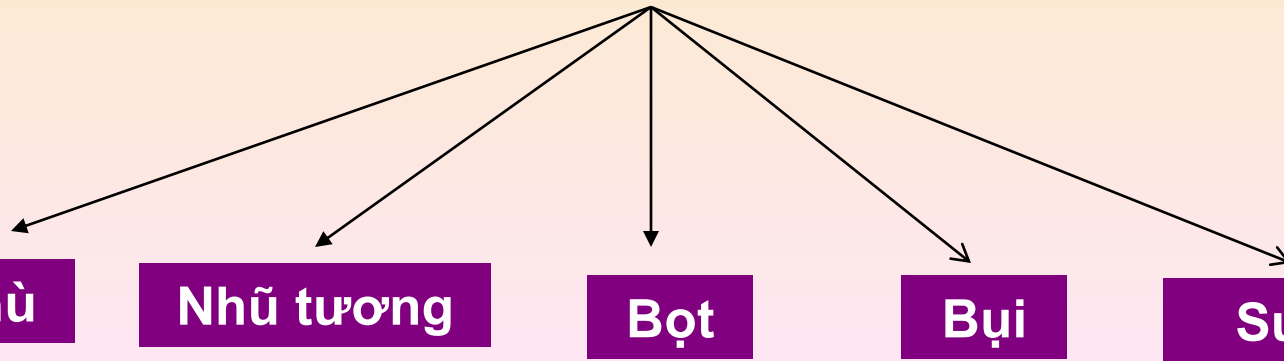


# CHƯƠNG 5: QUÁ TRÌNH LẮNG

# 1. HỆ KHÔNG ĐỒNG NHẤT

- **Hệ không đồng nhất (hệ dị thể):** hỗn hợp khí hay lỏng có lẫn các hạt rắn, giọt lỏng hay khí khác.
- **Đặc trưng của hệ không đồng nhất:**
  - + *Số pha  $\geq 2$*
  - + ***Pha phân tán*** (pha trong): gồm các hạt rắn, giọt lỏng hay khí phân tán trong môi trường khí hay lỏng khác
  - + ***Pha liên tục*** (pha ngoài/môi trường phân tán): bao quanh các hạt rắn, giọt lỏng hay bọt khí phân tán – là môi trường để pha kia phân tán vào.
- **Phân loại:**
  - + *Hệ khí không đồng nhất*
  - + *Hệ lỏng không đồng nhất*

# 1. HỆ KHÔNG ĐỒNG NHẤT (tt)



**Rắn + lỏng**



**Lỏng + lỏng**



**Khí + lỏng**



**Rắn + khí**



**Lỏng + khí**

*Bột mì + Nước*

*Dầu + Nước*

**Hệ lỏng không đồng nhất**

**Hệ khí không đồng nhất**

# 1.1 HỆ KHÍ KHÔNG ĐỒNG NHẤT

❖ **Hệ khí không đồng nhất:** là hệ gồm các hạt rắn hoặc lỏng nằm lơ lửng trong môi trường khí.

- **Bụi:** là hệ khí không đồng nhất, trong đó môi trường phân tán là khí, pha phân tán là các hạt rắn ( $d_{td}=5\div 50\mu m$ );

- Nếu đường kính của các hạt rắn nhỏ ( $d_{td}=0,01\div 5\mu m$ ) thì gọi là **khói**.

- **Sương (mù):** là hệ khí không đồng nhất, trong đó môi trường phân tán là khí, pha phân tán là chất lỏng ( $d_{td}=0,001\div 5\mu m$ )

## 1.2 HỆ LỎNG KHÔNG ĐỒNG NHẤT

❖ **Hệ lỏng không đồng nhất:** là hệ gồm các hạt rắn, lỏng hoặc khí nằm lơ lửng trong môi trường lỏng.

- **Huyền phù** là hệ lỏng không đồng nhất, gồm các hạt rắn phân tán trong môi trường lỏng. Theo kích thước hạt rắn trong lỏng mà huyền phù có thể được chia thành:

+ *huyền phù thô có đường kính hạt:  $d \geq 100 \mu m$*

+ *huyền phù mịn có đường kính hạt:  $d = 5 \div 100 \mu m$*

+ *huyền phù mảnh có đường kính hạt:  $d = 0,1 \div 5 \mu m$*

+ *huyền phù keo có đường kính:  $d \leq 0,1 \mu m$*

## 1.2 HỆ LỎNG KHÔNG ĐỒNG NHẤT (tt)

- **Nhũ tương** là hệ lỏng không đồng nhất, gồm hai chất lỏng trộn lẫn nhưng không tan vào nhau, rất dễ bị phân tầng dưới tác dụng của trọng lực, nó chỉ bền khi đường kính hạt rất nhỏ khoảng từ 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$ .
- **Bọt** là hệ lỏng không đồng nhất, pha phân tán là khí.

# 1. HỆ KHÔNG ĐỒNG NHẤT (tt)

❖ **Phân riêng hệ không đồng nhất:** tách các hạt rắn hay lỏng lơ lửng ra khỏi hệ:

- Tách các sản phẩm cần thiết từ một hỗn hợp được sản xuất ở công đoạn trước
- Tăng độ đậm đặc của sản phẩm, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình sản xuất tiếp theo được dễ dàng
- Tách bớt lượng ẩm không cần thiết trong sản phẩm,
- Làm sạch, tăng thêm chất lượng sản phẩm
- Thu hồi sản phẩm cần thiết
- Xử lý khí hay lỏng trước khi thải ra môi trường để tránh gây độc hại

## 2. QUÁ TRÌNH LẮNG

❖ Là phương pháp phân riêng hệ không đồng nhất dựa vào sự khác nhau về khối lượng riêng và kích thước của hai pha dưới tác dụng của các trường lực.

- Trường trọng lực
- Trường lực ly tâm
- Trường tĩnh điện

❖ Trong quá trình lắng thu được pha liên tục dưới dạng **nước trong (pha lỏng)** hoặc **khí sạch (pha khí)** và pha phân tán dưới dạng cặn lắng.



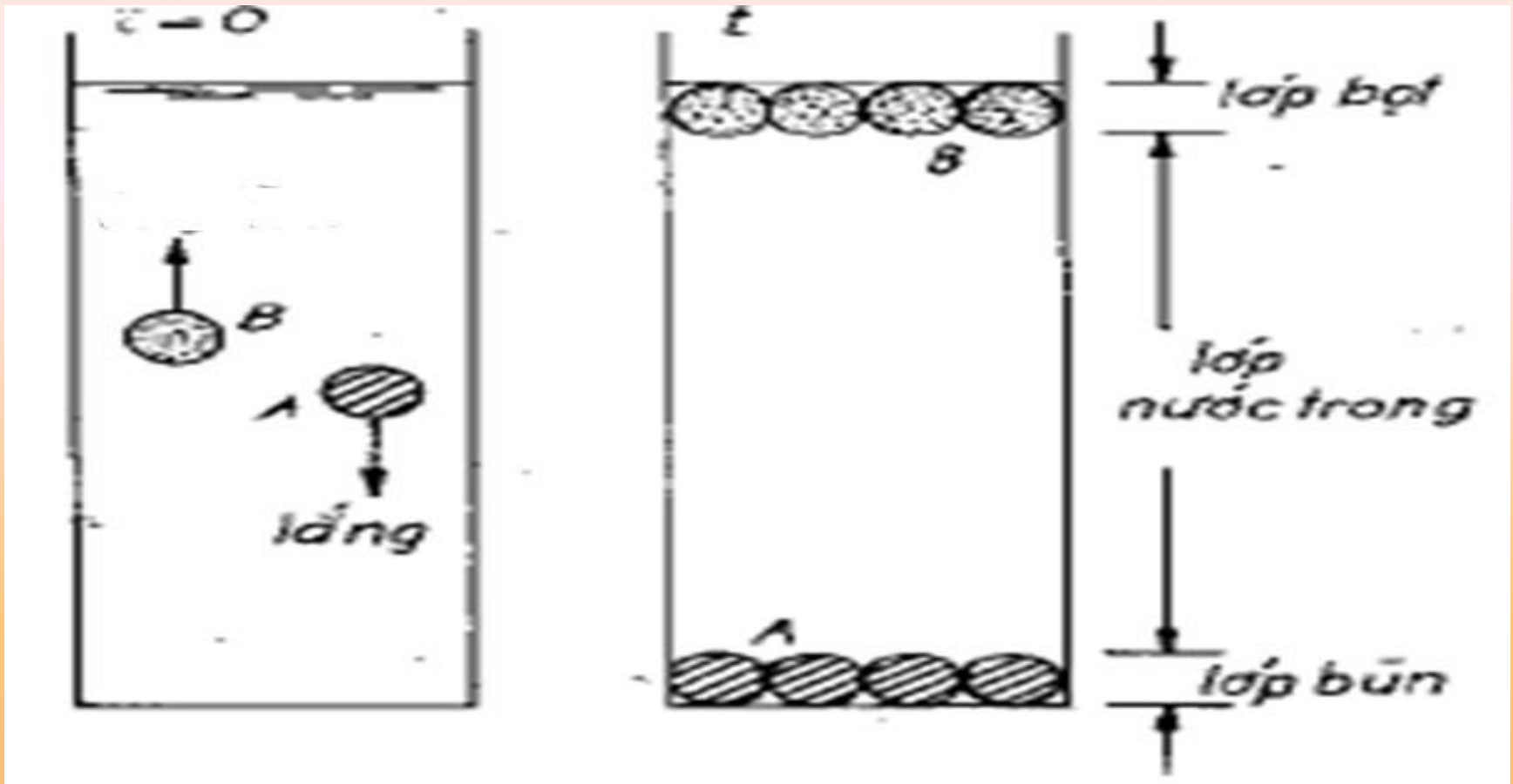
## 2. QUÁ TRÌNH LẮNG

**\* Đặc điểm chung của thiết bị lắng:**

- Giá thành thấp
- Thiết bị công cằn, chiếm nhiều diện tích
- Dùng tách sơ bộ trước khi lọc hay ly tâm

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

\* Nguyên lý của quá trình lắng: lắng hệ huyền phù

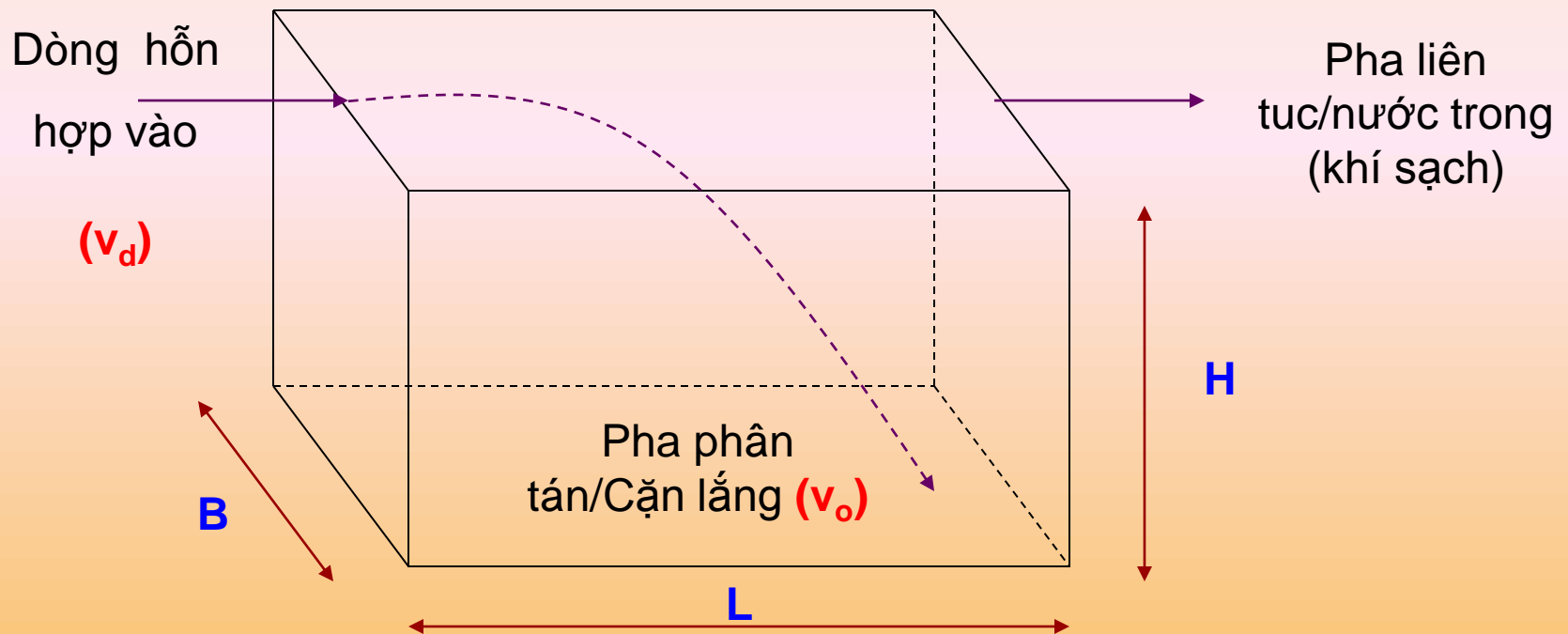


A – hạt có khối lượng riêng lớn

B – hạt có khối lượng riêng nhỏ

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## \* Cấu tạo của thiết bị lắng:



\* Diện tích bề mặt lắng:  $F_0 = B.L(m^2)$

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

\* **Thời gian lưu** – khoảng thời gian mà dòng hỗn hợp đi hết chiều dài của không gian lắng:

$$\tau_l = \frac{L}{v_d} (s)$$

\* **Thời gian lắng** – khoảng thời gian mà các hạt của pha phân tán hạt rơi hết độ cao H của không gian lắng:

$$\tau_o = \frac{H}{v_o} (s)$$

$v_o$  – vận tốc lắng của các phần tử pha phân tán (m/s);

$V_d$  – vận tốc của dòng hỗn hợp đi vào (m/s)

❖ Để thiết bị lắng thực hiện quá trình phân riêng được tốt thì điều kiện cần thiết:

$$\tau_l \geq \tau_o$$

Hay:

$$\frac{L}{v_d} \geq \frac{H}{v_o}$$

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

❖ Năng suất của thiết bị lắng  $V_s$ :

$$V_s = F_n \cdot v_d = F_0 \cdot v_o \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

Hay: 
$$V_s = B.H.v_d = B.L.v_o$$

•  $F_n$  – diện tích phần tiết diện ngang vuông góc với phương chuyển động của dòng hỗn hợp ( $\text{m}^2$ )

