

1. MỤC ĐÍCH

- 1) Giúp sinh viên củng cố kiến thức lý thuyết về sự truyền nhiệt đối lưu.
- 2) Giúp sinh viên làm quen với cấu tạo, nguyên lý hoạt động của thiết bị và phương pháp thí nghiệm về sự trao đổi nhiệt đối lưu.
- 3) Khảo sát thực nghiệm hệ số cấp nhiệt ở dòng lưu chất không có biến đổi pha và dòng lưu chất có biến đổi pha với chế độ ngưng tụ chảy màng trong hai trường hợp: đối lưu tự nhiên và đối lưu cưỡng bức.
- 4) So sánh hệ số cấp nhiệt và truyền nhiệt lý thuyết với hệ số cấp nhiệt và truyền nhiệt thực nghiệm.
- 5) Thiết lập cân bằng nhiệt lượng trong quá trình trao đổi nhiệt đối lưu.

2. NỘI DUNG VÀ YÊU CẦU BÀI THÍ NGHIỆM

2.1. Nội dung

Ở bài thí nghiệm này cần đo các đại lượng sau:

- 1) Nhiệt độ vào và ra của dòng lạnh (nước chảy trong ống).
- 2) Nhiệt độ vách ngoài của ống truyền nhiệt (thành ống phía hơi nước ngưng tụ) tại các vị trí tương ứng với đầu vào và đầu ra của dòng lạnh.
- 3) Nhiệt độ, lượng nước ngưng tụ chảy ra và thời gian đo lượng nước ấy.
- 4) Lượng nước chảy trong ống đứng và thời gian đo lượng nước ấy.
- 5) Áp suất hơi bão hoà ngưng tụ trong buồng thí nghiệm.

2.2. Yêu cầu

- 1) Sinh viên phải nắm vững lý thuyết và hiểu rõ cấu tạo, nguyên lý hoạt động của thiết bị cũng như phương pháp thí nghiệm trước khi tiến hành thí nghiệm.
- 2) Thí nghiệm phải có ít nhất 5 người cùng thực hiện để vận hành thiết bị và đo các đại lượng cần thiết.
- 3) Nếu vì lý do nào đó không thực hiện được đầy đủ các bài thí nghiệm theo yêu cầu của bài thí nghiệm thì tối thiểu phải thí nghiệm với vị trí tấm chảy tràn ở các mức: 0; $\frac{1}{2}$; 1; $1\frac{1}{2}$.
- 4) Thí nghiệm phải tiến hành ở chế độ truyền nhiệt ổn định.

3. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Sự truyền nhiệt giữa hơi nước bão hòa ngưng tụ trên bề mặt ngoài ống đứng với dòng nước lạnh chảy trong ống là một dạng truyền nhiệt được đặc trưng bởi hai quá trình: trao đổi nhiệt đối lưu trong trường hợp có biến đổi pha (hơi nước bão hòa ngưng tụ trên bề mặt ống đứng) và trao đổi nhiệt đối lưu ở dòng lưu chất không có biến đổi pha (dòng nước lạnh chảy trong ống). Bỏ qua nhiệt trở thành ống.

Sự ngưng tụ của hơi nước ở thiết bị thí nghiệm được xem như sự ngưng tụ với màng chảy xếp lớp (chảy màng).

Dòng nước lạnh chảy trong ống đứng (gọi tắt là dòng lạnh) được thực hiện với hai chế độ chảy: chuyển động tự nhiên và chuyển động cưỡng bức.

Sơ đồ cơ chế truyền nhiệt đối lưu được biểu diễn ở hình 1.

δ_v , δ_c : bề dày thành ống và bề dày màng nước ngưng tụ, m.

d_{tr} , d_{ng} : đường kính trong và ngoài ống, m.

F_{tr} , F_{ng} : diện tích bề mặt bên trong và bên ngoài ống đứng có chiều cao H.

t_s : nhiệt độ hơi nước bão hòa, °C.

