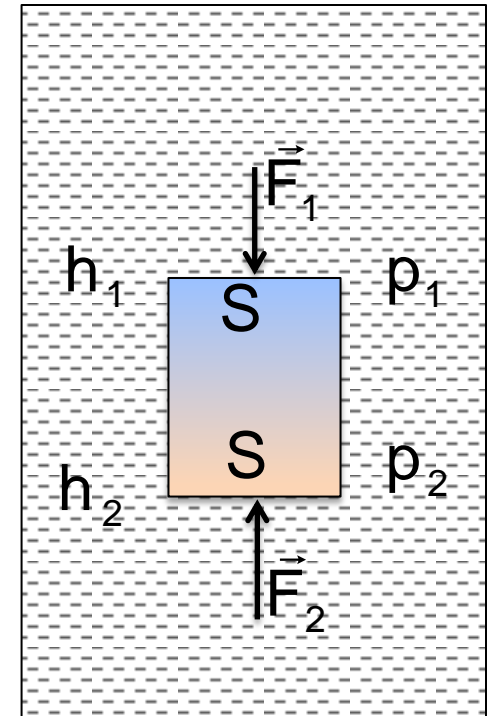


# Tĩnh học chất lưu

## 1. Công thức cơ bản của tĩnh học chất lưu

- Xét một khối chất lưu trong hình trụ thẳng đứng nằm yên bên trong chất lưu.
- Khối chất lưu này ở trạng thái cân bằng nên tổng hợp lực tác dụng vào nó bằng không.

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (5.3)$$



- Các lực tác dụng vào khối chất lưu bao gồm: trọng lượng của chất lưu  $p = mg$  và 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.



# Tĩnh học chất lưu

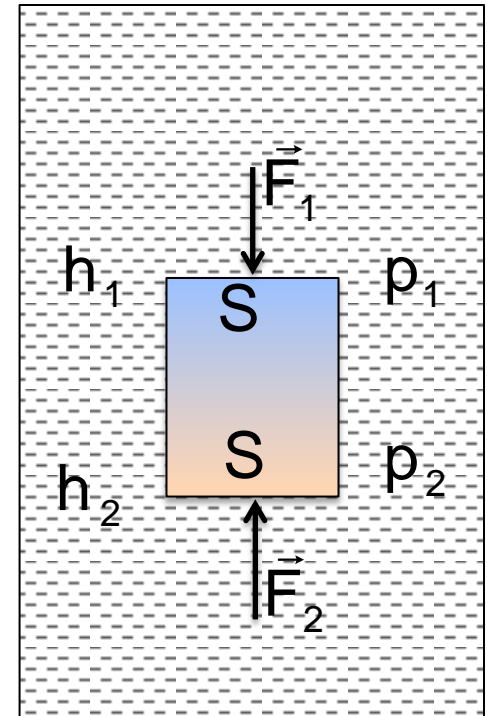
Vậy:

$$\vec{F}_1 - \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0$$
$$p_1 S_1 - p_2 S_2 + mg = 0$$
$$m = \rho V = \rho S(h_2 - h_1)$$
$$p_2 = p_1 + \rho g(h_2 - h_1)$$

- Nếu vị trí (1) nằm ở mặt thoáng còn vị trí (2) ở độ sâu  $h$ , khi đó

$$p_1 = p_0 \quad : \text{Áp suất khí quyển}$$

$$h_1 = 0; h_2 = h \rightarrow p = p_0 + \rho gh$$



Như vậy: Nếu độ sâu tăng thì áp suất cũng tăng và ở cùng độ sâu thì áp suất là như nhau.

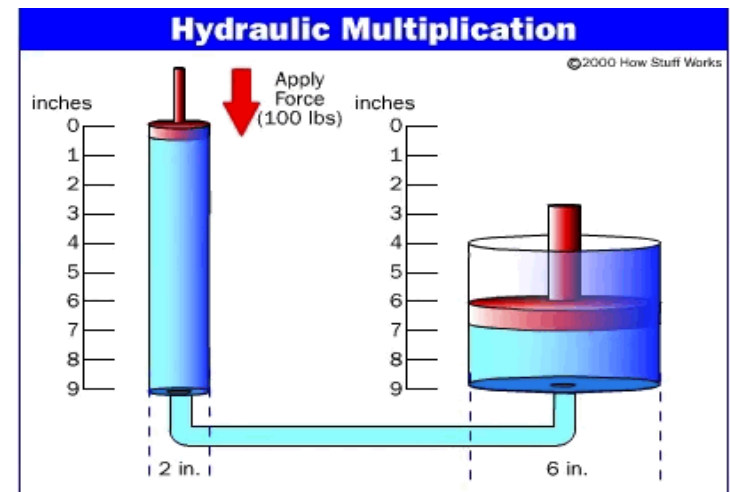
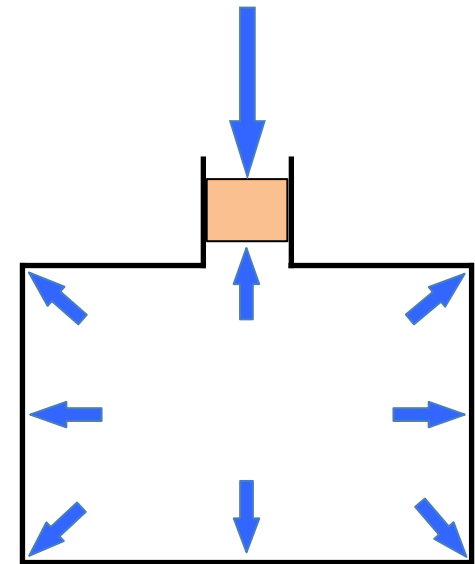