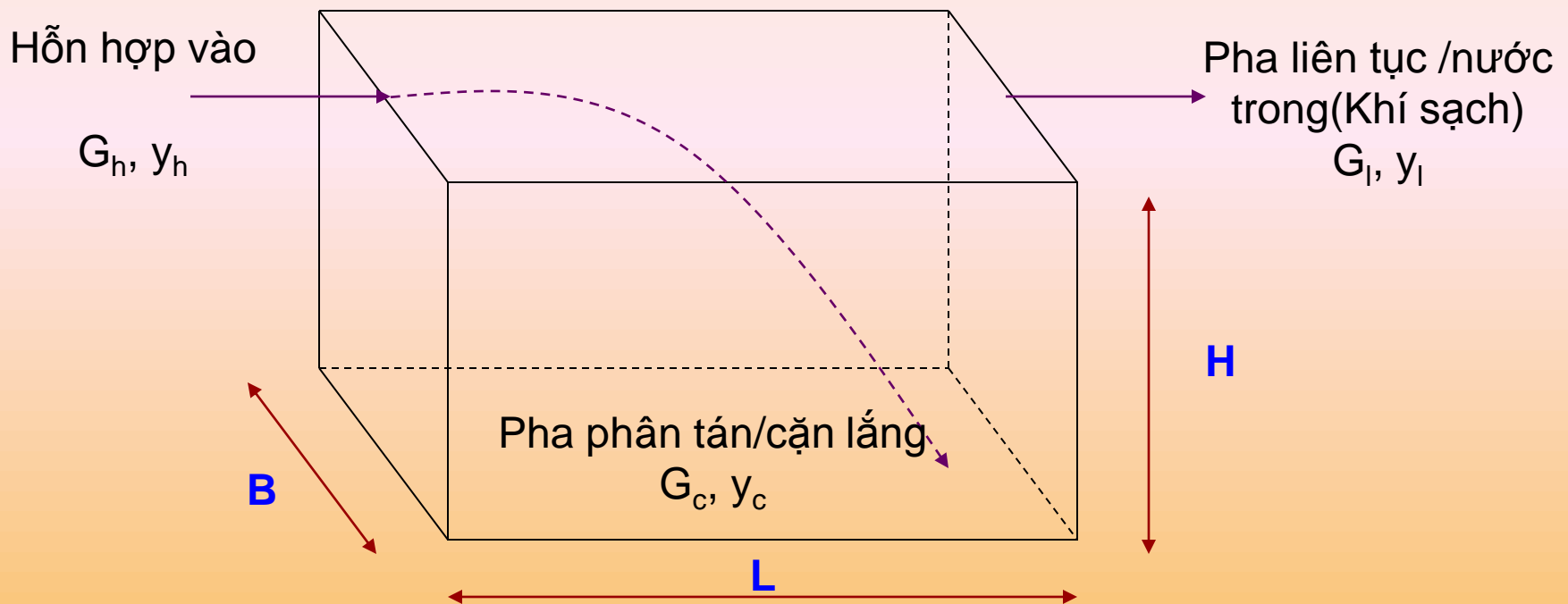
$$V_s = \frac{(273 + t_k) * V_{tc}}{3600 * 273} \text{ (m}^3 / \text{s)}$$

•  $V_{tc}$  – thể tích của khí ở điều kiện tiêu chuẩn ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

•  $t_k$  – nhiệt độ của khí ở điều kiện làm việc ( $^{\circ}\text{C}$ )

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## \* Cân bằng vật chất cho thiết bị lắng



- $G_h$  - khối lượng của hỗn hợp ban đầu (kg)
- $G_l$  - khối lượng của pha liên tục (kg)
- $G_c$  - khối lượng của pha phân tán (kg)

- $y_h, y_c, y_l$  - nồng độ hạt rắn trong hỗn hợp ban đầu, pha phân tán và pha liên tục (%)

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

\* Phương trình cân bằng vật chất cho thiết bị lắng:

$$G_h = G_c + G_l$$

$$G_h \cdot y_h = G_l \cdot y_l + G_c \cdot y_c$$

$$G_h \cdot (1 - y_h) = G_l \cdot (1 - y_l) + G_c \cdot (1 - y_c)$$

\* Hiệu suất của quá trình lắng:

$$\eta = \frac{y_h - y_l}{y_h} = 1 - \frac{y_l}{y_h}$$

\* Khối lượng riêng của huyền phù:

$$\frac{1}{\rho_{hp}} = \frac{x}{\rho_r} + \frac{1-x}{\rho_o}$$

- $\rho_r, \rho_o$  – khối lượng riêng của hạt rắn và chất lỏng trong huyền phù ( $\text{kg/m}^3$ )
- $x$  – nồng độ của hạt rắn trong huyền phù (%)

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

❖ **Xác định vận tốc lắng của hạt rắn:**

- Lắng tự do của hạt rắn hình cầu
- Lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu



## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

❖ Các chuẩn số thông dụng trong tính toán vận tốc lắng :

- Chuẩn số Reynolds:

$$Re = \frac{v_0 \cdot d_h}{\vartheta} = \frac{v_0 \cdot d_h \cdot \rho_0}{\mu}$$

- Chuẩn số Acsimet:

$$Ar = \frac{d_h^3 \cdot (\rho_r - \rho_0) \cdot \rho_0 \cdot g}{\mu^2}$$

- Chuẩn số Liasenco:

$$Ly = \frac{v_0^3 \cdot \rho_0^2}{\mu \cdot (\rho_r - \rho_0) \cdot g}$$

- $\mu$  – độ nhớt tuyệt đối của môi trường (N.s/m<sup>2</sup>), (Pa.s)
- $\vartheta$  – độ nhớt tương đối của môi trường (m<sup>2</sup>/s)
- $g$  – gia tốc trọng trường  $g=9,81$  (m/s<sup>2</sup>)

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## I. Lắng tự do của hạt rắn hình cầu:

❖ Theo định luật Newton: phương trình cân bằng lực:

$$\rho_r \cdot V_h \cdot g - \rho_o \cdot V_h \cdot g = C_D \cdot S_h \cdot \rho_o \cdot \frac{v_o^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{2g}{C_D} \left( \frac{\rho_r - \rho_o}{\rho_o} \right) \frac{V_h}{S_h}}$$

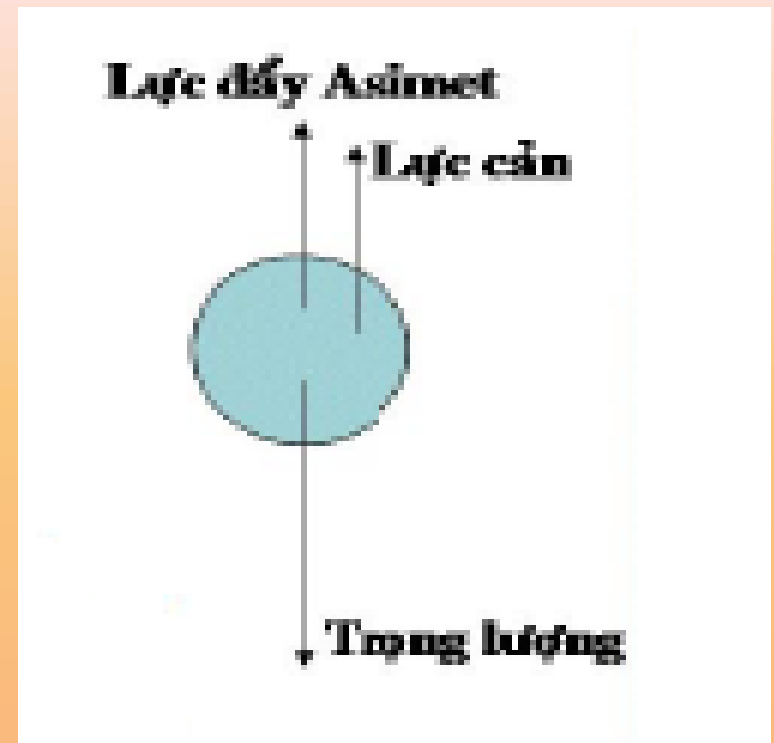
• Do đó: 
$$v_o = \sqrt{\frac{4 \cdot d_h \cdot g \cdot (\rho_r - \rho_o)}{3 \cdot C_D \cdot \rho_o}} \text{ (m/s)}$$

Công thức Newton

•  $C_D$  – hệ số ma sát

• **Hạt hình cầu:**

$$V_h = (\pi/6)d_h^3 \Rightarrow \frac{V_h}{S_h} = \frac{(\pi/6)d_h^3}{(\pi/4)d_h^2} = \frac{2}{3}d_h$$

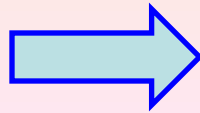


# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## \* Hệ số số ma sát ( $C_D$ ):

- Chế độ lắng dòng:  $Re < 0,2$

$$C_D = \frac{24}{Re}$$



$$v_o = \frac{d_h^2 \cdot g \cdot (\rho_r - \rho_o)}{18 \cdot \mu} (m/s)$$

Công thức Stokes

- Chế độ lắng quá độ:  $0,2 < Re < 500$

$$C_D = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$$

$$\Rightarrow v_o = 0,152 \frac{d_h^{1,14}}{\rho_o^{0,28} \cdot \mu^{0,43}} [g(\rho_r - \rho_o)]^{0,71} (m/s)$$

- Chế độ lắng chảy rối:  $500 < Re < 150000$

$$C_D = 0,44$$

$$\Rightarrow v_o = 1,74 \sqrt{\frac{d_h \cdot g \cdot (\rho_r - \rho_o)}{\rho_o}} (m/s)$$

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

I. Lắng tự do của hạt rắn hình cầu: sử dụng các công thức thực nghiệm:

a) Khi  $Ar < 3,6$  hay  $Ly < 0,0022$  hay  $0,0001 < Re < 0,2$  :

$$Re = Ar/18 = 0,056.Ar$$

b) Trong giới hạn  $3,6 < Ar < 100$  hay  $0,0022 < Ly < 0,64$  hay  $0,2 < Re < 4$ :

$$Re = 0,0593.Ar^{0,92}$$

$$Re = 4,97.Ly^{0,523}$$

$$Ly = 2,085.10^{-4}.Ar^{1,76}$$

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## I. Lắng tự do của hạt rắn hình cầu:

c) Khi  $100 < Ar < 84000$  hay  $0,64 < Ly < 1500$  hay  $4 < Re < 500$ :

$$Re = 0,152.Ar^{0,715}$$

$$Re = 5,18.Ly^{0,625}$$

$$Ly = 3,55.10^{-3}.Ar^{1,145}$$

d) Khi  $Ar > 84000$  hay  $Ly > 1500$  hay  $Re > 500$ :

$$Re = 1,74.Ar^{0,5}$$

$$Re = 0,33.Ly$$

$$Ly = 5,27.Ar^{0,5}$$

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## I. Lắng tự do của hạt rắn hình cầu:

e) Công thức Todec :

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61 \cdot \sqrt{Ar}}$$

Công thức Todec có thể áp dụng được cho tất cả chế độ chảy bao quanh hạt rắn hình cầu đơn chiếc. Công thức này cho giá trị rất chính xác trong vùng  **$3,6 < Ar < 100$**

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

❖ **Tốc độ lắng thực:**  $w_t = v_o \cdot \varphi \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$

- $\varphi$  – hệ số hình dạng hạt
- $\varphi_1$  – hệ số lưu ý đến nồng độ thể tích
- $\varphi_2$  – hệ số lưu ý đến độ nhớt

$$w_t = (0,25 \div 0,5)v_o(m / s)$$

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## II. Lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu:

Tốc độ lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu **luôn nhỏ hơn** tốc độ lắng của hạt rắn hình cầu.

### 1. Cách xác định tốc độ lắng theo đường kính hạt

- Xác định đường kính tương đương của hạt:

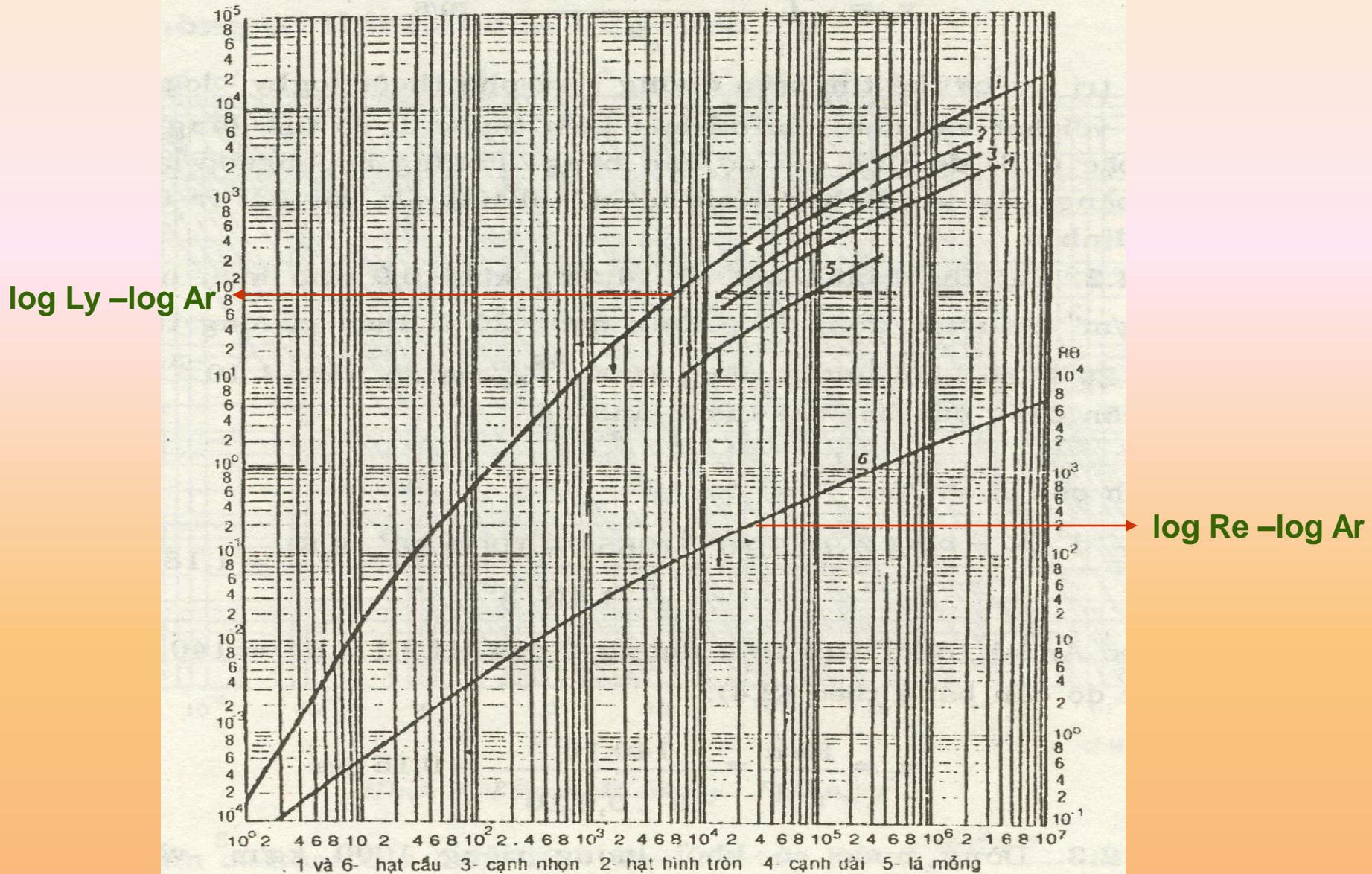
$$d_{td} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{m}{\rho_r}} \quad (\text{m})$$

*m* - khối lượng của hạt (kg)

- Tính  $Ar$  theo đường kính tương đương
- Dùng đồ thị xác định chuẩn số  $Ly$



# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC



# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## II. Lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu:

$$v_0 = \varphi_1 \cdot \sqrt[3]{Ly \cdot \frac{\mu \cdot (\rho_r - \rho_0) \cdot g}{\rho_0^2}}$$

Hệ số hình dạng  $\varphi_1$  với các loại hạt khác nhau :

Ar	Hình dạng hạt				
	hình cầu	hình tròn	có góc cạnh	hình kim	hình bản
15000	1	0,805	0,68	0,61	0,45
20000	1	0,8	0,678	0,595	0,441
40000	1	0,79	0,672	0,59	0,443
100000	1	0,755	0,65	0,564	0,429
200000	1	0,753	0,647	0,562	0,408
400000	1	0,74	0,635	0,56	0,392

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## II. Lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu:

### 2. Xác định đường kính hạt theo tốc độ lắng

- Tính chuẩn số Ly,
- Dùng đồ thị xác định  $Ar$
- Đường kính tương đương của hạt:

$$d_{td} = \varphi_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot \mu^2}{(\rho_r - \rho_0) \cdot \rho_0 \cdot g}}$$

- $\varphi_2$  - Hệ số hình dạng hạt

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## II. Lắng tự do của hạt rắn không phải hình cầu:

Hệ số hình dạng  $\phi_2$  với các loại hạt khác nhau :

Ly	Hình dạng hạt				
	hình cầu	hình tròn	có góc cạnh	hình kim	hình bản
13	1	-	-	-	2,09
130	1	1,21	1,495	1,865	2,92
260	1	1,34	1,64	2,03	3,34
580	1	1,44	1,7	2,18	3,68
2600	1	1,61	1,96	2,5	-
5000	1	1,76	-	-	-