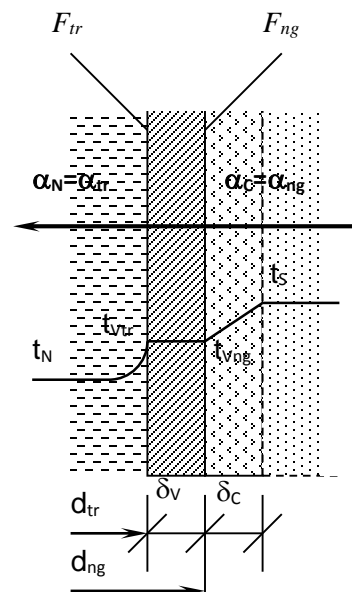
t_N : nhiệt độ trung bình của nước trong ống, °C.

t_{vtr} , t_{vng} : nhiệt độ trung bình của vách trong và vách ngoài ống, °C.

$\alpha_c = \alpha_{ng}$: hệ số cấp nhiệt phía hơi nước ngưng tụ (phía lưu chất bên ngoài), W/m²K.

$\alpha_N = \alpha_{tr}$: hệ số cấp nhiệt phía nước lạnh (phía lưu chất trong ống), W/m²K.

q : mật độ dòng nhiệt truyền qua vách, W/m².



Hình 1: Sơ đồ cơ chế truyền nhiệt đối lưu

3.1. Phương trình cân bằng nhiệt

Nhiệt lượng dòng nước lạnh nhận được:

$$Q_1 = G_N C_{PN} (t_3 - t_1), \text{ W} \quad (1)$$

Nhiệt lượng tỏa ra khi hơi nước ngưng tụ:

$$Q_2 = G_C [r + C_{PC} (t_s - \bar{t}_c)], \text{ W} \quad (2)$$

Trong trường hợp truyền nhiệt ổn định và không có tổn thất nhiệt, ta có phương trình cân bằng nhiệt sau:

$$Q = Q_1 = Q_2 = G_N C_{PN} (t_3 - t_1) = G_C [r + C_{PC} (t_s - \bar{t}_c)], \text{ W} \quad (3)$$

Trong đó:

G_N , G_C : Lưu lượng khối của dòng nước trong ống và dòng nước ngưng tụ, kg/s

t_1 , t_3 : nhiệt độ đầu và cuối của dòng nước chảy trong ống, °C.

t_S : nhiệt độ hơi nước bão hòa ngưng tụ ở áp suất thí nghiệm, °C.

$\overline{t_C}$: nhiệt độ trung bình của nước ngưng tụ, °C.

$$\overline{t_C} = \frac{t_S + t'_C}{2}, \text{ °C} \quad (4)$$

t'_C : nhiệt độ nước ngưng tụ chảy ra (trong thực tế t'_C là nhiệt độ quá lạnh của nước ngưng tụ).

C_{PN} : nhiệt dung riêng của nước chảy trong ống, xác định ở nhiệt độ trung bình của nước, J/kgK.

$$\overline{t_N} = \frac{t_1 + t_3}{2}, \text{ °C} \quad (5)$$

C_{PC} : nhiệt dung riêng của nước sau khi ngưng tụ ở nhiệt độ $\overline{t_C}$, J/kgK.

r : ẩn nhiệt ngưng tụ của hơi nước bão hòa ở nhiệt độ t_S , J/kg.

Sự cân bằng nhiệt cũng có thể được biểu diễn bằng phương trình truyền nhiệt đối lưu ở chế độ ổn định và không có tổn thất nhiệt:

$$Q' = Q'_1 = Q'_2$$

Trong đó:

$$Q'_1 = q_{tr} \cdot F_{tr} = \alpha_{tr} \cdot (t_{Vtr} - \overline{t_N}) \cdot F_{tr}, \text{ W}$$

$$\Rightarrow \alpha_{tr} = \frac{Q'_1}{(t_{Vtr} - \overline{t_N}) F_{tr}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (6)$$

$$Q'_2 = q_{ng} F_{ng} = \alpha_{ng} (t_S - t_{Vng}) F_{ng}, \text{ W}$$

$$\Rightarrow \alpha_{ng} = \frac{Q'_2}{(t_S - t_{Vng}) F_{ng}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (7)$$

Theo lý thuyết :

$$Q'_1 = Q'_2 = Q_1 = Q_2 = Q$$

Từ 2 công thức (6) và (7) có thể xác định hệ số cấp nhiệt thực nghiệm phía dòng lạnh trong ống (α_{tr}) và hệ số cấp nhiệt phía hơi nước bão hòa ngưng tụ trên bề mặt ngoài ống (α_{ng}).