# Tĩnh học chất lưu

## 2. Định luật 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”.
- Kích thủy lực

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

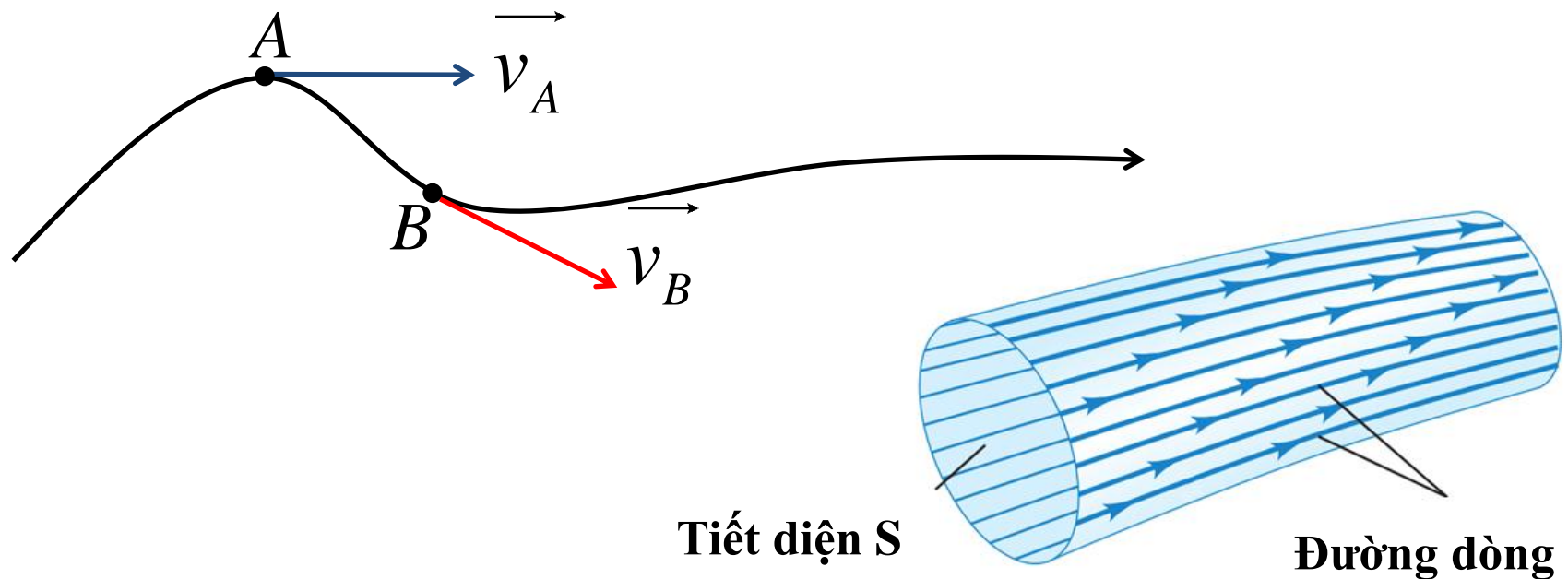




# Động học chất lưu

## 1. Một số khái niệm

**Đường dòng:** Là những đường mà tiếp tuyến ở mỗi điểm của nó trùng với phương của vectơ vận tốc chất lưu, chiều là chiều chuyển động của chất lưu.