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

### ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

\* Thể tích huyền phù trong thiết bị:

$$V = \tau_o * V_s (m^3)$$

\* Thể tích thiết bị:

$$V_T = \frac{V}{\beta} = \frac{\tau_o * V_s}{\beta} (m^3)$$

$\beta$  – hệ số chứa đầy ( $\beta \approx 0,8$ )

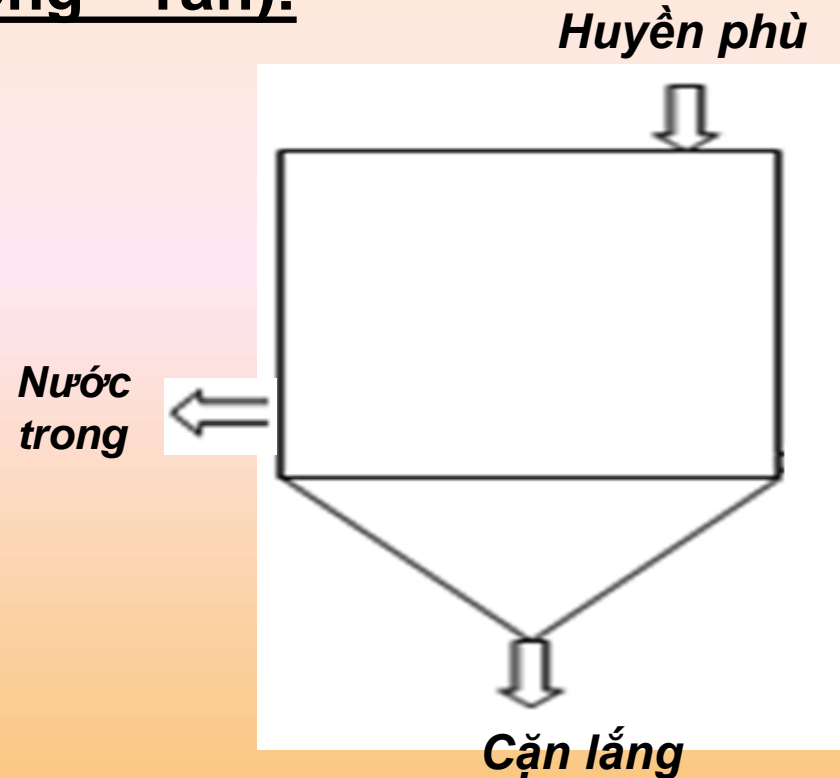
\* Đường kính của thiết bị lắng hình trụ:

$$D = \sqrt{\frac{4F_o}{\pi}}$$

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

### ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

- **Thiết bị lắng gián đoạn:**
  - Các khâu nhập liệu, tháo cặn và tháo nước trong được thực hiện theo chu kỳ: đưa huyền phù vào thiết bị, chờ cho các hạt lắng hết xuống đáy rồi tháo nước trong ở phần trên, sau đó mới mở đáy tháo cặn.
  - Năng suất thấp, thời gian lâu, thiết bị chiếm nhiều diện tích.



## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

### ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

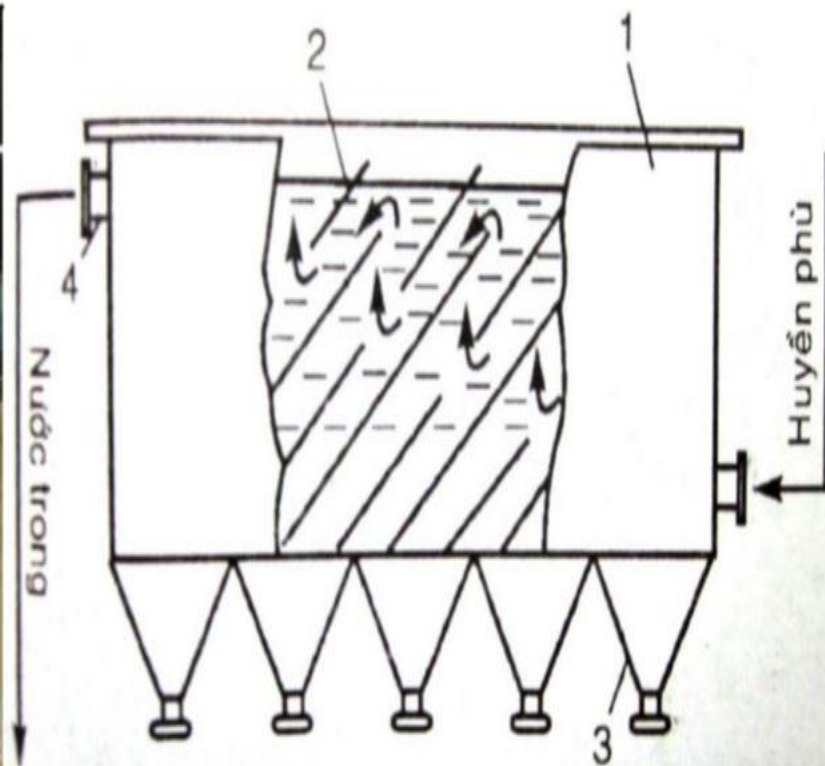
- **Thiết bị lắng bán liên tục:**
  - Dòng hỗn hợp vào và tháo nước trong được thực hiện liên tục, tháo cặn thực hiện theo chu kỳ
  - Tăng năng suất và giảm kích thước của thiết bị bằng cách tạo bề mặt lắng bởi **các tấm chắn nghiêng** hoặc **các chóp hình nón** xếp chồng lên nhau.



# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

- Thiết bị lắng bán liên tục:



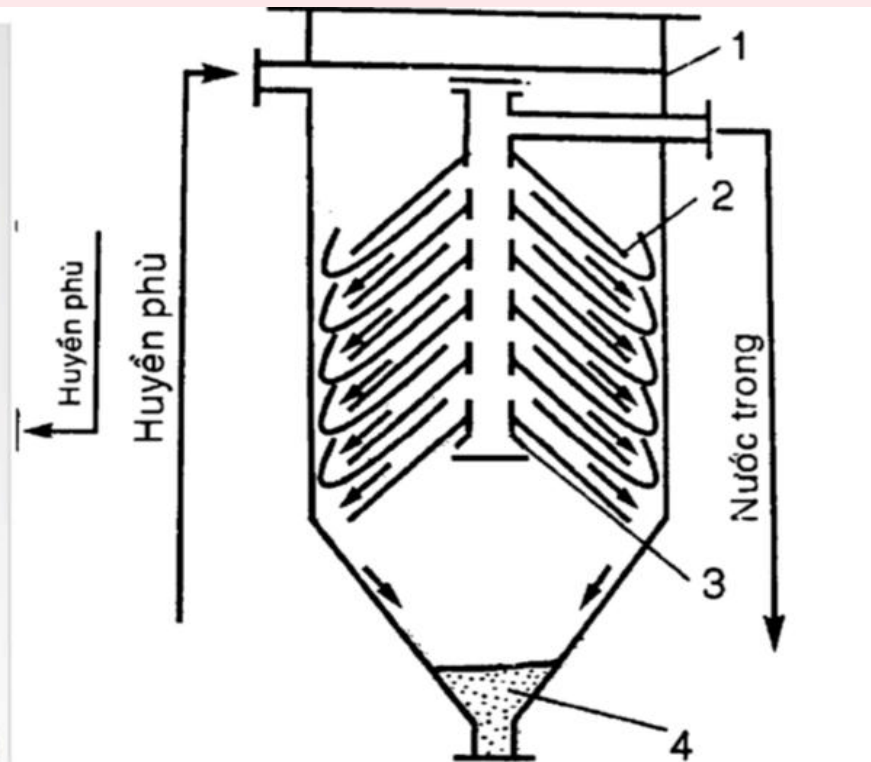
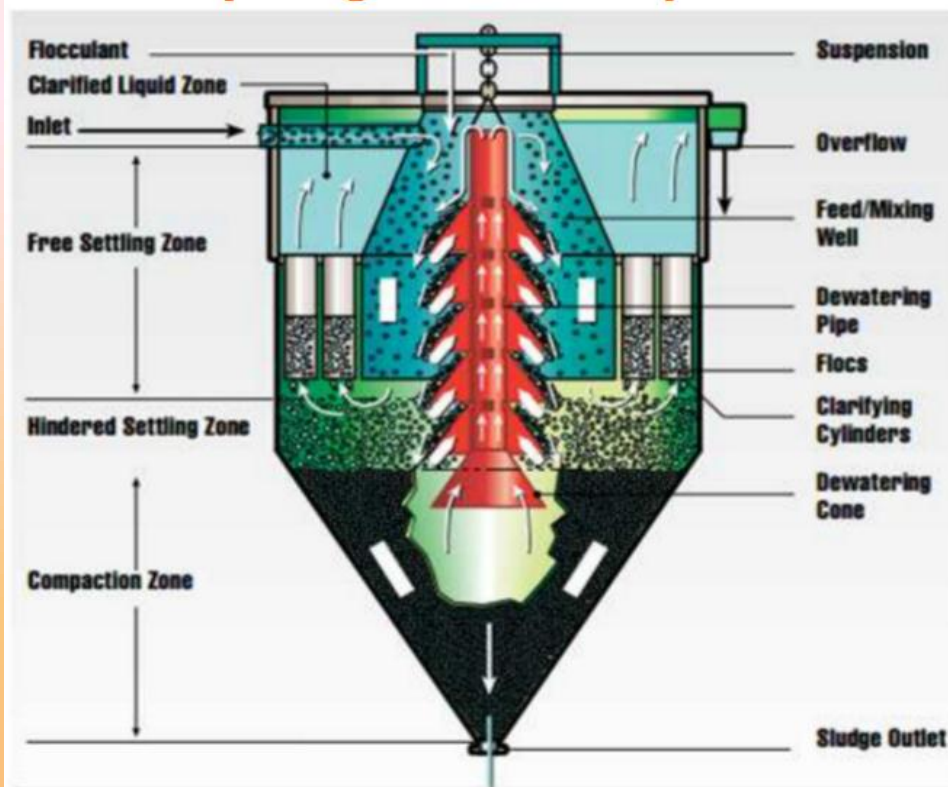
Hình: thiết bị lắng có tấm chắn nghiêng.



# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

### ▪ Thiết bị lắng bán liên tục:



1. thùng lắng; 2. các tấm ngăn hình nón;  
3. ống tâm; 4. đáy.

Thiết bị lắng hình trụ

## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

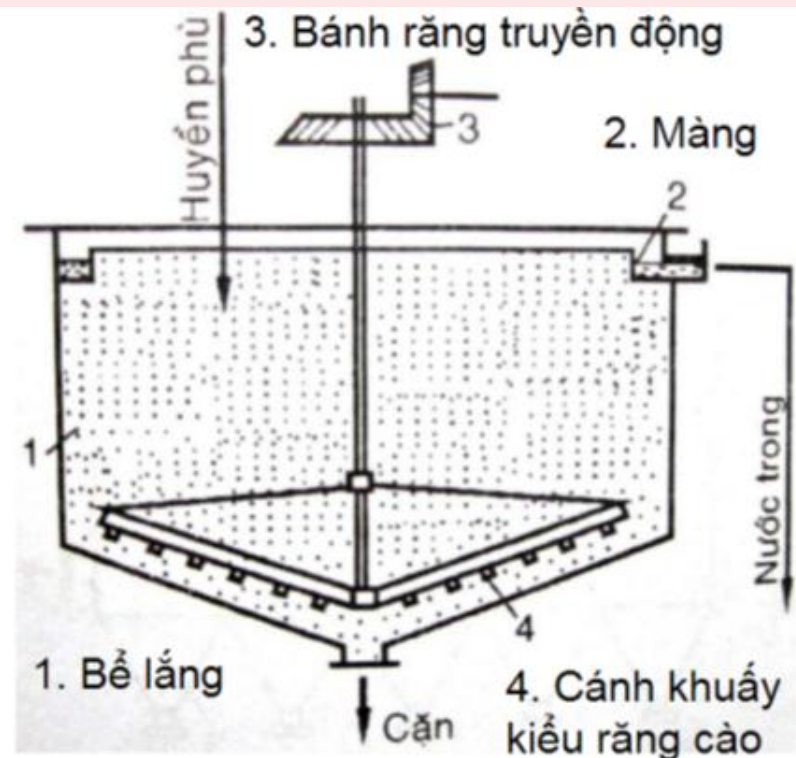
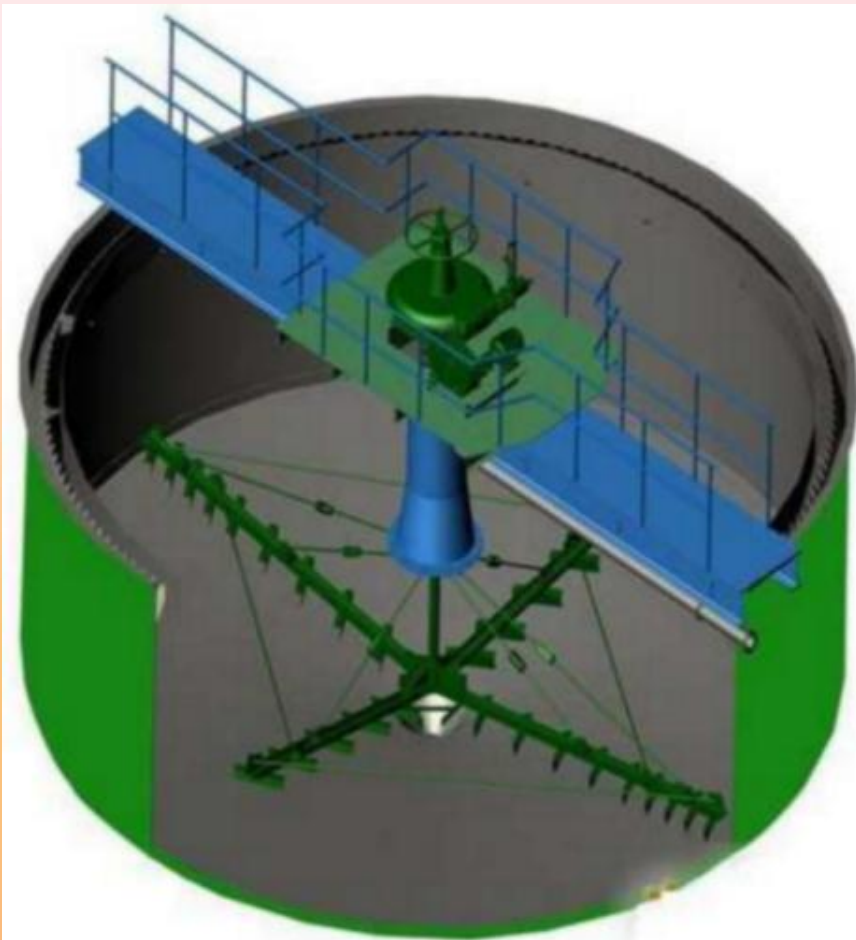
### ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

- **Thiết bị lắng liên tục:**
  - Nhập liệu, tháo nước trong và lấy cặn được thực hiện liên tục
  - Cơ giới hóa khâu tháo cặn:
    - Dùng khí nén đẩy cặn ra
    - Dùng cào gạt cặn lắng

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

- Thiết bị lắng liên tục:



Hình: Thiết bị lắng kiểu răng cào.