Trong trường hợp nhiệt trở của vách truyền nhiệt không đáng kể (ống đồng có hệ số dẫn nhiệt lớn: $\lambda_V = 1272 \text{ W/mK}$ và thành ống mỏng), ta có:

$$\overline{t_{Vtr}} \approx \overline{t_{Vng}} = \frac{t_2 + t_4}{2}, \text{ °C} \quad (8)$$

$\overline{t_{Vtr}}, \overline{t_{Vng}}$: nhiệt độ trung bình tại vách trong và vách ngoài ống truyền nhiệt, °C.

t_2, t_4 : nhiệt độ tại thành ngoài ở đầu vào (đầu dưới) và đầu ra (đầu trên) của ống, °C.

3.2. Hệ số truyền nhiệt tổng quát

$$K = \frac{Q}{F_{tr} \cdot \Delta t_{\log}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (9)$$

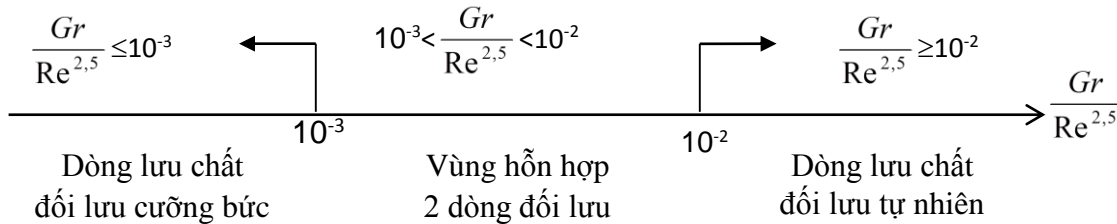
Q: nhiệt lượng tính theo công thức (1).

$$\Delta t_{\log} = \frac{(t_S - t_3) - (t_S - t_1)}{\ln \frac{(t_S - t_3)}{(t_S - t_1)}}, \text{ K} \quad (10)$$

3.3. Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu (hệ số cấp nhiệt) phía dòng nước lạnh chảy trong ống (α_N hay α_{tr})

Hệ số cấp nhiệt α_N (hay α_{tr}) được xác định tùy thuộc vào dạng trao đổi nhiệt (đối lưu tự nhiên hay đối lưu cưỡng bức) và chế độ chảy của dòng lưu chất: chảy xấp lớp (chảy màng), chảy rối hay chế độ chuyển tiếp. Dòng lưu chất đối lưu tự nhiên hay cưỡng bức có thể phân biệt dựa theo giá trị của tỷ số

$$\frac{Gr}{Re^{2,5}}.$$



Ở đây:

$$Re = \frac{wd_{tr}}{\nu} = \frac{4G_N}{\pi d_{tr} \rho \nu} \quad (11)$$

Với:

w : vận tốc dòng, m/s.

ν : độ nhớt động học của lưu chất, m²/s.

ρ : khối lượng riêng của lưu chất, kg/m³.

a) Trường hợp đối lưu tự nhiên

Hệ số cấp nhiệt α_N (hay α_{tr}) ở trường hợp đối lưu tự nhiên được xác định từ chuẩn số Nusselt (Nu):

$$Nu = \frac{Gr \cdot Pr}{32} \cdot \frac{d_{tr}}{H} \cdot \left\{ 1 - \exp \left[-16 \cdot \left(\frac{H}{d_{tr}} \cdot \frac{1}{Gr \cdot Pr} \right)^{0,75} \right] \right\} \quad (12)$$

Trong đó :

$$Nu = \frac{\alpha_N d_{tr}}{\lambda} = \frac{\alpha_{tr} d_{tr}}{\lambda} \quad (12a)$$

$$Gr = \frac{\beta g d_{tr}^3 \Delta t}{\gamma^2} \quad (12b)$$

$$\Delta t = t_{vir} - \overline{t_N}$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (\text{tra bảng})$$

Các thông số vật lý của nước được xác định ở nhiệt độ trung bình: $\overline{t_N} = \frac{t_1 + t_3}{2}$, °C.

b) Trường hợp đối lưu cưỡng bức

- Ở chế độ chảy màng ($Re < 2300$) với $Re.Pr. \frac{d_{tr}}{H} > 10$

$$Nu = 1,86 \cdot \left(Re.Pr. \frac{d_{tr}}{H} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_{vir}} \right)^{0,14} \quad (13)$$

Các thông số vật lý xác định ở nhiệt độ trung bình $\overline{t_N} = \frac{t_1 + t_3}{2}$, °C. Riêng μ_{vir} được xác định ở nhiệt độ trung bình của vách trong t_{vir} .