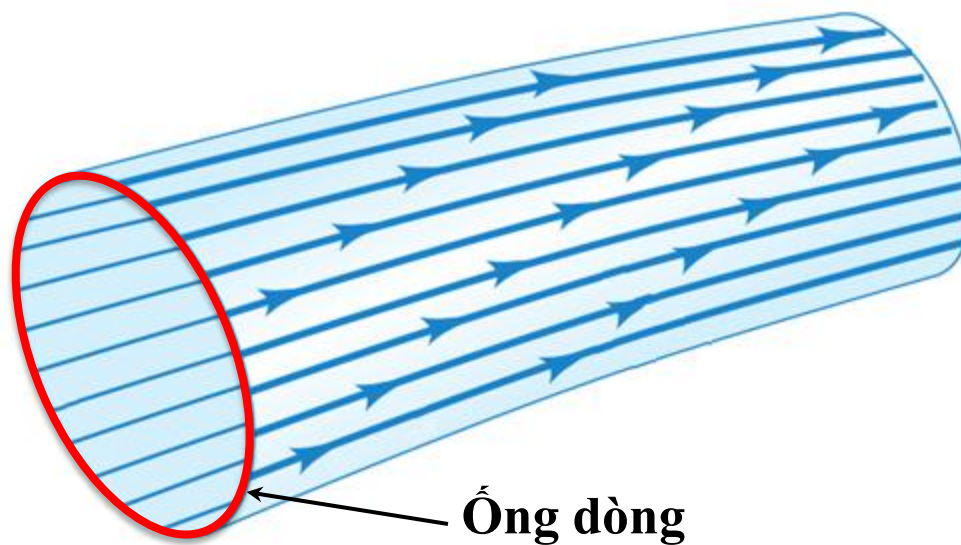






# Động học chất lưu

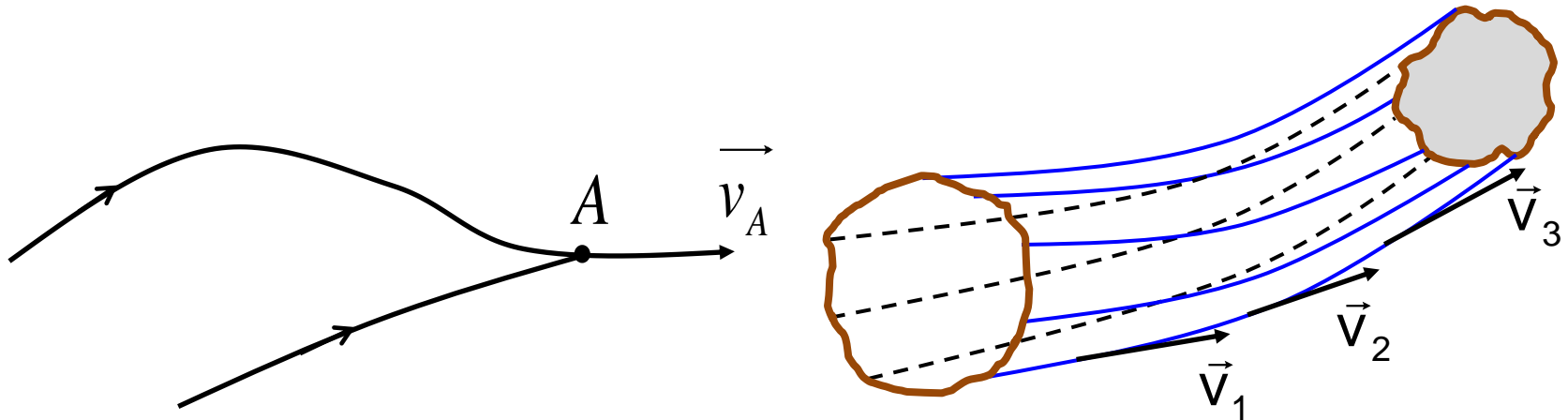
**Ống dòng:** Tập hợp các đường dòng tựa trên một chu vi tưởng tượng trong chất lưu tạo thành một ống dòng.





# Động học chất lưu

**Trạng thái chảy dừng:** *Trạng thái chuyển động mà tại mỗi vị trí nhất định vận tốc của chất lưu không thay đổi theo thời gian*





# Động học chất lưu

## Đặc điểm trạng thái chảy dừng

- Hình dạng của đường dòng và ống dòng không thay đổi theo thời gian
- Các đường dòng không cắt nhau
- Mỗi đường dòng chính là quỹ đạo của một phần tử chất lỏng
- Chất lưu trong mỗi ống dòng không chảy qua thành ống dòng đó.



# Động học chất lưu

## 2. Phương trình liên tục

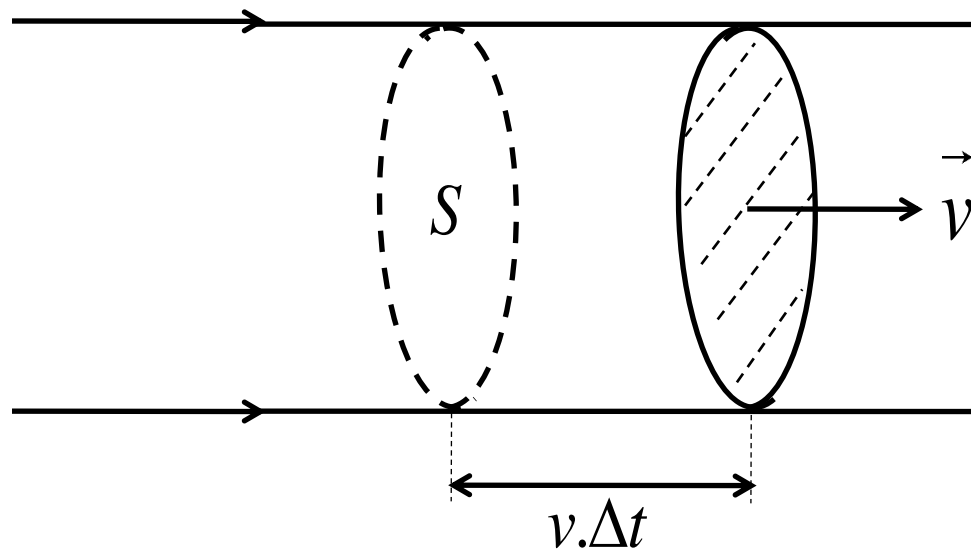
### Lưu lượng chất lưu (Q)

Lưu lượng chất lưu qua tiết diện bất kỳ là phần thể tích chất lưu chảy qua tiết diện đó trong một đơn vị thời gian.

### Biểu thức

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = S \cdot v \quad (5.5)$$

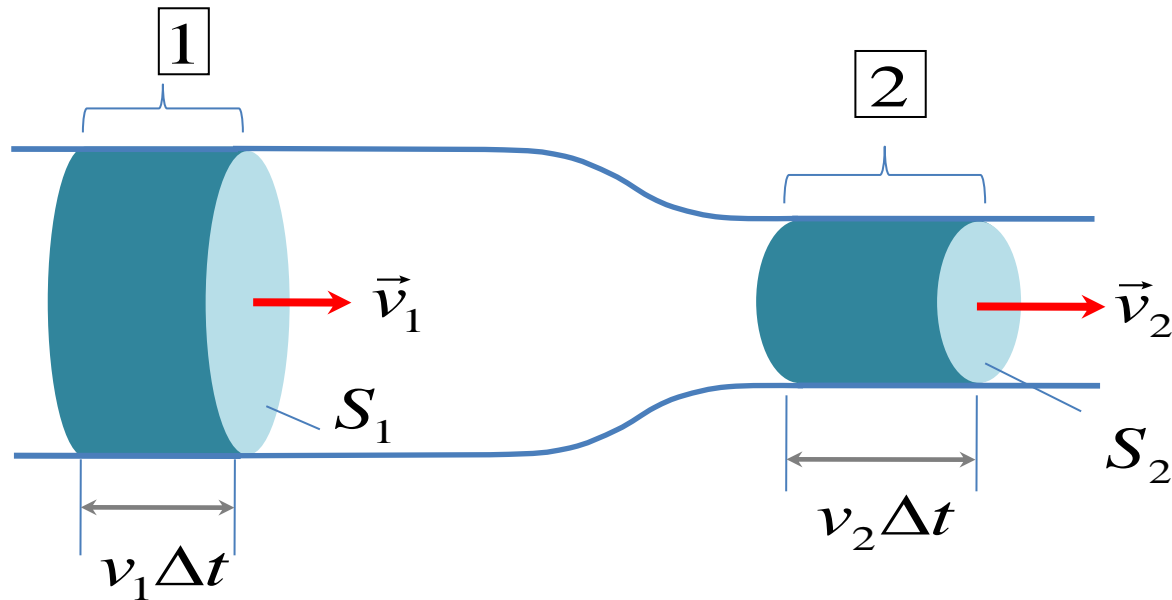
Đơn vị:  $\text{m}^3/\text{s}$





# Động học chất lưu

## Phương trình liên tục



Xét lưu lượng chất lưu chảy qua các tiết diện  $S_1, S_2$  khác nhau của cùng một ống dòng.