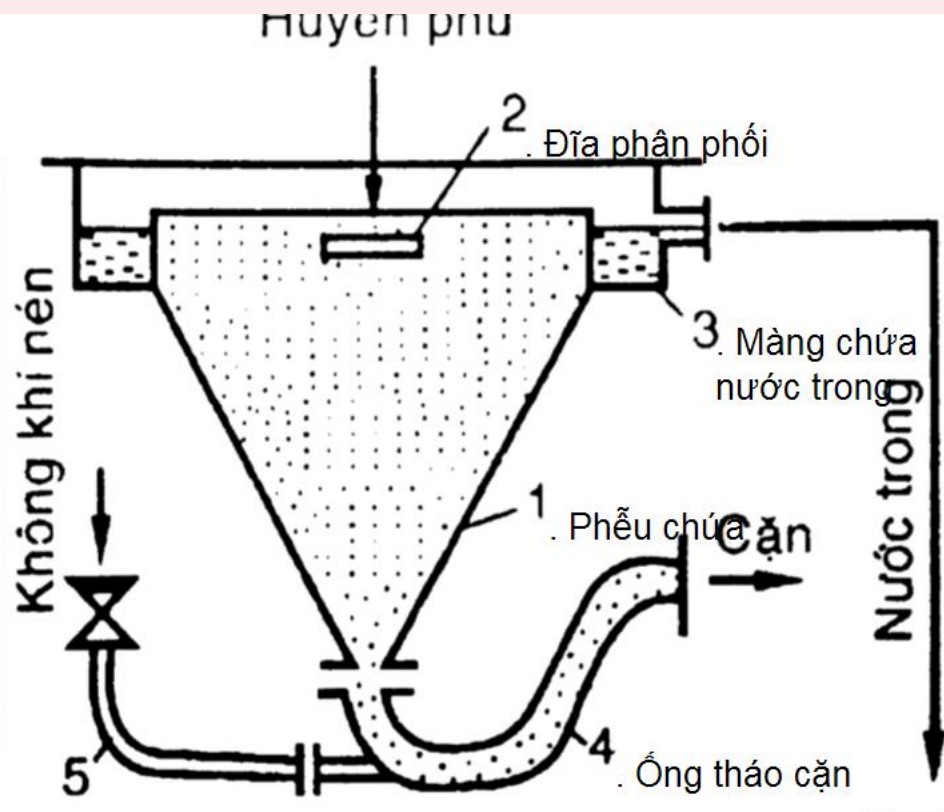
# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

### ▪ Thiết bị lắng liên tục:



Hình: Thiết bị lắng xử lý nước thải bệnh viện.



5. Ống dẫn không khí nén

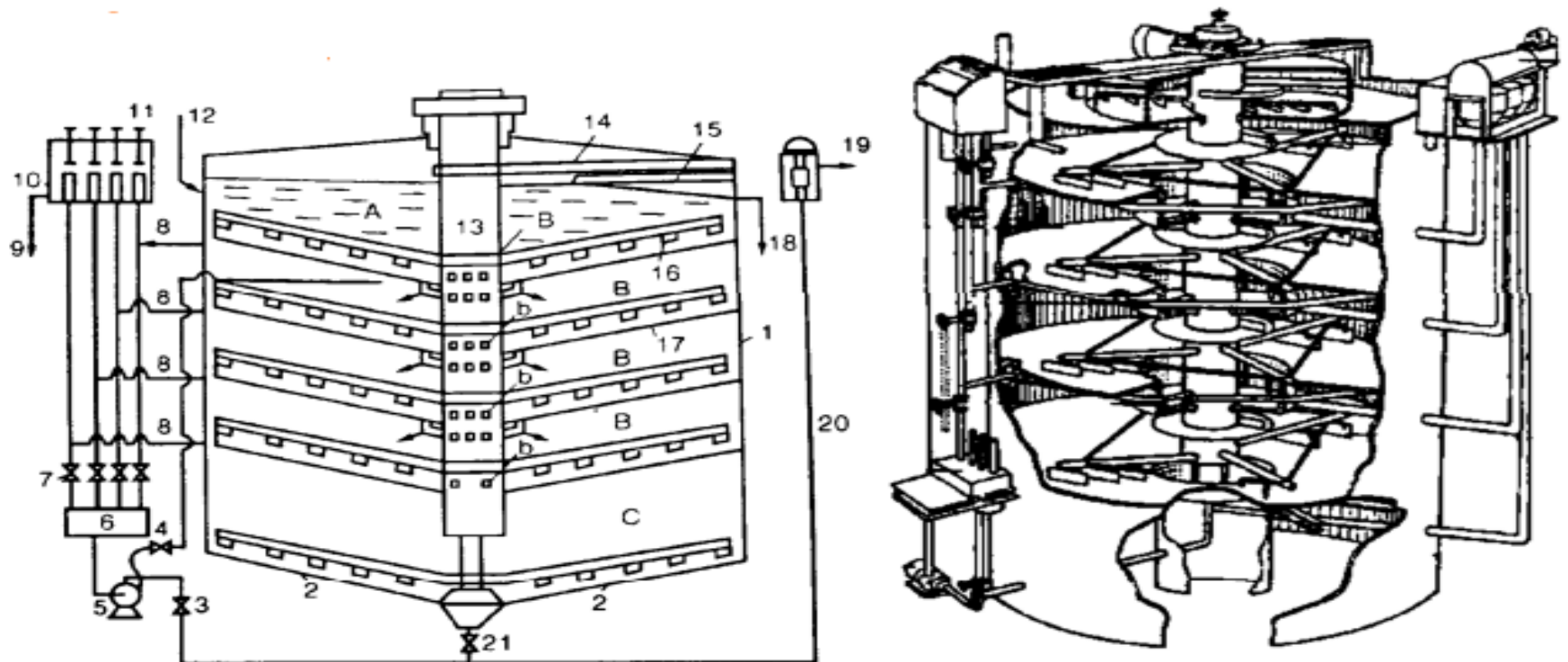
Hình: Thiết bị lắng hình phễu.



# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng huyền phù (hệ lỏng – rắn):

### ▪ Thiết bị lắng liên tục:

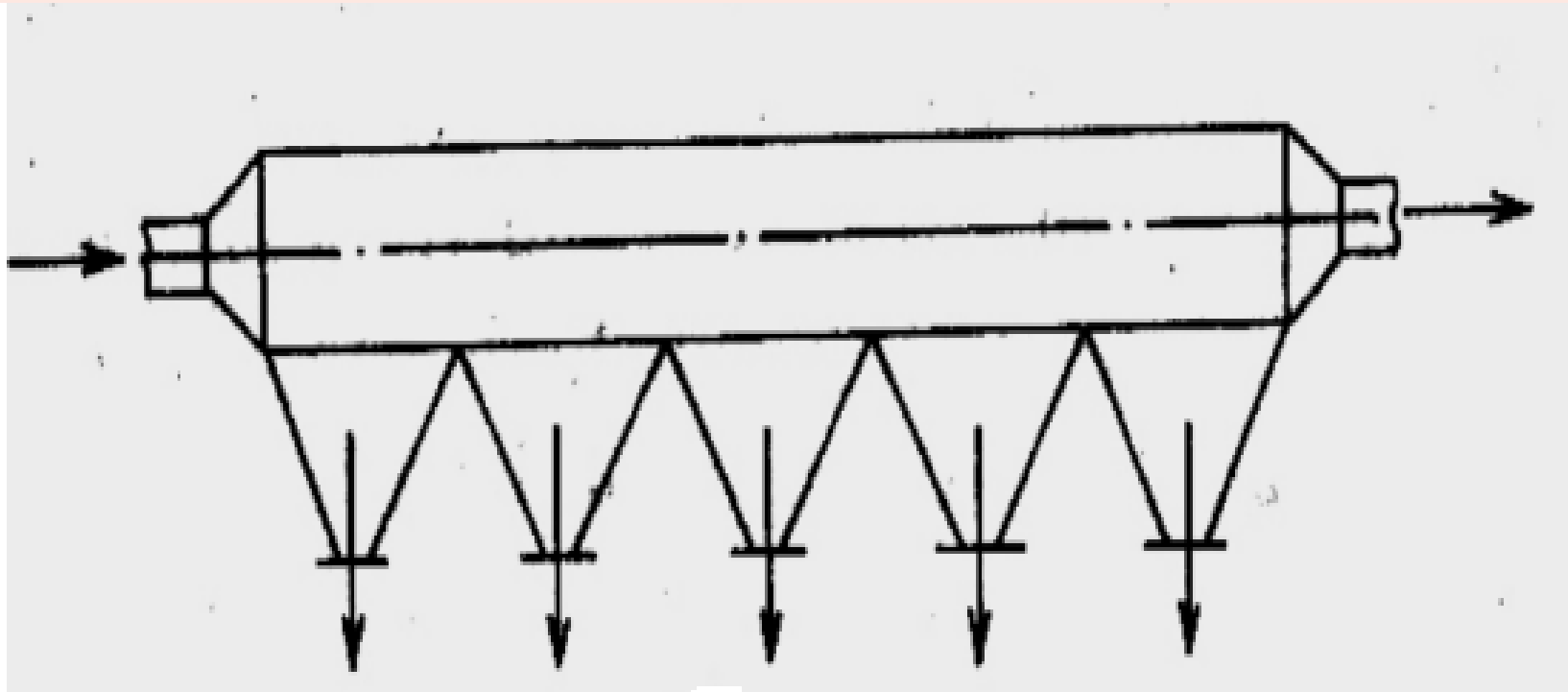


1. thùng lắng ; 2. đáy ; 3, 4, 7, 10, 21, các van ; 5. bơm ; 6. thùng chứa ; 8, 18, 20 các ống dẫn ; 9. ống để dẫn nước trong ; 12. ống dẫn huyền phù vào ; 13. trục ống ; 14. cánh gạt bột ; 15. màng chứa bột ; 16. các cánh khuấy ; 17. các vách ngăn ; 19. bộ phận chứa.

Hình: Thiết bị lắng nhiều tầng có cánh khuấy răng cào

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng hệ bụi (rắn – khí):

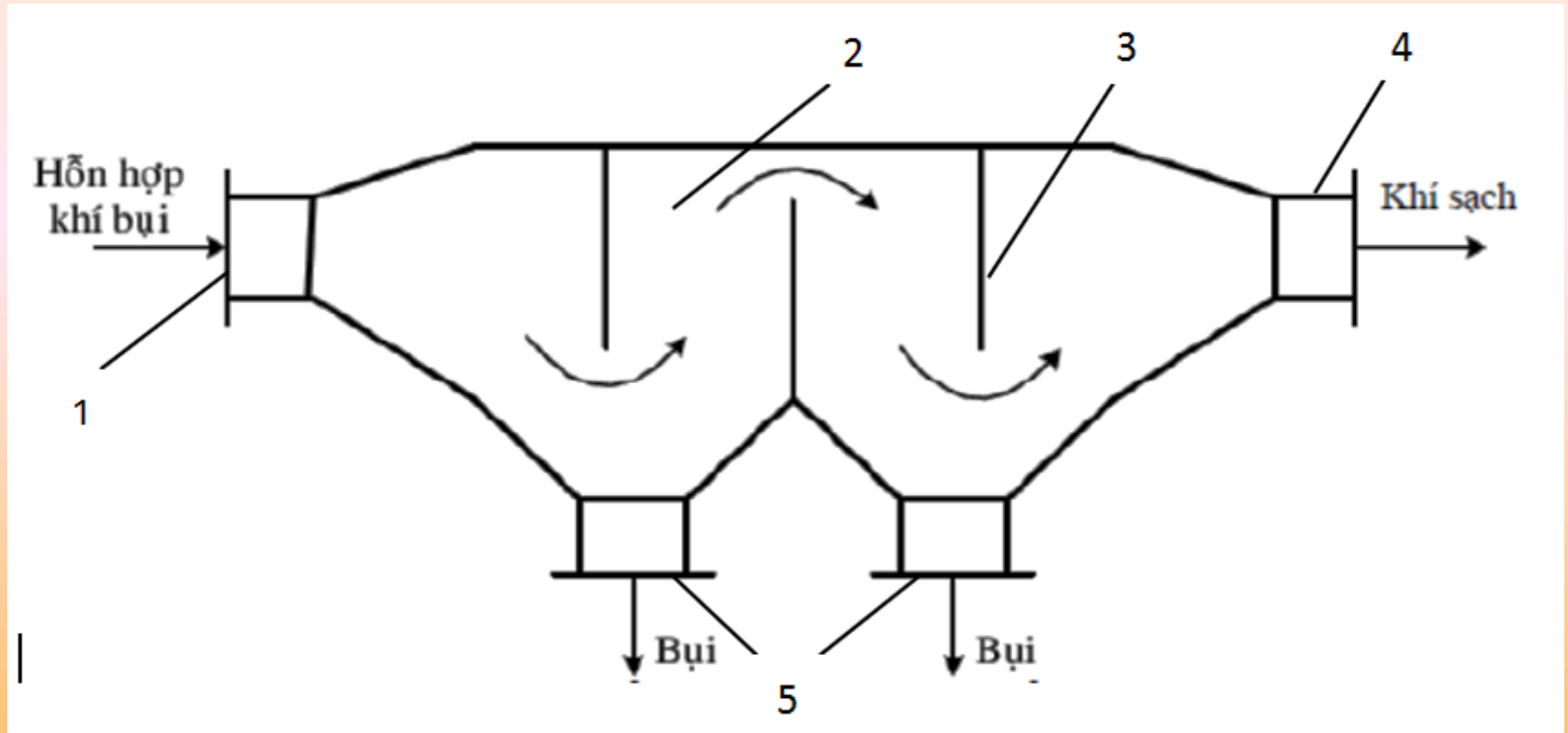


Buồng lắng bụi

- Cấu tạo đơn giản, dễ tháo cặn
- Công kênh, chiếm nhiều diện tích và hiệu suất thấp

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng hệ bụi (rắn – khí):

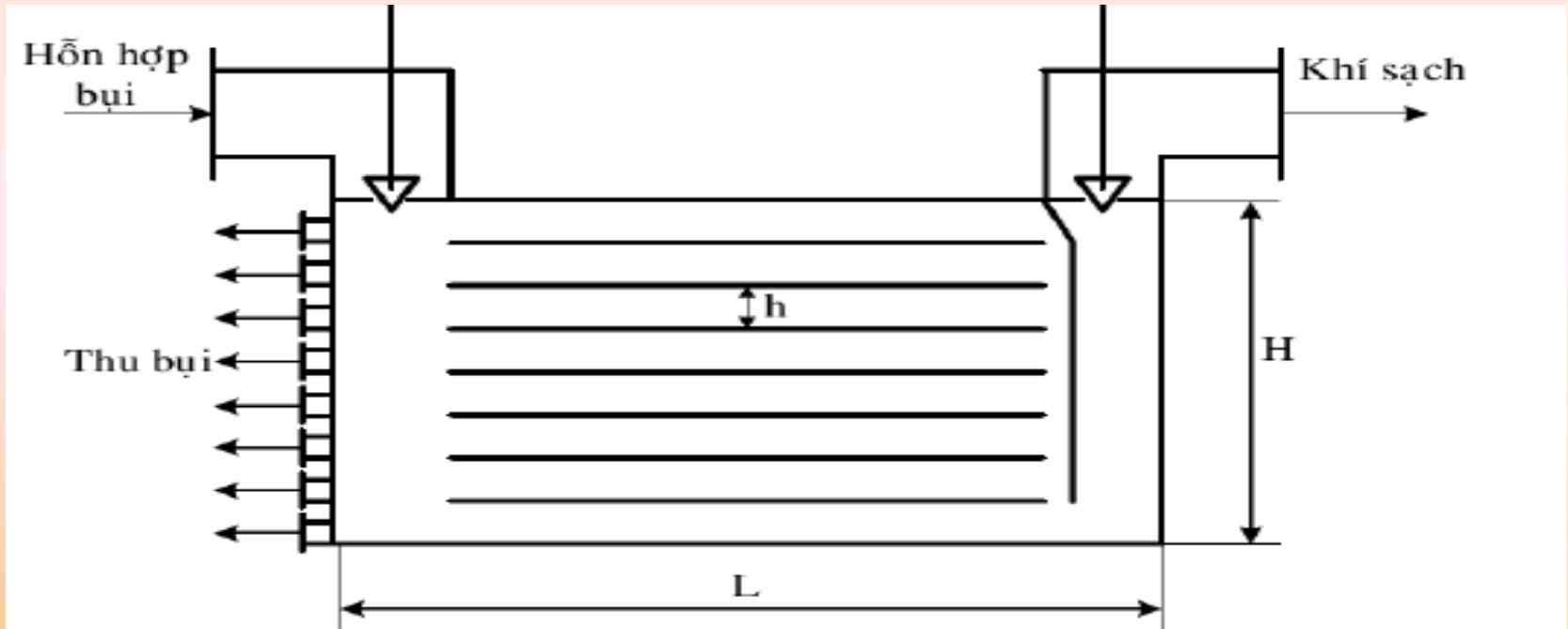


Buồng lắng bụi có vách ngăn

- Cấu tạo đơn giản, dễ tháo cặn
- Công kênh, chiếm nhiều diện tích và hiệu suất thấp

# A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

## ❖ Thiết bị lắng hệ bụi (khí – rắn):



Hình: Sơ đồ nguyên lý cấu tạo thiết bị lắng bụi nhiều tầng.