- Ở chế độ chuyển tiếp ($2,300 < Re < 10.000$) với $0,7 < Pr < 120$ và $\frac{H}{d} > 50$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{1/3} \quad (14)$$

Nếu bỏ qua ảnh hưởng của lực nâng với dòng chảy ta có thể áp dụng công thức của Mikhaev để tính Nu^* :

$$M = \frac{Nu^*}{Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_{vir}} \right)^{0,14}} = f(Re) \quad (15)$$

Giá trị thực nghiệm của M được cho trong bảng 1.

Bảng 1

Re.10 ⁻³	2,2	2,3	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	9	10
M	2,2	3,6	4,9	7,5	10	12,2	16,5	20	24	27	30	33

3.4. Hệ số cấp nhiệt phía hơi nước ngưng tụ

Hệ số cấp nhiệt trong trường hợp ngưng tụ hơi tinh khiết bão hòa được xác định tùy thuộc vào chế độ chảy của dòng lỏng ngưng tụ.

Các trường hợp chất ngưng tụ chảy màng, hệ số cấp nhiệt khi ngưng tụ hơi tinh khiết trên bề mặt ống đứng được xác định theo công thức lý thuyết của Nusselt (xác lập bằng phương pháp giải tích):

$$\alpha_c = 0,943 \left(\frac{gr_s \rho_c^2 \lambda_c^3}{\mu_c H \Delta t} \right)_m^{0,25} \quad (16)$$

Ở đây:

$$\Delta t = t_s - \overline{t_{vng}} = \left(t_s - \frac{t_2 + t_4}{2} \right), \text{ K}$$

Các thông số vật lý được xác định ở nhiệt độ trung bình : $t_m = \frac{t_s + \overline{t_{vng}}}{2}$, °C. Riêng r_s được xác định ở nhiệt độ t_s đối với hơi nước bão hòa.

Công thức (16) có thể biến đổi về dạng phương trình tiêu chuẩn đồng dạng sau:

$$\begin{aligned} Nuc = \frac{\alpha_c H}{\lambda_c} &= 0,943 \left[\frac{gH^3}{\nu_c^2} \cdot \frac{\nu_c}{\frac{\lambda_c}{\rho_c C_{PC}}} \cdot \frac{r_s}{C_{PC}(t_s - \overline{t_{vng}})} \right]_m^{0,25} \\ &= 0,943 (Ga_c.Pr_c.K)_m^{0,25} = 0,943 (K_0)_m^{0,25} \end{aligned} \quad (17)$$

Ở đây:

$$K = \frac{r_s}{C_{PC}(t_s - \overline{t_{vng}})} \text{ là chuẩn số đồng dạng của Kutatelagze.}$$