- + Tại vị trí 1 : Chất lưu có vận tốc  $\vec{v}_1, S_1$
- + Tại vị trí 2 : Chất lưu có vận tốc  $\vec{v}_2, S_2$



# Động học chất lưu

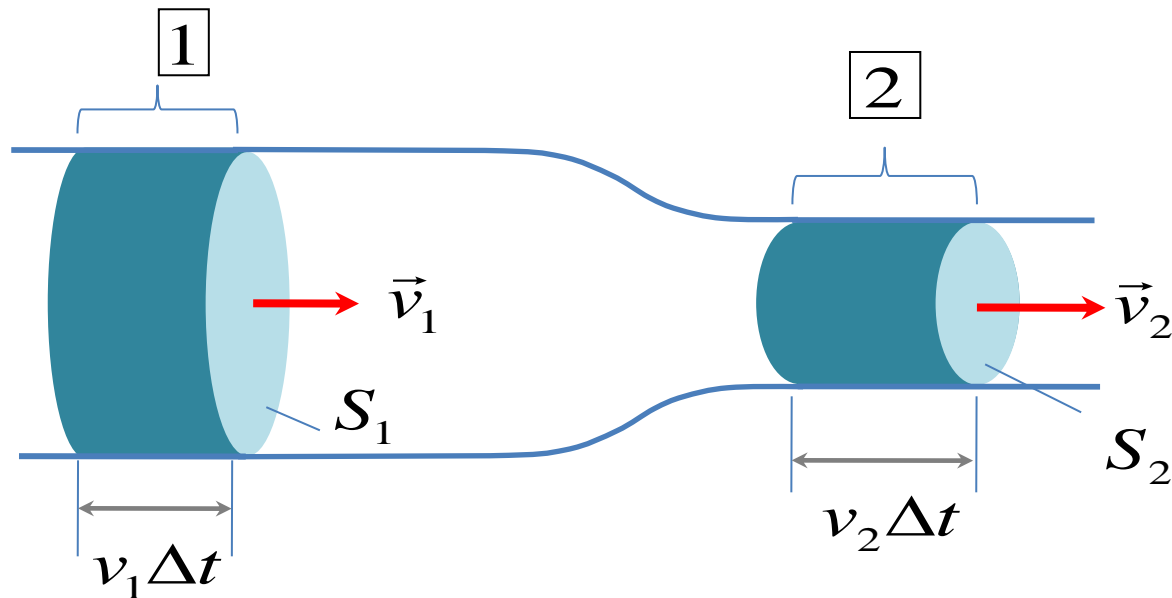
- + **Khối chất lưu chảy ở trạng thái dừng**
- + **Khối chất lưu không chịu nén** (thể tích không đổi),
- + **Ống dòng liên tục** (không có chỗ rộng hoặc tích tụ chất lưu).

Với giả sử trên  $\rightarrow$  lưu lượng chất lưu chảy qua tiết diện  $S_1$  và  $S_2$  là như nhau:

$$Q_1 = Q_2$$



# Động học chất lưu



Hay:  $S_1 v_1 = S_2 v_2$

Vì  $S_1, S_2$  chọn bất kỳ nên tổng quát:  $S \cdot v = \text{const}$  (5.6)

**Phát biểu:** “Lưu lượng chất lưu chảy qua một tiết diện bất kỳ trong cùng một ống dòng là đại lượng không đổi.”



# Động học chất lưu





## 3. Phương trình Bernoulli

### Chất lưu lý tưởng

Khối chất lưu có thể tích không đổi và có thể chảy mà không chịu lực cản nào.

*(Không chịu nén và không có ma sát nội).*



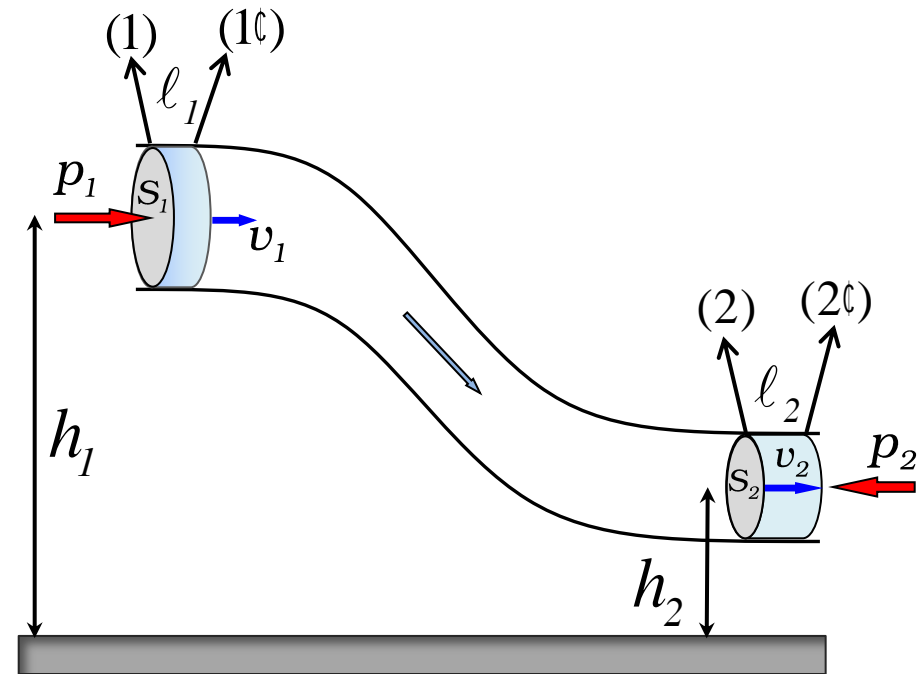
**Daniel Bernoulli**  
(1700 – 1782)