- Phương trình cân bằng:

$$V_s = B.L.n.v_o = B.h.n.v_d \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

***n** – số ngăn lắng của thiết bị*



## A. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRỌNG LỰC

### ❖ Thiết bị lắng hệ bụi (rắn – khí):

- Quá trình lắng thực hiện trong các ngăn theo thời gian:

$$\tau_o = h / v_o (s)$$

- Chiều cao của thiết bị lắng:

$$H = n(h + \delta)$$

$\delta$  – chiều dày ngăn lắng (m)

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

- ❖ Một vật có khối lượng  $m$  đứng cách tâm  $O$  một khoảng  $r$  và quay xung quanh tâm  $O$  đó với vận tốc góc  $\omega$  thì sinh ra lực ly tâm  $C$ :

$$C = m.a = m.\omega^2.r(N)$$

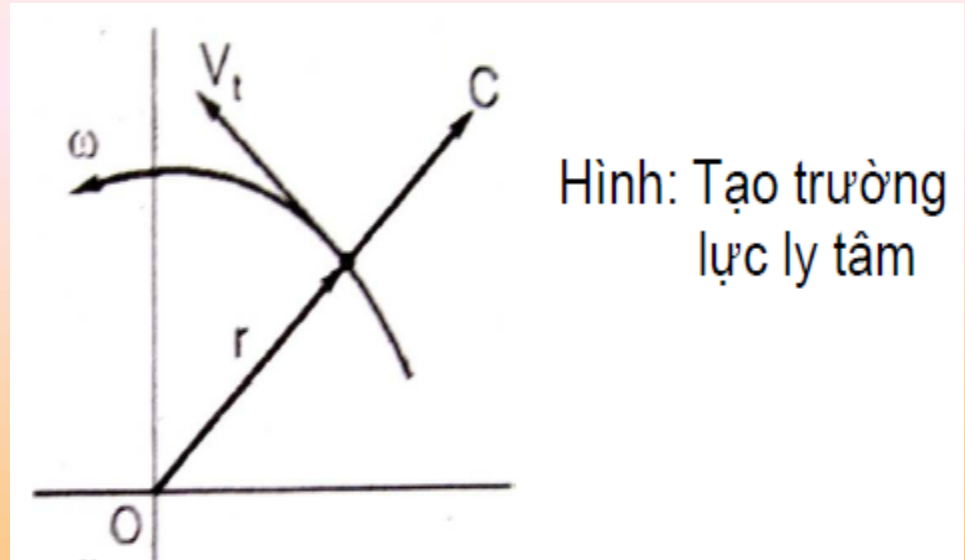
$$a = \omega^2.r$$

$\omega$  – vận tốc góc, (1/s)

$a$  – gia tốc ly tâm, (m/s<sup>2</sup>)

$r_{tb}$  – bán kính quay trung bình, (m)

$v_t$  – vận tốc tiếp tuyến của dòng hỗn hợp  
(m/s)



$$C = m.\omega^2.r = \frac{m.\omega^2.r^2}{r} = \frac{m.v_t^2}{r}$$

$$v_t = \omega.r$$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

- ❖ **Phân loại:** có 2 cách tạo ra lực ly tâm
  - Cho dòng chảy của hỗn hợp quay xung quanh đường tâm cố định trong các thiết bị bất động – **Xyclon**;
  - Cho thùng hình trụ chứa hỗn hợp quay xung quanh đường tâm của nó – **TB ly tâm lắng**;

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Yếu tố phân ly:

- Là tỉ số giữa lực ly tâm (hoặc gia tốc ly tâm) với trọng lực (hay gia tốc trọng trường).

$$\Phi = \frac{C}{G} = \frac{m.a}{m.g} = \frac{a}{g} = \frac{\omega^2.r}{g}$$

$$\Phi = \frac{C}{G} = \frac{\omega^2.r}{g} = \frac{\omega^2.r^2}{g.r} = \frac{v_t^2}{g.r}$$

- Cho biết lực ly tâm (hay gia tốc ly tâm) lớn hơn trọng lực (hay gia tốc trọng trường) bao nhiêu lần.
- Vd: Trong xiclon hạt bụi được dòng khí mang theo với vận tốc tiếp tuyến là 18 (m/s), bán kính quay là 0,32 (m) thì độ lớn của lực ly tâm so với trọng lực là bao nhiêu?

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### I. Lắng tự do của hạt rắn hình cầu:

❖ Theo định luật Newton: phương trình cân bằng lực:

$$\rho_r \cdot V_h \cdot a - \rho_o \cdot V_h \cdot a = C_D \cdot S_h \cdot \rho_o \cdot \frac{v_{olt}^2}{2}$$

• **Hạt hình cầu:**

$$\Rightarrow v_{oit} = \sqrt{\frac{2a}{C_D} \left( \frac{\rho_r - \rho_o}{\rho_o} \right) \frac{V_h}{S_h}}$$

$$\begin{aligned} V_h &= (\pi/6)d_h^3 \\ S_h &= (\pi/4)d_h^2 \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_h}{S_h} = \frac{(\pi/6)d_h^3}{(\pi/4)d_h^2} = \frac{2}{3}d_h$$

$$v_{olt} = \sqrt{\frac{4 \cdot d_h (\rho_r - \rho_o) \cdot a}{3 \cdot C_D \cdot \rho_o}} (m/s)$$

•  **$C_D$  – hệ số ma sát**

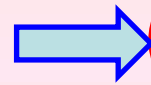
**Công thức Newton**

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

❖ Chế độ lắng dòng ( $Re < 0,2$ ):

$$C_D = \frac{24}{Re}$$

$$Re = \frac{v_{olt} \cdot d_h \cdot \rho_o}{\mu}$$



$$v_{olt} = \frac{d_h^2 \cdot (\rho_r - \rho_o) \cdot a}{18\mu} (m/s)$$

Hay:

$$v_{olt} = \frac{d_h^2 \cdot (\rho_r - \rho_o) \cdot g}{18\mu} \cdot \frac{\omega^2 \cdot r}{g}$$

Suy ra:

$$v_{olt} = v_o \cdot \Phi$$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

❖ Chế độ lắng quá độ:  $0,2 < Re < 500$

$$C_D = \frac{18,5}{Re^{0,6}}$$

$$\Rightarrow v_{olt} = v_o * \Phi^{0,71} = 0,152 \frac{d_h^{1,14}}{\rho_o^{0,28} \cdot \mu^{0,43}} [g\Phi(\rho_r - \rho_o)]^{0,71} (m/s)$$

❖ Chế độ lắng chảy rối:  $500 < Re < 150000$

$$C_D = 0,44 \Rightarrow v_{olt} = v_o * \sqrt{\Phi} = 1,74 \sqrt{\frac{d_h \cdot g \cdot \Phi(\rho_r - \rho_o)}{\rho_o}} (m/s)$$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

❖ Chế độ lắng dòng:  $Ar < 3,6$

$$Re = \frac{Ar \cdot \Phi}{18} = 0,056 Ar \cdot \Phi$$

❖ Chế độ lắng quá độ:  $3,6 < Ar < 84000$

$$Re = \left( \frac{Ar \cdot \Phi}{13,9} \right)^{0,715} = 0,152 (Ar \cdot \Phi)^{0,715}$$

❖ Chế độ lắng chảy rối:  $Ar > 84000$

$$Re = 1,74 \sqrt{Ar * \Phi}$$



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

❖ **Tốc độ lắng thực:**  $W_t = v_{olt} \cdot \varphi \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$

- $\varphi$  – hệ số hình dạng hạt
- $\varphi_1$  – hệ số lưu ý đến nồng độ thể tích

$$\varphi_1 = \sqrt{20,25\beta^2 + (1 - \beta) - 4,5\beta}$$

- $\beta$  – nồng độ thể tích  $\beta = \frac{y_{hp} \cdot \rho_{hp}}{\rho_r}$

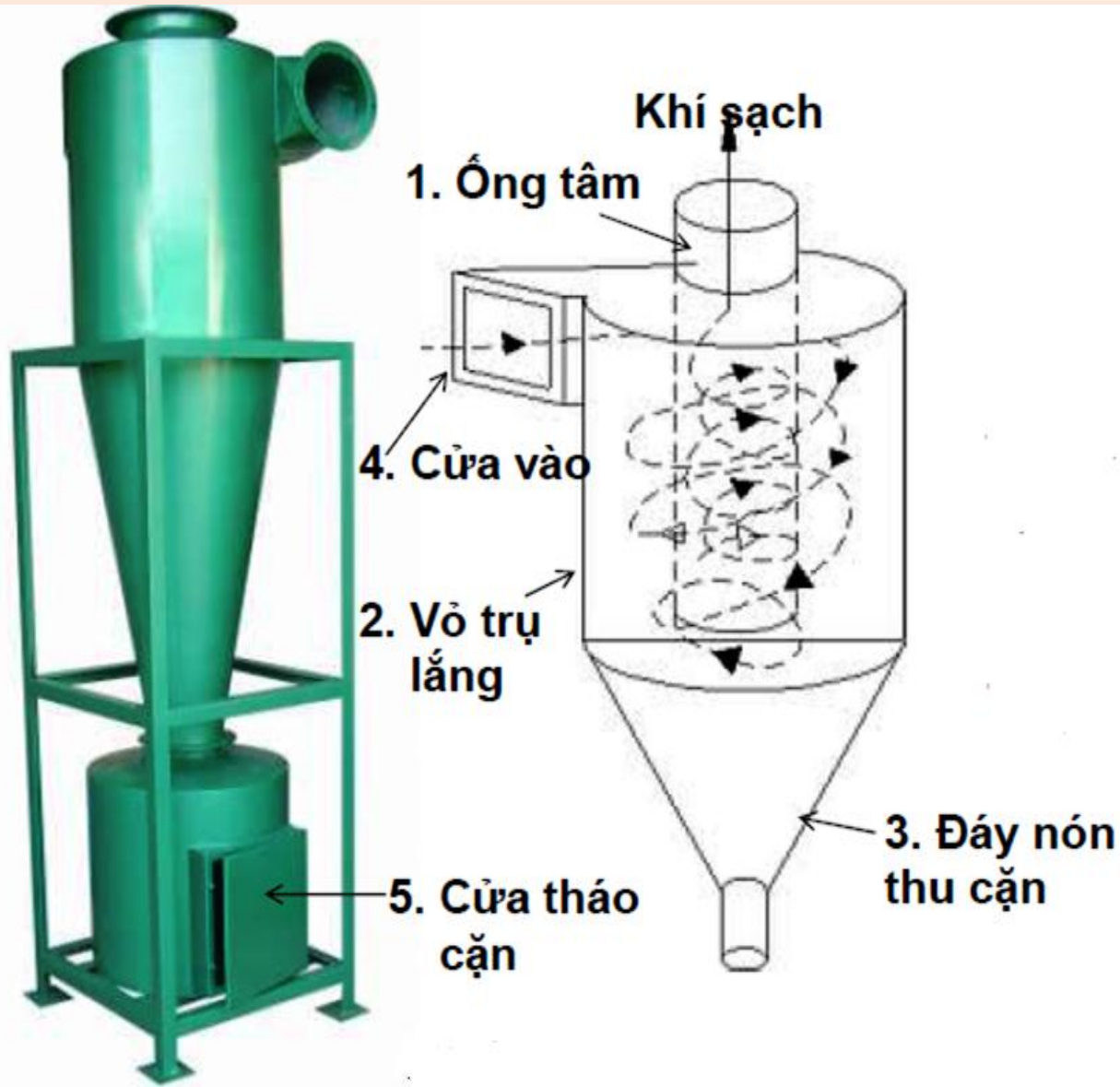
- $\varphi_2$  – hệ số lưu ý đến độ nhớt

$$\varphi_2 = \frac{3(\mu + \mu_r)}{2\mu + 3\mu_r}$$

- $\mu, \mu_r$  – độ nhớt tuyệt đối của pha liên tục và pha phân tán
- với hệ bụi thì  $\varphi_2 = 1$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn: lắng bụi



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn: lắng bụi

- Vận tốc dòng hỗn hợp trong xyclon:

$$v_t = \omega \cdot r_{tb} \text{ (m / s)}$$

- Bán kính quay trung bình:

$$r_{tb} = \frac{R_2 - R_1}{2,31 \lg(R_2 / R_1)} = \frac{R_1 + R_2}{2} \text{ (m)}$$

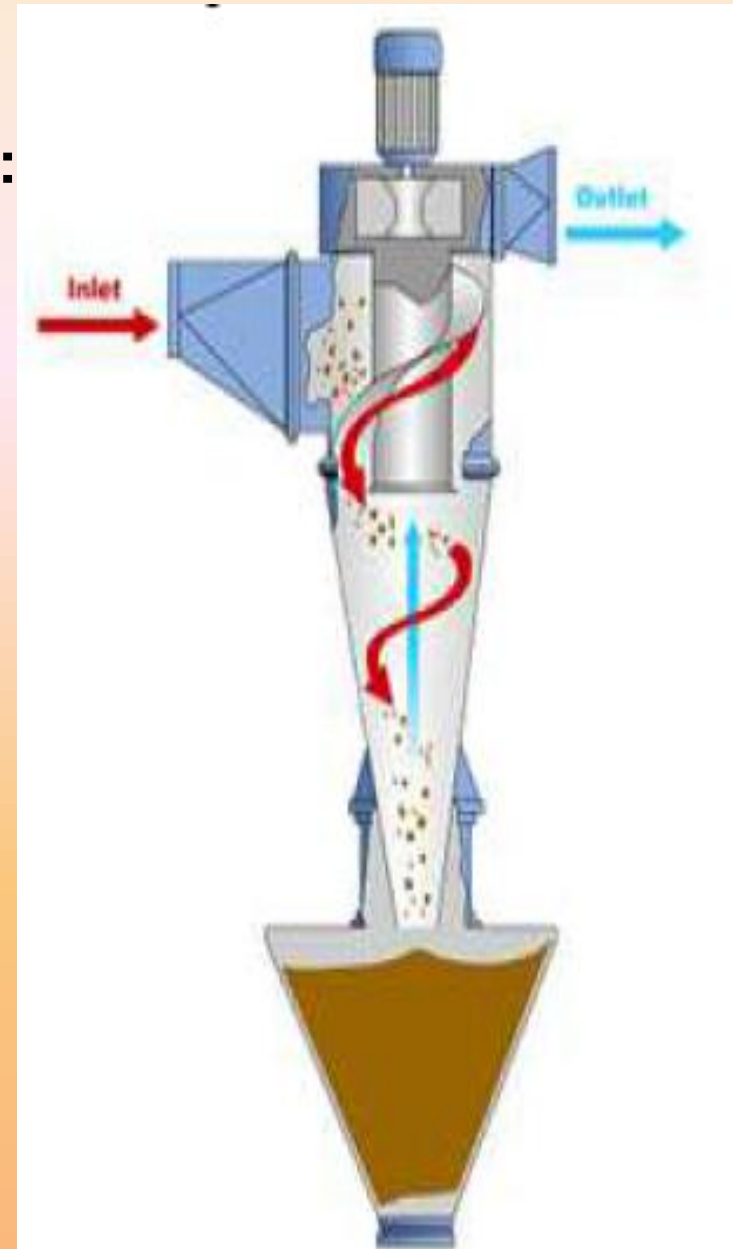
$R_2$  – bán kính trong của vỏ trụ cyclon (m)

$R_1$  – bán kính ngoài của ống tâm (m)

$$R_1 = r_o + \delta \text{ (m)}$$

$r_o$  – bán kính trong của ống tâm (m)

$\delta$  – chiều dày của thành ống tâm (m)