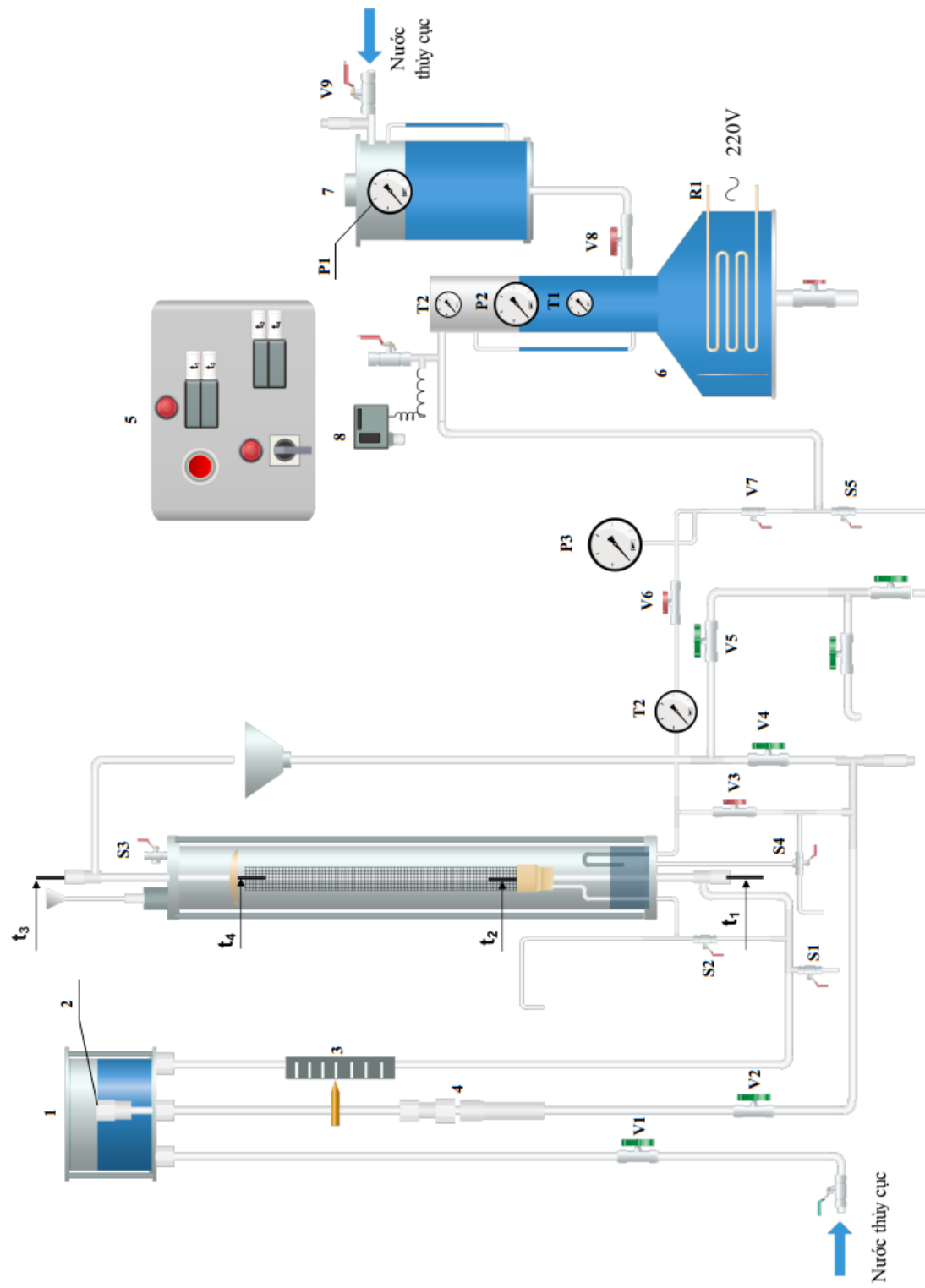
Trường hợp nước ngưng tụ chảy màng không phụ thuộc vào vận tốc (tức không phụ thuộc vào Re), hệ số cấp nhiệt phía hơi nước ngưng tụ chảy màng có thể xác định từ chuẩn số Nu theo công thức thực nghiệm sau đây:

$$Nu_c^* = 0,42 (Ga.Pr.K)_s^{0,28} \left(\frac{\mu_s}{\mu_{vng}} \right)^{0,25} = 0,42 (K_0)_s^{0,28} \left(\frac{\mu_s}{\mu_{vng}} \right)^{0,25} \quad (18)$$

Khác với công thức (16) ở đây các thông số vật lý được xác định ở nhiệt độ t_s . Riêng Pr_{vng} xác định ở nhiệt độ trung bình của vách ngoài

$$t_{vng} = \frac{t_2 + t_4}{2}, \text{ °C}$$

4. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM



Hình: Sơ đồ hệ thống thí nghiệm đối lưu nhiệt

Chú thích:

- 1) Bình chảy tràn
 - 2) Tấm chảy tràn
 - 3) Vị trí điều chỉnh tấm chảy tràn
 - 4) Cơ cấu điều chỉnh tấm chảy tràn
 - 5) Tủ điện
 - 6) Nồi hơi
 - 7) Bình chứa nước
 - 8) Van an toàn
- T1, T2, T3: Đồng hồ đo nhiệt độ
P1, P2, P3: Đồng hồ đo áp suất
 t_1, t_2, t_3, t_4 : Cảm biến nhiệt độ
R1: Điện trở nôi đun.