# Động học chất lưu

Xét dòng chất lưu lý tưởng chảy trong 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  $v_2$



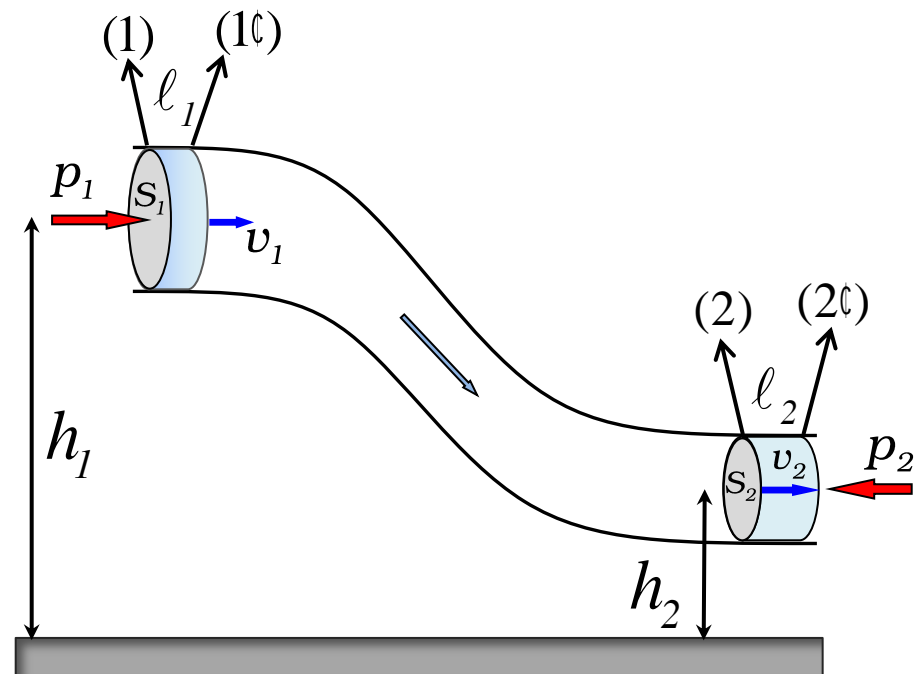
Sau một khoảng thời gian  $dt$ , khối chất lưu chuyển động tới vị trí mới nằm trong khoảng không gian được giới hạn bởi vị trí (1') và (2')



# Động học chất lưu

Áp dụng định luật bảo toàn công - cơ năng cho khối chất lưu:

$$dA = dW = dW_d + dW_t \quad (5.7)$$



## a. Tính công ngoại lực tác dụng lên dòng chất lưu

Áp suất  $P_1$  và  $P_2$  gây ra trên  $S_1$  và  $S_2$  những áp lực là  $F_1$  và  $F_2$  làm cho chất lưu chuyển động.



# Động học chất lưu

Công thức liên hệ giữa áp suất và áp lực:

$$p = \frac{F}{S}$$

+Áp lực  $F_1 = P_1 S_1$  đẩy khối chất lưu  $dV$  chảy vào  $S_1$

+Áp lực  $F_2 = P_2 S_2$  ngăn khối chất lưu  $dV$  chảy ra  $S_2 \rightarrow$   
Công áp lực là công cản.

$$\rightarrow dA = F_1 \ell_1 - F_2 \ell_2 = p_1 S_1 \ell_1 - p_2 S_2 \ell_2 = (p_1 - p_2) dV \quad (5.8)$$

$$\text{Do: } S_1 \ell_1 = S_2 \ell_2 = dV$$



# Động học chất lưu

**Nhận xét:** Vì khối chất lưu nằm giữa hai vị trí (1') – (2) là đứng yên, chuyển động của khối chất lưu thực chất là từ vị trí (11') sang (22').

## b. Tính độ biến thiên cơ năng

Sự thay đổi động năng

$$dW_d = dW_{d2} - dW_{d1} = \frac{1}{2} dm v_2^2 - \frac{1}{2} dm v_1^2$$

$$\rightarrow dW_d = \frac{1}{2} \rho dV (v_2^2 - v_1^2) \quad (5.9)$$

Sự thay đổi thế năng:  $dW_t = dm g h_2 - dm g h_1$

$$\rightarrow dW_t = \rho dV g (h_2 - h_1) \quad (5.10)$$



# Động học chất lưu

Thay (5.8), (5.9) và (5.10) vào (5.7) ta được:

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

$$\rightarrow p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (5.11)$$

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

$$\rightarrow p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const} \quad (5.12)$$

(5.11) và (5.12) là **phương trình Bernoulli** viết cho khối chất lưu lý tưởng chảy dừng trong ống dòng.