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn: lắng bụi

- Thời gian lắng:  $\tau_o = \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{w_t} \rightarrow \tau_o = \frac{R_2 - R_1}{w_t} (s)$
- Số vòng quay của dòng hỗn hợp:  $n = \frac{\tau_o \cdot \omega}{2\pi} (v / s)$
- Vận tốc lắng thực:  $w_t = \frac{R_2 - R_1}{\tau_o} = \frac{\omega(R_2 - R_1)}{2\pi n} (m / s)$
- Kích thước hạt bé nhất có thể lắng ở chế độ lắng dòng:

$$d_{h \min} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu (R_2 - R_1)}{\pi n \omega (\rho_r - \rho_o) r_{tb}}} (m)$$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn: lắng bụi

- **Bề mặt lắng của xyclon:** bề mặt xung quanh của vỏ trụ

$$F_o = \frac{V_s}{w_t} = 2\pi r_{tb} H_1 (m^2)$$

$H_1$  – chiều cao phần vỏ hình trụ (m)

$V_s$  – năng suất của thiết bị (lưu lượng của dòng hỗn hợp chảy qua xyclon ( $m^3/s$ ))

- **Bán kính của vỏ hình trụ:**

$$R_2 = \frac{R_1 \left(1 + \frac{\pi H_1 w_t}{v_t h_o}\right)}{1 - \frac{\pi H_1 w_t}{v_t h_o}} (m)$$

$h_o$  – chiều cao của lớp hỗn hợp chuyển động (m)

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn: lắng bụi

- Chiều cao phần nón chứa cặn:

$$H_2 = \left(R_2 - \frac{d_c}{2}\right) \operatorname{tg} \alpha (m)$$

$d_c$  – đường kính lỗ tháo cặn ( $d_c = 0,4 \div 0,5m$ )

$\alpha$  – góc nghiêng ở nón ( $\alpha = 50 \div 60^\circ$ )

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon đơn:

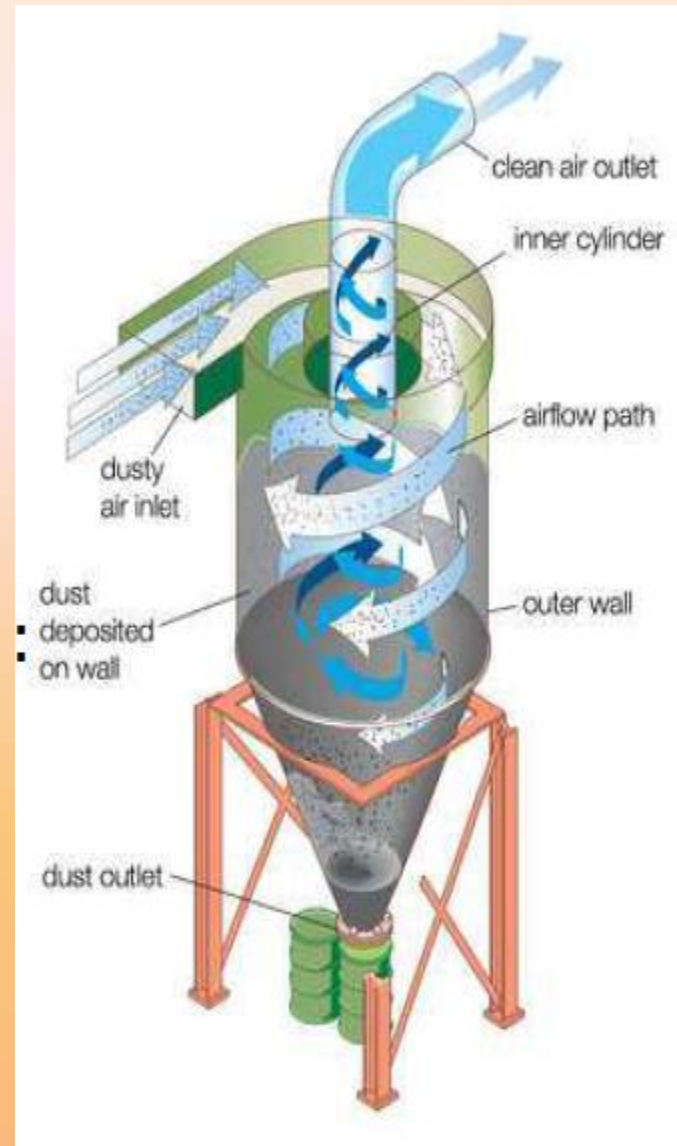
- Tổn thất áp suất của dòng hỗn hợp qua xyclon:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho_o v_q^2}{2} (Pa)$$

$\xi$  – hệ số trở lực của xyclon;  $\xi = 60 \div 180$

$v_q$  – vận tốc quy ước của dòng hỗn hợp trong xyclon (m/s)

$$v_q = \frac{V_s}{\pi R_2^2}$$





## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

- **Xyclon chùm (lắng bụi):** khi yêu cầu năng suất phân riêng lớn  
→ ghép nhiều xyclon đơn hoạt động song song lại với nhau.

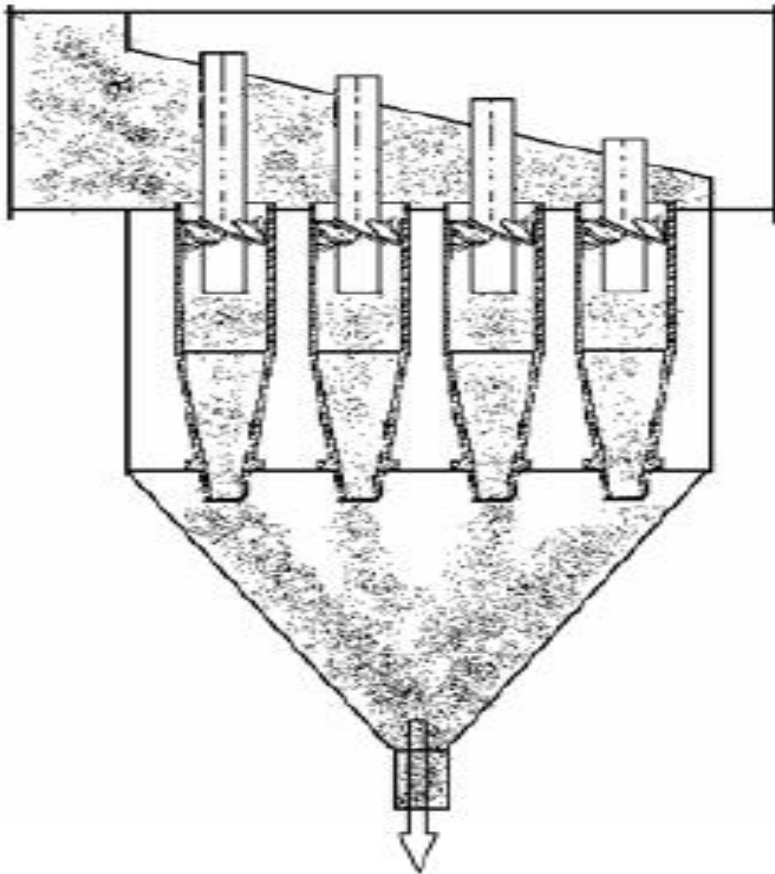


Hình: Ghép nhiều cyclone đơn hoạt động song song



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

- **Xyclon tổ hợp (lắng bụi):** khi cần tăng hiệu quả của quá trình phân riêng → ghép nhiều xyclon thành phần (kích thước bé) hoạt động song song.



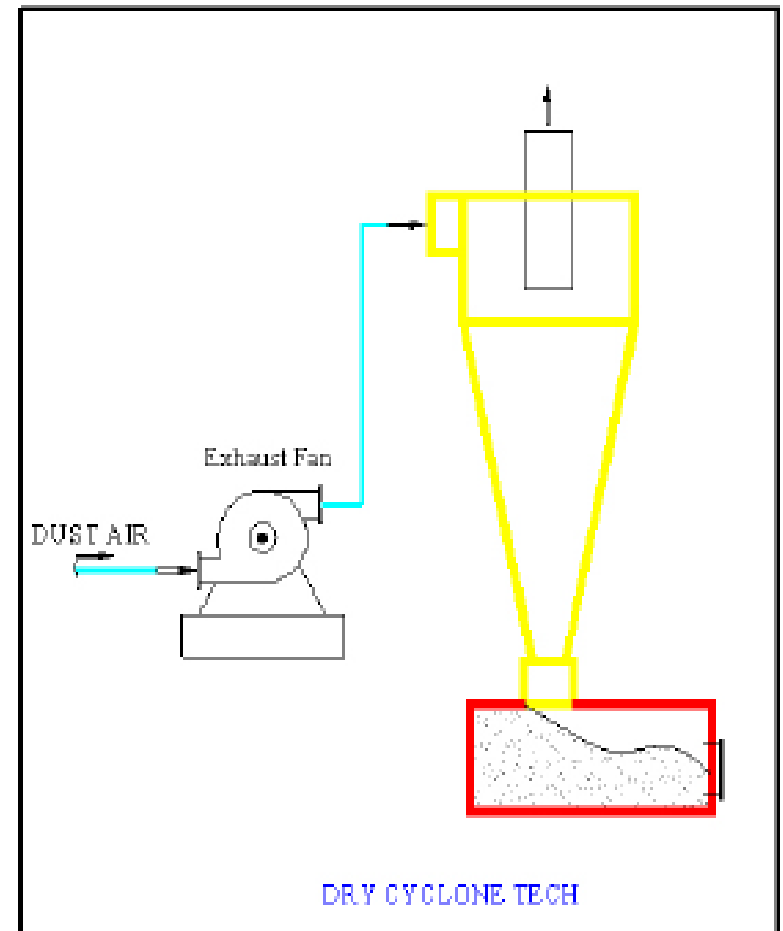
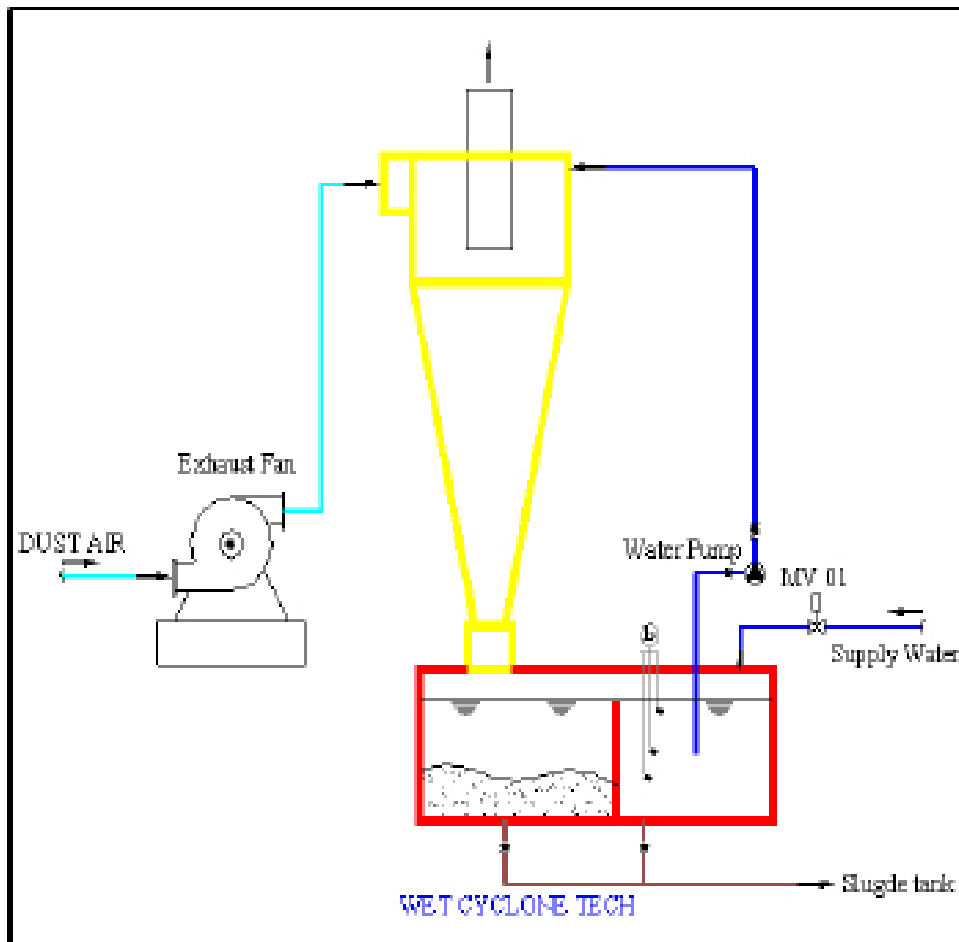
Mặt cắt A-B  
Khí bụi vào

Hình 5.12. Xyclon tổ hợp:  
1- vỏ; 2,3- lưới đỡ; 4- cửa khí vào;  
5- xyclon con; 6- cửa khí ra; 7- đáy

The top view diagram shows a square arrangement of 16 small circles, representing the cyclone cones, within a square frame. Arrows indicate the flow of air from the inlet door (4) into the cones and out through the outlet door (6).

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

- **Xyclon ướt:** khi cần tăng hiệu quả của quá trình làm sạch → bố trí thêm hệ thống phun sương trong xyclon.

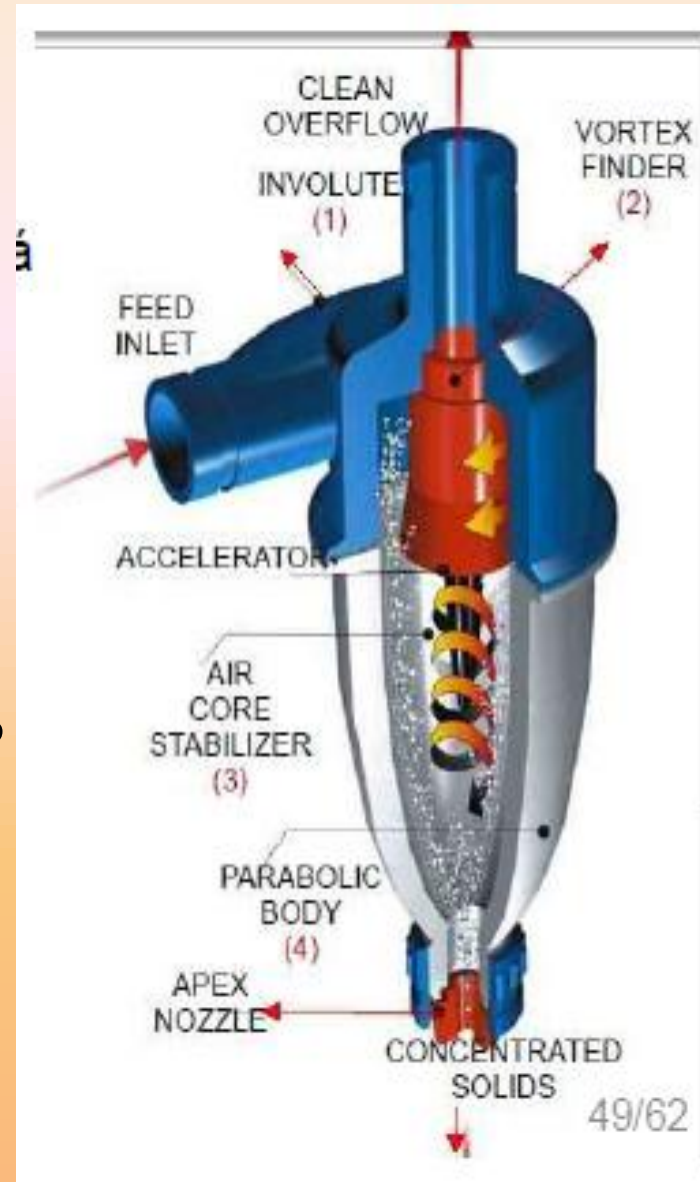


## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon thủy lực: lắng huyền phù:

- **Phân loại:** xyclon thủy lực đơn và xyclon thủy lực tổ hợp
- **Nguyên tắc làm việc:** HP được cho vào ống dẫn theo phương tiếp tuyến với thân hình trụ. Nhờ vậy HP chuyển động thành từng dòng dạng vít xoắn trong TB.

Dưới tác dụng của lực ly tâm, dòng hỗn hợp phân thành hai lớp: ***lớp sát thành TB là HP đậm đặc*** (chủ yếu là các hạt rắn), chuyển động theo đường xoắn ốc xuống đáy xyclon và được tháo ra ngoài, ***lớp gần tâm là chất lỏng*** trong chuyển động lên phía trên qua ống tâm và đi ra ngoài.



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon thủy lực: lắng huyền phù:

- Áp suất dòng vào tương đối cao:  $\Delta P = 2 \div 3 \text{ at}$
- Hiệu quả phân ly phụ thuộc vào tỉ số:

$$d_3/d_2 = 0,37 \div 0,4$$

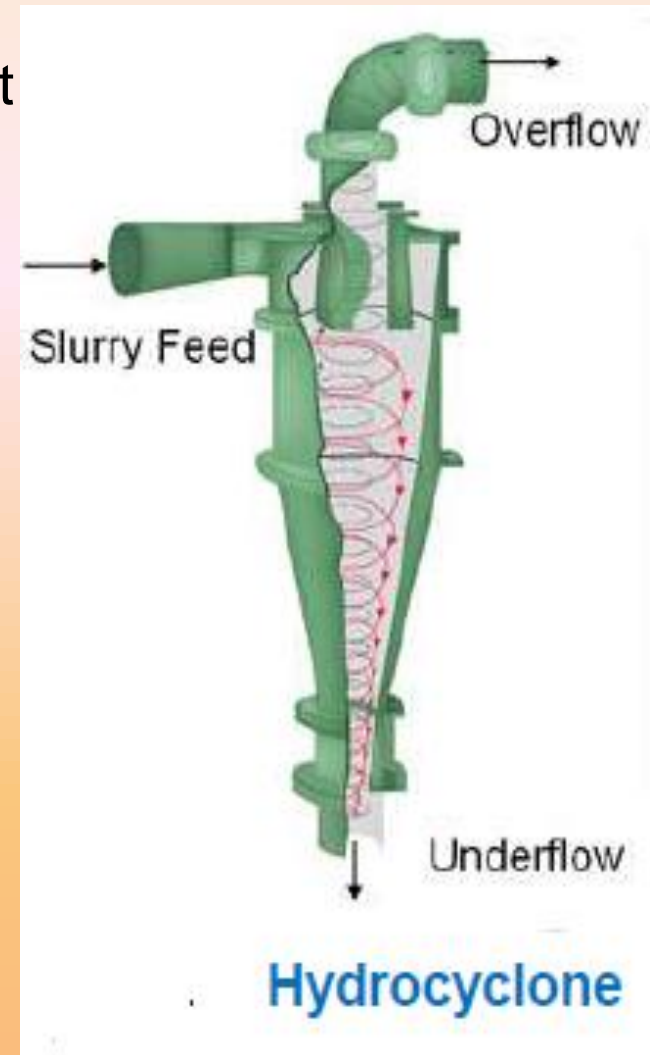
$d_2$  – đường kính ống tháo nước trong (ống tâm)

$d_3$  – đường kính cửa tháo bùn (HP đậm đặc)

$$d_2 = (0,167 \div 0,2)D$$

$$d_3 = (0,14 \div 0,3)D$$

D – đường kính của xyclon thủy lực



## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon thủy lực: lắng huyền phù:

- Đường kính cửa vào xyclon:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4V_s}{\varphi\pi\sqrt{2\Delta P/\rho_{hp}}}} (m)$$

$\varphi$  – hệ số lưu lượng

$\rho_{hp}$  – khối lượng riêng của huyền phù ( $\text{kg/m}^3$ )

- Năng suất của xyclon:

$$V_s = KDd_3\sqrt{\Delta P} (m^3 / s)$$

Với

$$K = \frac{\pi d_1^2 \varphi}{2\sqrt{2}Dd_3\sqrt{\rho_{hp}}}$$

## B. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG LỰC LY TÂM

### ❖ Xyclon thủy lực: lắng huyền phù

- **Công suất của máy bơm:** dùng tạo áp suất cho cyclon hoạt động

$$N = \frac{V_s \cdot P_t \cdot \rho_{hp} \cdot g}{1000\eta} (kW)$$

- **Áp lực của huyền phù vào cyclon:**

$$P_t = \frac{\Delta P}{\rho_{hp} \cdot g}$$

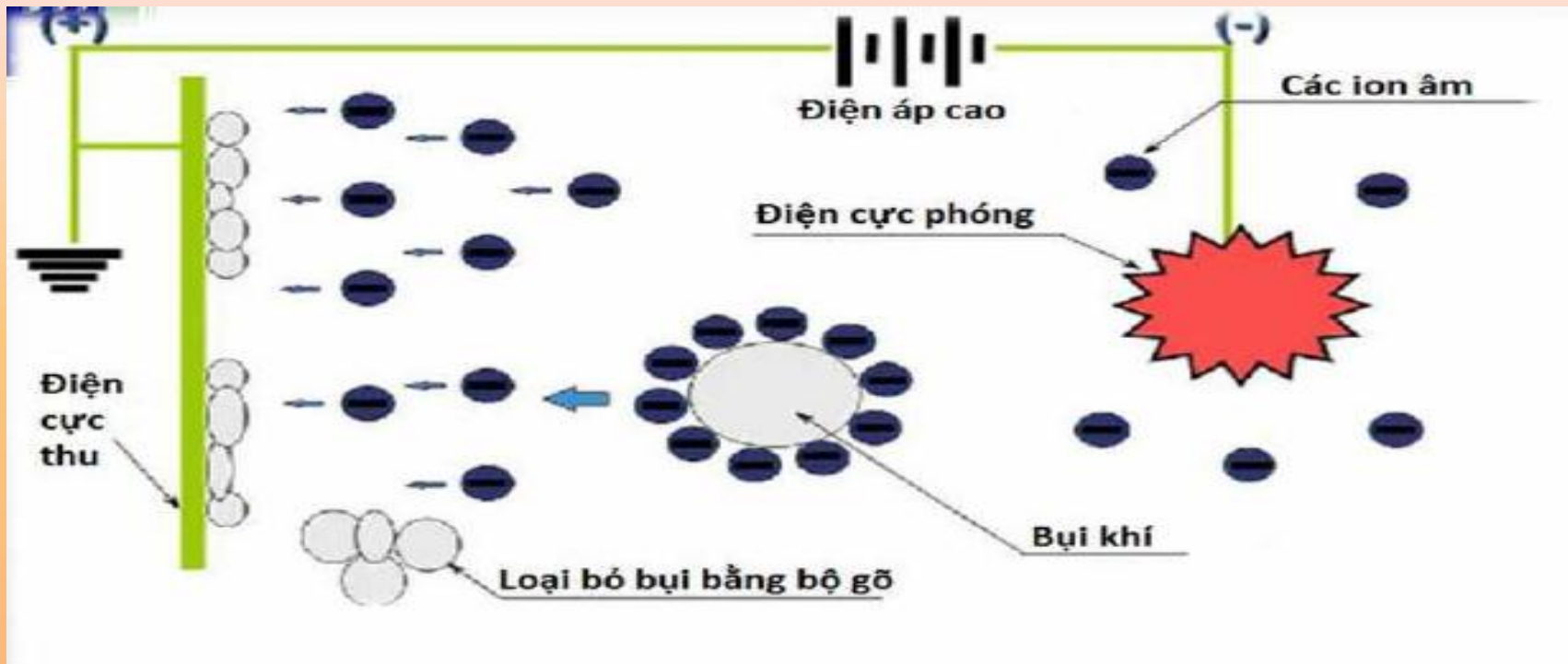
$\eta$  – hiệu suất ( $\eta \approx 0,5$ )

- $D = (300 \div 350)$  (mm) – dùng phân loại các phần tử rắn theo cỡ hạt;
- $D = 100$  (mm) – dùng làm đậm đặc HP;
- $D = (10 \div 15)$  (mm) – dùng làm trong pha lỏng.

## C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

### ❖ Cấu tạo và nguyên lý làm việc:

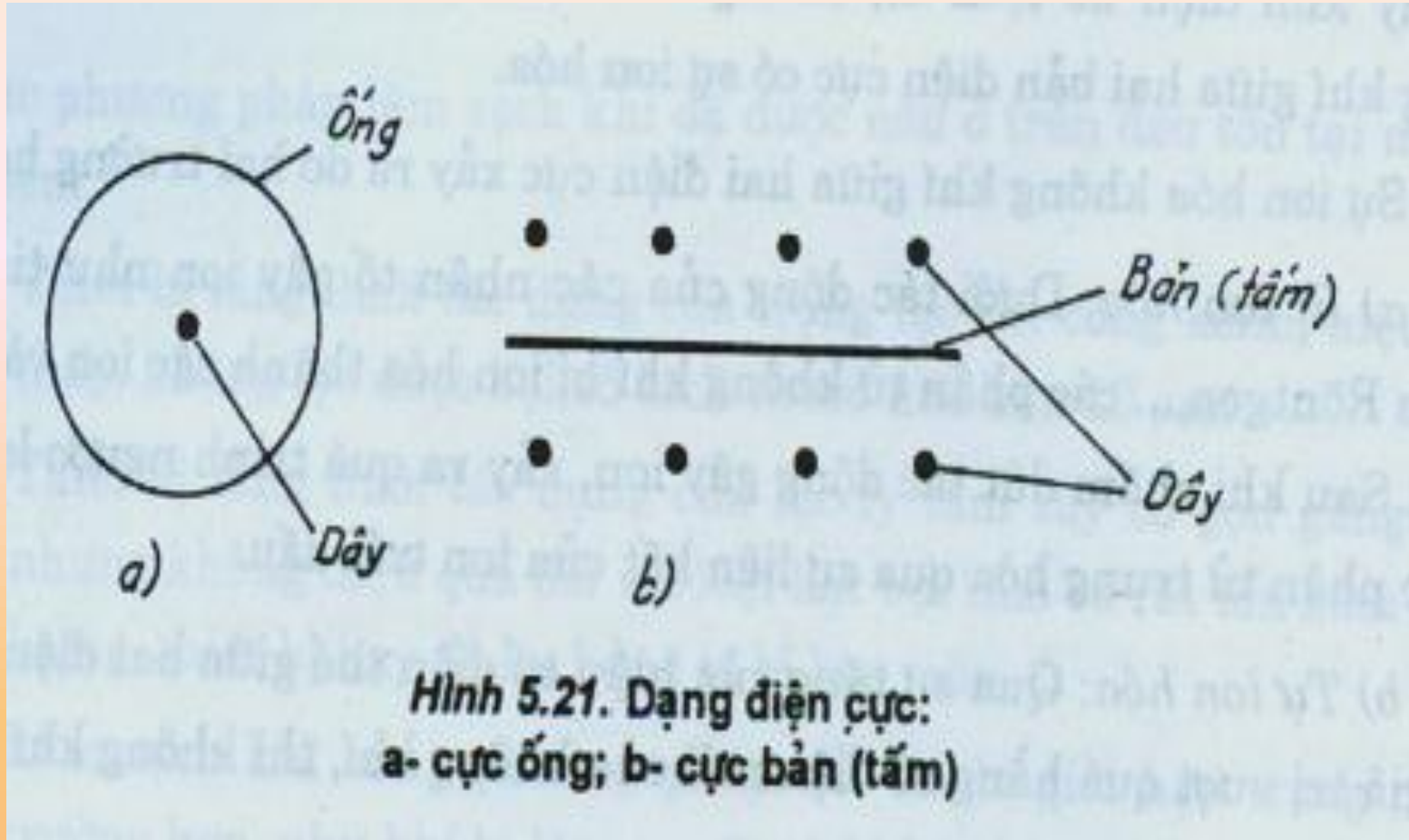
- Gồm một bản cực âm và dương đặt song song, và nối với một nguồn điện một chiều → giữa hai bản cực hình thành trường tĩnh điện.
- Khi hiệu điện thế giữa hai bản cực đủ lớn, thì các phân tử khí bị ion hóa và dịch chuyển về phía bản cực trái dấu
- Khí hệ khí bụi chuyển động ngang qua không gian giữa hai bản cực, sẽ bị tích điện, chuyển động về cực dương và lắng ở đó.





## C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

### ❖ Phân loại:





## C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

### ❖ Các giai đoạn của quá trình lắng:

- Tích điện cho các hạt bụi lơ lửng trong dòng khí;
- Dịch chuyển các hạt tích điện đến các điện cực dưới tác dụng của lực điện trường;
- Lắng trên các điện cực mà các hạt mang điện tích chuyển động đến đó.

## C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

### ❖ Điều kiện để quá trình lắng được thực hiện:

- Trường tĩnh điện đủ mạnh để tạo lực điện trường;
- Độ tích điện cho hệ bụi:  $10^8 \text{ ion/cm}^3$

### ❖ Vận tốc lắng:

$$v_{ot} = \frac{neE}{3\pi\mu d_h} (m/s)$$

$n$  – số điện tử

$e$  – điện tích điện tử ( $e=4,8.10^{-10}$  đv tĩnh điện)

$E$  – cường độ điện trường (V/m)

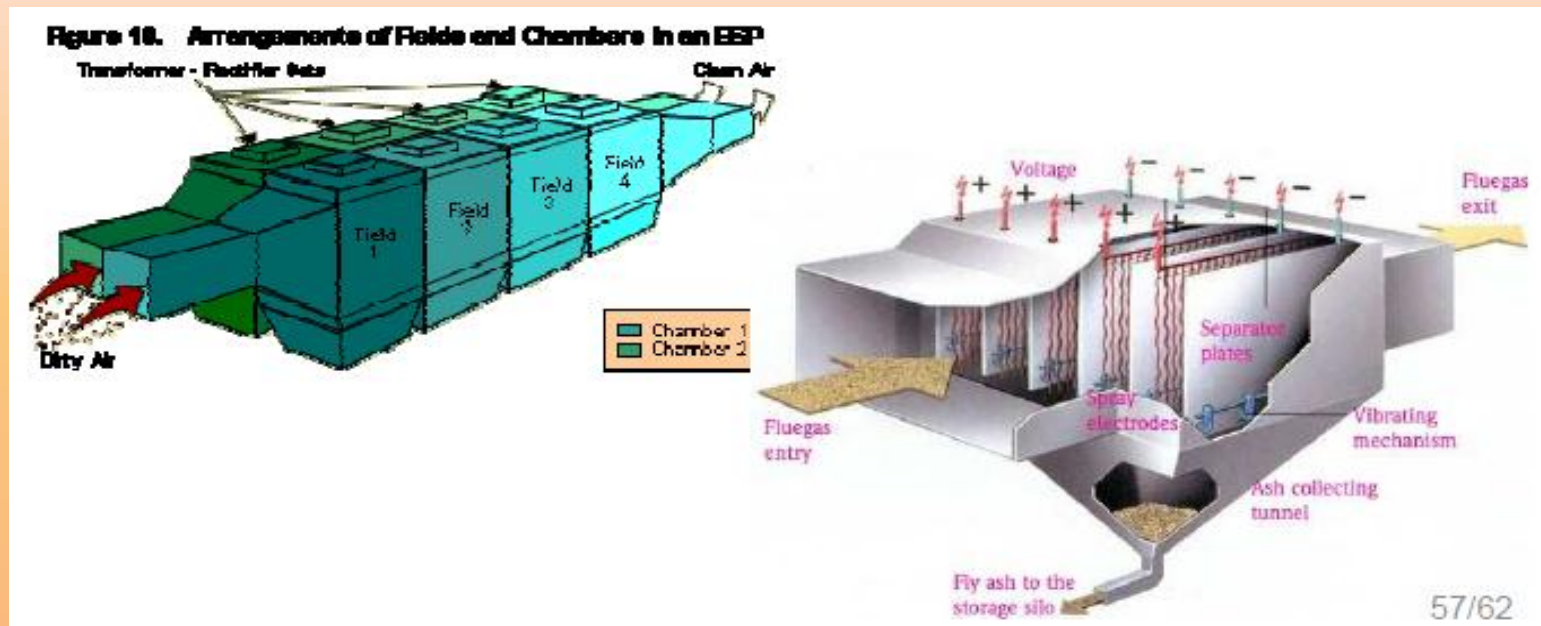
$d_h$  - kích thước hạt (m)