# Động học chất lưu

## Phát biểu định luật Bernoulli

$$\rightarrow p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = const \quad (5.12)$$

- Theo quan điểm áp suất

$\rho \frac{v^2}{2}$  : Áp suất động của khối chất lưu

$p$  : Áp suất tĩnh của khối chất lưu

$\rho gh$  : Áp suất thủy lực của khối chất lưu

*“Với một dòng chất lưu lý tưởng chảy dừng trong ống dòng, tổng áp suất động, áp suất tĩnh và áp suất thủy lực là không đổi”.*



# Động học chất lưu

## Phát biểu định luật Bernoulli

$$\rightarrow p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = const \quad (5.12)$$

- Theo quan điểm năng lượng

$\rho \frac{v^2}{2}$  : Động năng riêng của khối chất lưu

$\rho gh$  : Thế năng riêng của khối chất lưu

$p$  : Năng lượng riêng của khối chất lưu

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





# Động học chất lưu

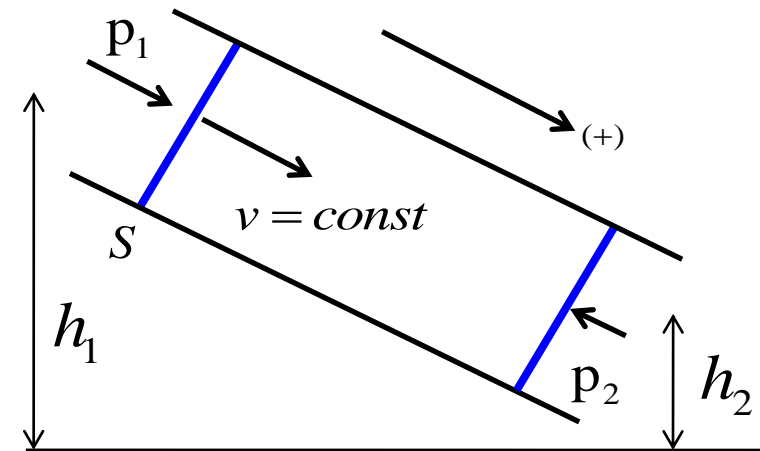
## Hệ quả của phương trình Bernoulli

### Hệ quả 1

Xét một ống dòng có tiết diện không đổi, nằm nghiêng.  
Khi đó:  $v = \text{const}$

Từ Định luật Bernoulli ta có:

$$\rightarrow p_2 - p_1 = \rho g (h_1 - h_2) \quad (5.13)$$



*Sự chênh lệch áp suất tĩnh được gây ra từ sự chênh lệch độ cao của cột chất lỏng.*



# Động học chất lưu

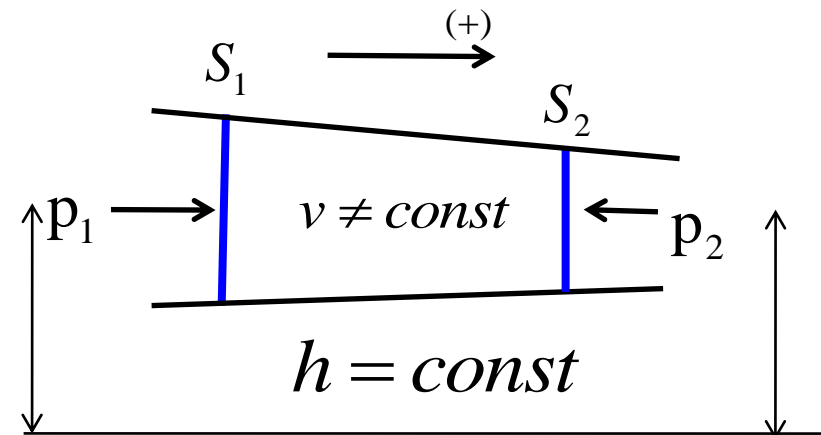
## Hệ quả 2

Xét một ống dòng nằm ngang có tiết diện thay đổi. Khi đó:  
 $h = \text{const}$

Từ Định luật Bernoulli ta có:

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

$$\rightarrow p + \rho \frac{v^2}{2} = \text{const} \quad (5.14)$$

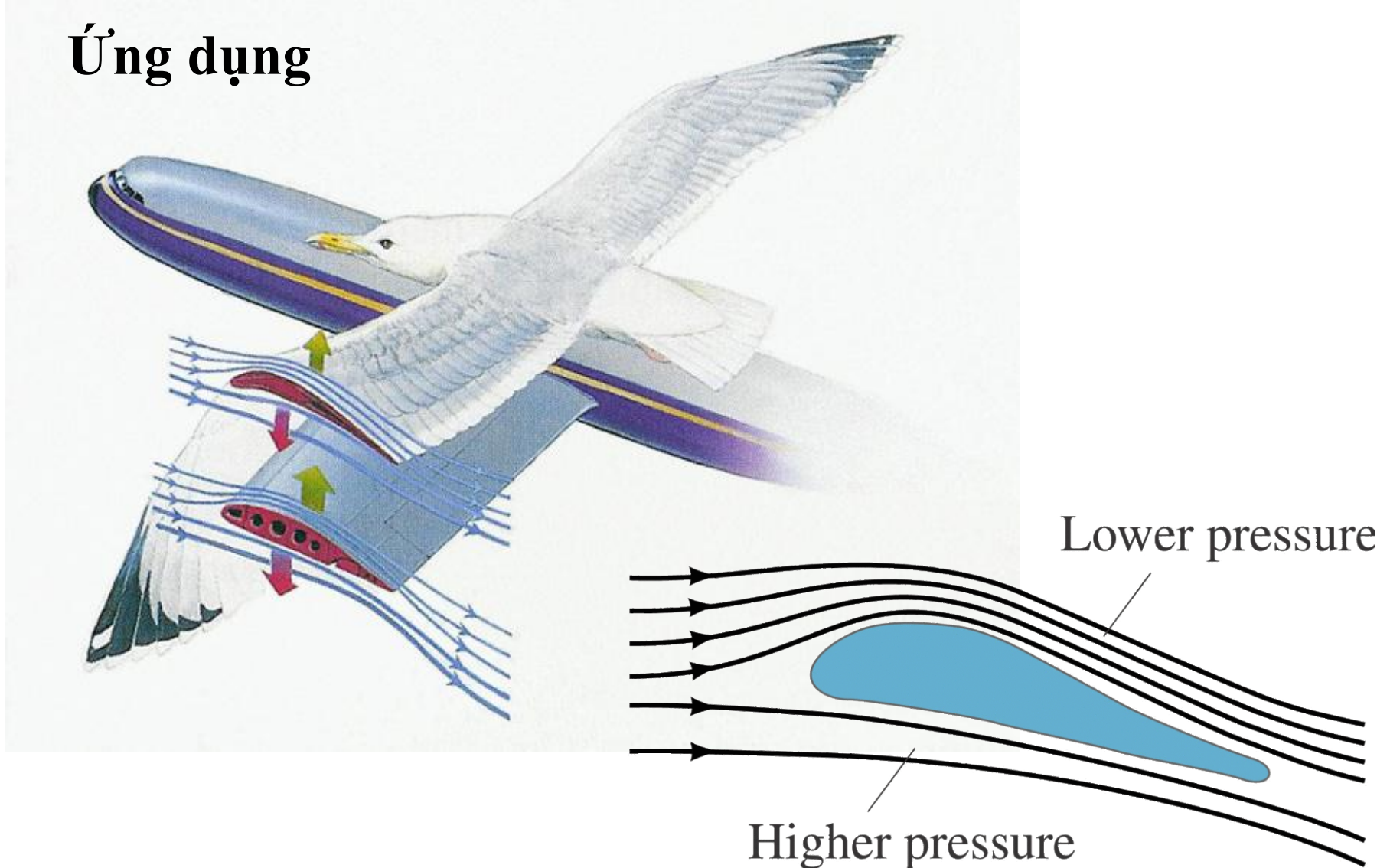


*Nơi mà ống dòng hẹp thì vận tốc dòng chảy lớn  $\rightarrow$  áp suất tĩnh nhỏ và ngược lại.*



# Động học chất lưu

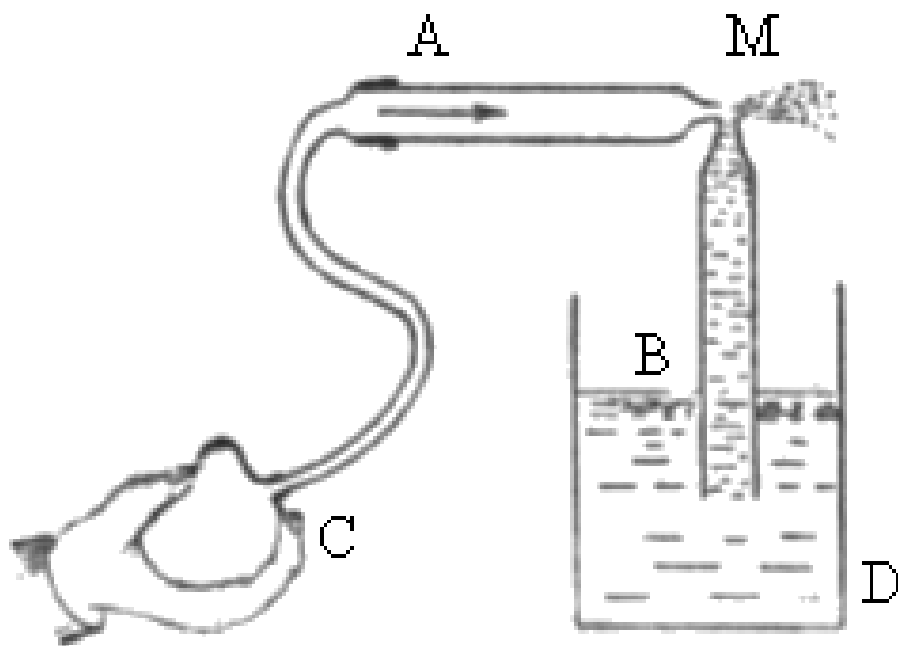
## Ứng dụng





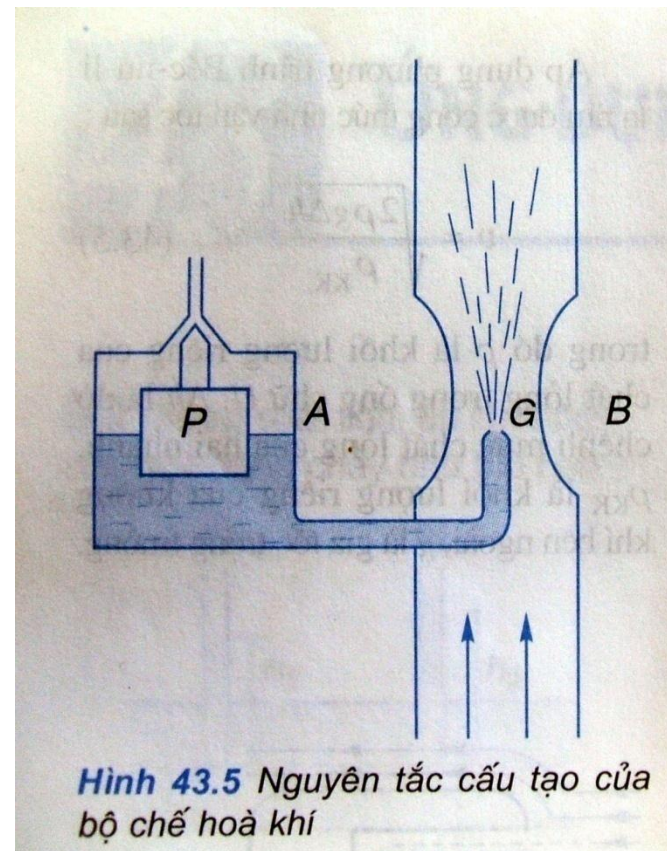
# Động học chất lưu

## Hiện tượng Venturi



## Bộ chế hòa khí

Khi không khí hút vào đến B thì vận tốc tăng  $\rightarrow$  áp suất tĩnh tại B giảm xuống nên xăng bị hút lên và phân tán thành những hạt nhỏ trộn lẫn với không khí tạo thành hỗn hợp đi vào xilanh