$\mu$  - độ nhớt tuyệt đối của môi trường (Pa.s)

# C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

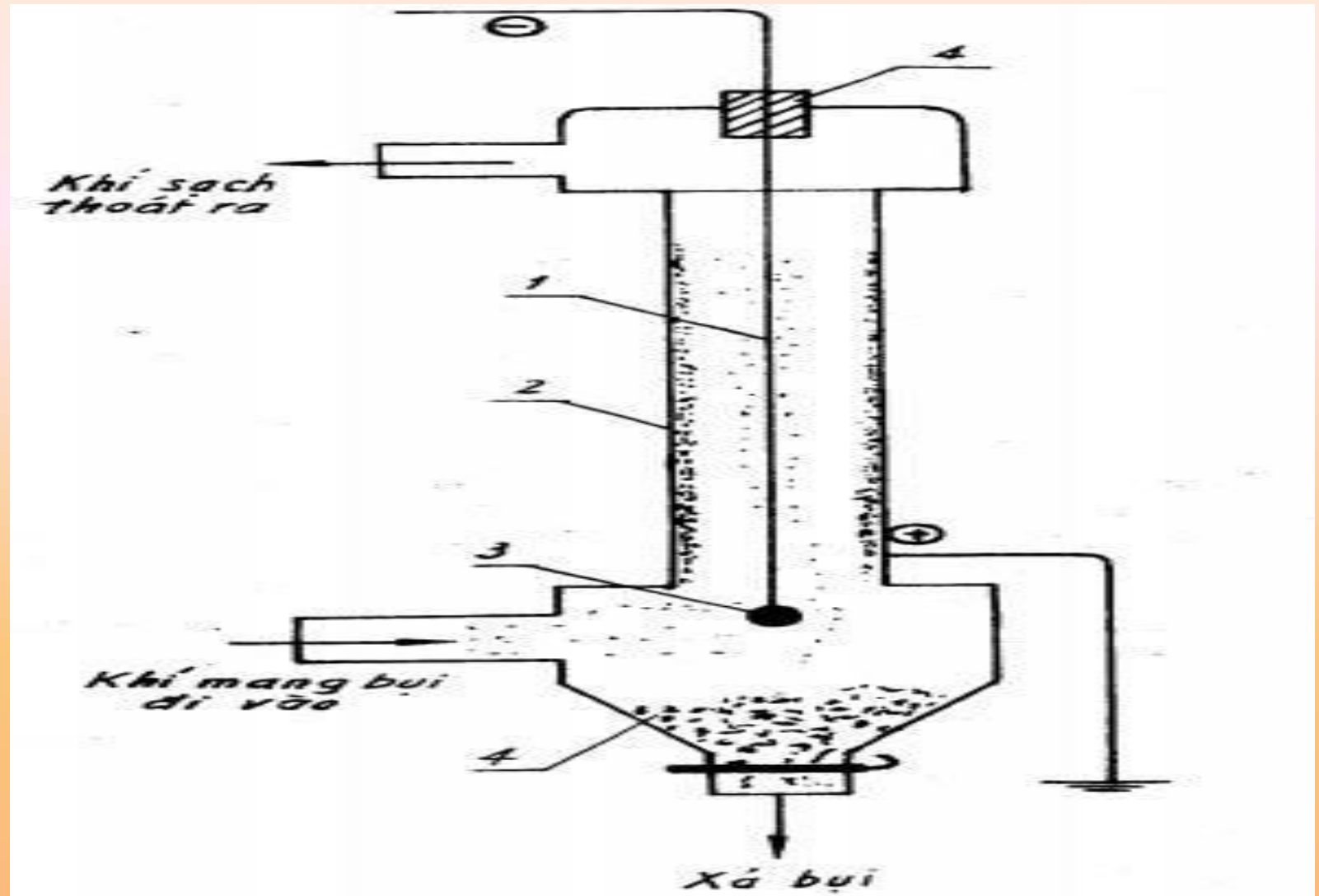
## ❖ Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình lắng:

- Tính chất và kích thước của bụi: hạt càng lớn thì quá trình lắng càng nhanh
- Điều kiện phân riêng: nồng độ bụi, nhiệt độ, độ ẩm, và tốc độ của hệ bụi
- Hình dạng, kích thước và khoảng cách giữa các điện cực



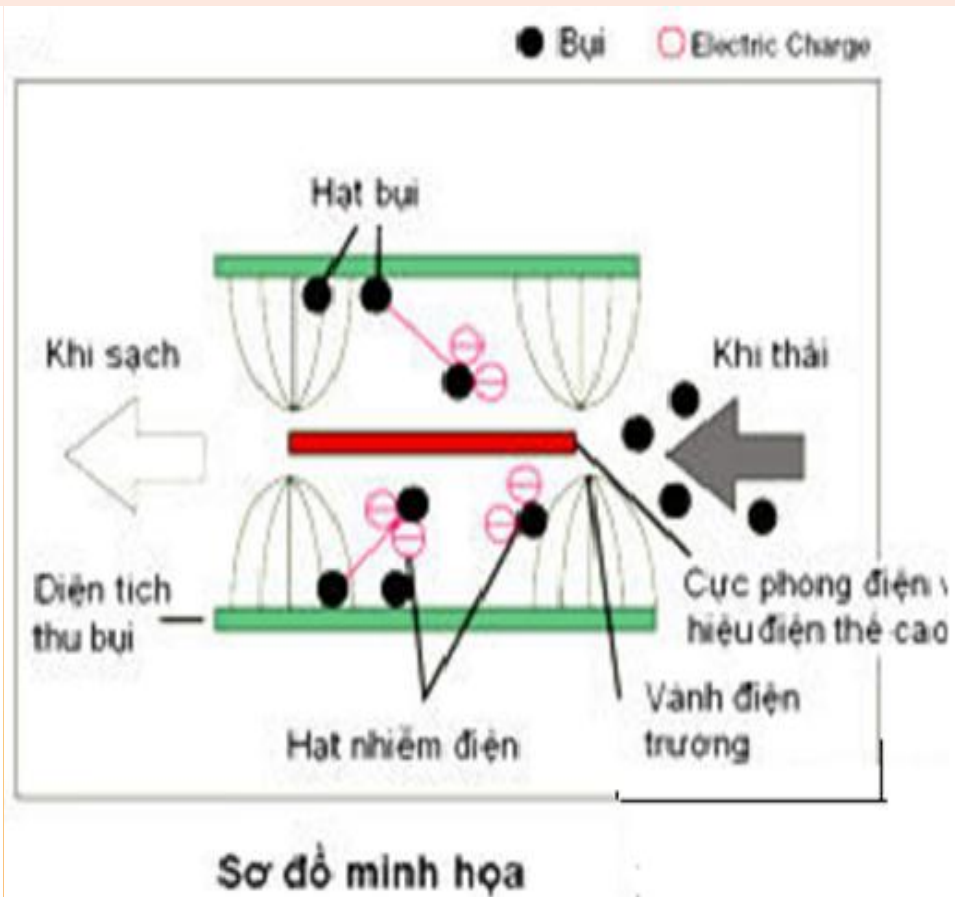
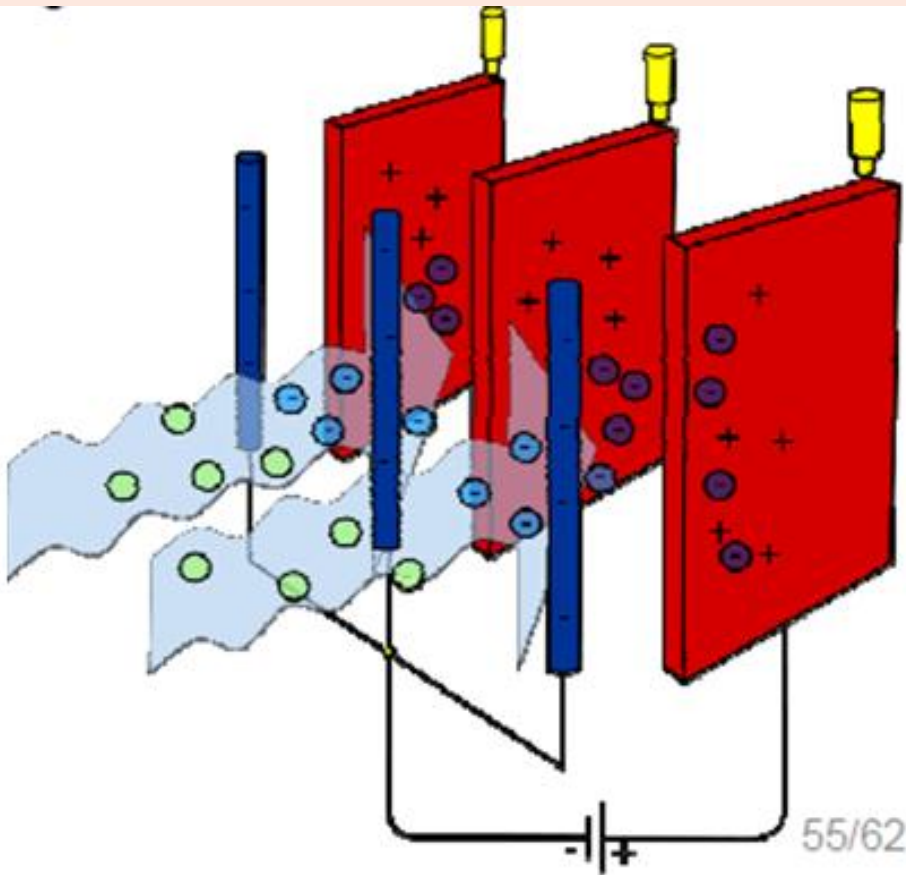
## C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

### ❖ Thiết bị lắng bụi tĩnh điện dạng ống:



# C. LẮNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

## ❖ Thiết bị lắng bụi tĩnh điện dạng tấm:



# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 1:

Tính vận tốc lắng của hạt vữa dạng hình cầu có đường kính 1 (mm) với khối lượng riêng của hạt  $2500 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , trong các điều kiện sau:

- Lắng trong môi trường nước ở  $10(^{\circ}\text{C})$  với độ nhớt  $\mu_1=1,3077(\text{cP})$  và  $60(^{\circ}\text{C})$  với độ nhớt  $\mu_2=0,4680 \text{ (cP)}$ , với khối lượng riêng của nước  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ .
- Khi thay nước bằng dầu ở  $10(^{\circ}\text{C})$  với độ nhớt  $\mu_3=0,4 \text{ (Pa.s)}$ , khối lượng riêng của dầu  $870 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ .

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 2:

Xác định vận tốc lắng nhỏ nhất của hạt rắn lắng trong buồng lắng có chiều dài 16 (m), chiều cao 2 (m) với vận tốc dòng vào của hỗn hợp 0,5 (m/s).

## Bài 3:

Dựa vào định luật Stokes xác định đường kính lớn nhất của hạt rắn hình cầu có khối lượng riêng  $2650 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  lắng trong nước với độ nhớt tương đối  $\nu = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/s)}$

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 4:

Xác định kích thước của hạt rắn hình cầu lắng trong nước. Cho biết:

- Vận tốc lắng của hạt 0,5 (m/s)
- Khối lượng riêng của hạt rắn 2710 (kg/m<sup>3</sup>),
- Độ nhớt tuyệt đối của nước ở 10(°C) 1,3 (cP).



# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 5:

Một bể lắng huyền phù có vận tốc dòng vào  $0,02 \text{ (m/s)}$ , chiều dài  $20 \text{ (m)}$ , chiều cao  $3 \text{ (m)}$ . Biết khối lượng riêng của hạt rắn  $2710 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , khối lượng riêng của nước  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , độ nhớt tuyệt đối của nước  $1 \text{ (cP)}$ . Dựa vào định luật Stokes xác định kích thước của hạt rắn nhỏ nhất có thể lắng được trong thiết bị đã cho.

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 6:

Giả thiết quá trình lắng diễn ra với  $Re < 0,2$ . Xác định tỉ lệ đường kính hạt xỉ và chì ( $d_1/d_2$ ). Biết rằng, hạt xỉ có khối lượng riêng  $\rho_1=2600$  ( $\text{kg/m}^3$ ), và hạt chì có khối lượng riêng  $\rho_2=7800$  ( $\text{kg/m}^3$ ), nếu cả hai đều lắng cùng một vận tốc:

- a. Trong nước
- b. Trong không khí

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 7:

Một thiết bị lắng bụi nhiều ngăn có năng suất  $5400 \text{ (m}^3/\text{h)}$  có chiều dài  $5,1 \text{ (m)}$ , chiều rộng  $2,5 \text{ (m)}$ , dùng để lắng các hạt bụi có kích thước  $9 \text{ (}\mu\text{m)}$ . Cho biết:

- Độ nhớt của khí  $0,034 \text{ (cP)}$ ;
- Khối lượng riêng của bụi  $4000 \text{ (kg/m}^3)$ ;

Bỏ qua chiều dày của ngăn lắng, xác định số ngăn lắng cần thiết của thiết bị đã cho?

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 8:

Xác định năng suất của thiết bị lắng bụi nhiều tầng có chiều dài 4 (m), chiều rộng 3 (m), được dùng lắng các hạt bụi có kích thước 8 ( $\mu\text{m}$ ). Biết khối lượng riêng của bụi 4000 ( $\text{kg/m}^3$ ), độ nhớt của khí 0,034 (cP), số ngăn lắng  $n=30$ .

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 9:

Cần có chiều cao giữa các ngăn của thiết bị lắng bụi nhiều ngăn là bao nhiêu (m), để có thể lắng được các hạt bụi có đường kính  $8\mu\text{m}$ . Cho biết: thể tích khí ở đktc  $0,6 \text{ (m}^3/\text{s)}$ , nhiệt độ của khí ở trong thiết bị lắng  $427^\circ\text{C}$ . Thiết bị lắng có chiều dài  $4,1 \text{ (m)}$ , chiều rộng  $2,8 \text{ (m)}$ , chiều cao chung  $4,2 \text{ (m)}$ ,

- Độ nhớt của khí  $0,034 \text{ (cP)}$ ;
- Khối lượng riêng của bụi  $4000 \text{ (kg/m}^3)$ ;
- Khối lượng riêng của khí  $0,5 \text{ (kg/m}^3)$ ;
- Bỏ qua chiều dày của ngăn lắng.

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 10:

Năng suất của bể lắng thay đổi như thế nào, nếu nhiệt độ của huyền phù tăng từ 15 (°C) lên 50 (°C). Cả hai trường hợp đều lắng ở chế độ lắng dòng ( $Re < 0,2$ ), cho biết:

- Ở 15 (°C):  $\mu_1 = 1,14$  (cP)
- Ở 50 (°C):  $\mu_2 = 0,5494$  (cP)

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 11:

Xác định khối lượng riêng của huyền phù chứa 10% khối lượng pha rắn. Cho biết tỷ trọng của pha rắn là 3.

# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 12:

Xác định diện tích bề mặt lắng ( $F_o$ ) của một thiết bị lắng huyền phù năng suất 90 (tấn/h). Huyền phù gồm pha liên tục là nước có khối lượng riêng  $1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , pha phân tán là một loại bột nặng có khối lượng riêng  $2830 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ . Nồng độ pha rắn trong hỗn hợp 8%, tốc độ lắng của các hạt rắn trong điều kiện đã cho  $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ (m/s)}$ .



# BÀI TẬP ÁP DỤNG

## Bài 13:

Một xyclon lắng hệ bụi có đường kính 0,6 (m), dùng lắng hỗn hợp bụi là không khí nóng ở 100 °C có khối lượng riêng 0,95 (kg/m<sup>3</sup>). Năng suất của thiết bị 2000 (kg/h). Tốc độ của dòng chảy hỗn hợp trong xyclon 12,5 (m/s). Chiều cao của vỏ hình trụ 1 (m). Đường kính ngoài của ống tâm 0,4 (m). Bỏ qua chiều dày của ống tâm và vỏ hình trụ ngoài của xyclon. Xác định:

- Thời gian lắng của dòng khí trong thiết bị (s)?
- Số vòng quay của dòng khí trong xyclon (v/s)?