# Động học chất lưu

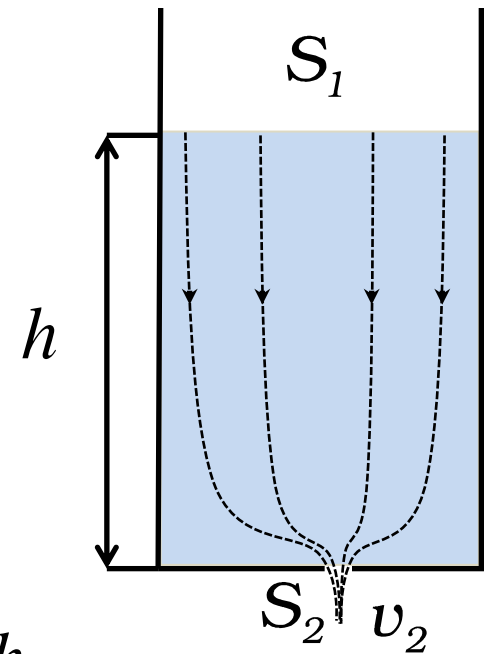
## Công thức Toricelli

$$p_1 = p_2 = p_0$$

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

$$\left. \begin{array}{l} v_1 S_1 = v_2 S_2 \\ S_1 \gg S_2 \end{array} \right\} \rightarrow v_1 \approx 0 \rightarrow \rho g h_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

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



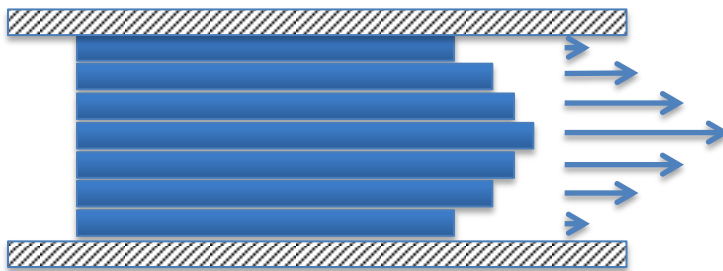
Như vậy: Tốc độ dòng chảy của khối chất lưu chính bằng tốc độ của một vật rơi tự do từ cùng độ cao



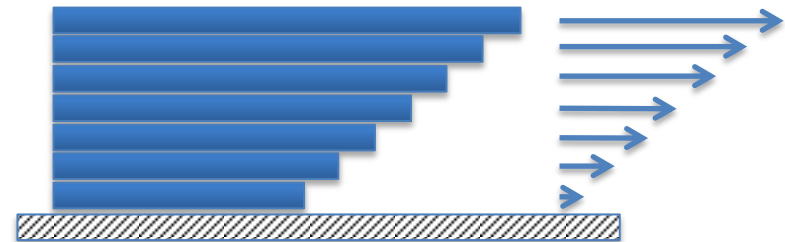
# Tính nhớt của chất lưu

1. Nếu chất lưu chảy trong một môi trường có chướng ngại vật, tốc độ của khối chất lưu thay đổi theo khoảng cách từ chướng ngại vật.

2. Sự chảy tầng (chảy lớp): Sự chuyển động của khối chất lưu theo từng lớp khác nhau, mỗi lớp có một tốc độ chảy khác nhau. Hiện tượng chảy tầng là do có lực nội ma sát giữa các lớp chất lưu với nhau.



Chảy tầng trong ống



Chảy tầng trên mặt phẳng



# Tính nhớt của chất lưu

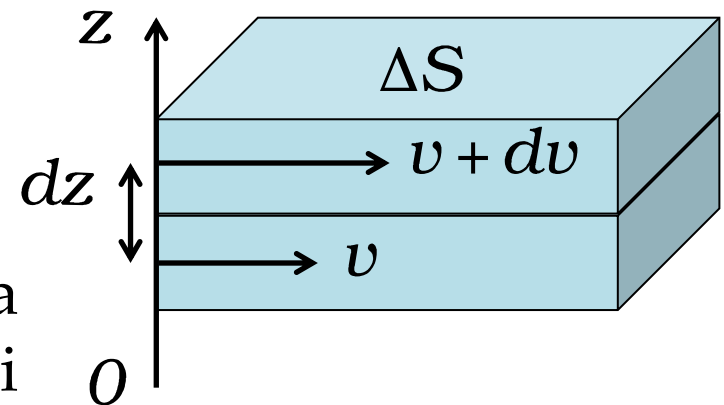
## 3. Lực nội ma sát

- Trên thực tế, trong mọi chất lưu luôn tồn tại một lực nội ma sát giữa hai lớp chất lưu bất kỳ. Lực này tỉ lệ với độ thay đổi tốc độ dòng chảy theo hướng vuông góc với dòng chảy và tỉ lệ với diện tích tiếp xúc giữa hai lớp dòng chảy.

### Biểu thức lực nội ma sát

$$\Delta F = \eta \frac{dv}{dz} \Delta S$$

$\eta$  được gọi là hệ số nội ma sát của chất lưu. Hệ số nội ma sát có đơn vị là (Ns/m<sup>2</sup>) hoặc (kg/m.s)







**HỌC VIỆN NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM**  
**VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY OF AGRICULTURE**

**Hết chương 5**