Ở thiết bị thí nghiệm, quá trình truyền nhiệt xảy ra trên ống đồng đặt đứng với kích thước như sau:

- Chiều cao : $H = 60,96 \text{ cm} = 0,61 \text{ m}$
- Đường kính ngoài : $d_{ng} = 15,8 \text{ mm} = 0,0158 \text{ m}$
- Đường kính trong : $d_{tr} = 13,8 \text{ mm} = 0,0138 \text{ m}$
- Bề dày thành ống : $\delta = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$
- Hệ số dẫn nhiệt của ống đồng : $\lambda = 1272 \text{ W/m.K}$

5. PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

5.1. Chuẩn bị

a) Chuẩn bị dụng cụ và điều kiện thí nghiệm

- 1) Chuẩn bị ống đong đo lượng nước ngưng tụ, (1000 ml)
- 2) Chuẩn bị ống đong đo lượng nước chảy trong ống, (100 ml)
- 3) Chuẩn bị nhiệt kế đo nhiệt độ nước ngưng tụ chảy ra, (0 – 100 ° C)
- 4) Chuẩn bị hai đồng hồ bấm giây để đo thời gian nước chảy trong ống và thời gian nước ngưng tụ chảy ra.
- 5) Kiểm tra nguồn điện, nguồn nước và các dụng cụ đo trên thiết bị thí nghiệm.
- 6) Lập bảng ghi kết quả đo

b) Chuẩn bị cấp nước lạnh

- 1) Khóa các van V_4 , V_8 , S_1 , S_2 và mở các van V_2 , V_5 , V_{11} và S_5 .
- 2) Điều chỉnh tấm chảy tràn ở vị trí mong muốn theo yêu cầu của bài thí nghiệm.
- 3) Mở van V_{13} cấp nước nguồn vào hệ thống và điều chỉnh van V_1 để giữ mực nước ổn định ở bình chảy tràn.
- 4) Mở van V_{13} cấp nước vào bình chứa đến 3/4 chiều cao bình và mở nắp bình. Mở từ từ van V_8 cấp nước cho nồi đun và khóa van V_8 khi mức nước trong nồi đun đạt 2/3 chiều cao ống chỉ mức.

c) Chuẩn bị cấp hơi nước

- 1) Khóa các van S_3 , S_5 , V_3 , V_6 và V_7 .
- 2) Mở van S_4 xả hết nước ngưng dư rồi khóa lại.
- 3) Bật công tắc “ ĐIỆN TRỞ ” cấp điện để gia nhiệt cho nồi hơi cho đến khi áp suất trong nồi hơi đạt khoảng 15 PSI.

5.2. Tiến hành thí nghiệm

- 1) Đặt thang đo đúng vị trí và điều chỉnh dòng nước lạnh chảy trong ống theo yêu cầu của bài thí nghiệm.
- 2) Khi áp suất trong nồi đun đạt 15 PSI, mở hoàn toàn van V_7 và mở từ từ van V_6 điều chỉnh để điều chỉnh áp suất ở đồng hồ P_3 khoảng 10 PSI - Van V_6 phải mở để đủ hơi ngưng tụ trên bề mặt ống truyền nhiệt .
- 3) Khi quá trình truyền nhiệt đạt chế độ ổn định, tiến hành đo đồng loạt các đại lượng:
 - Lượng nước ngưng tụ chảy ra trong một khoảng thời gian nhất định và nhiệt độ của nước ngưng tụ.
 - Lượng nước chảy trong ống trong một khoảng thời gian nhất định.

- Nhiệt độ đầu và cuối của dòng nước chảy trong ống, (đồng hồ hiện số t_1, t_3)
- Nhiệt độ tại thành ngoài ở đầu vào (đầu dưới) và đầu ra (đầu trên) của ống (đồng hồ hiện số t_2, t_4)
- Áp suất trong bình chứa (áp kế P_1).
- Áp suất trong nồi hơi (áp kế P_2).
- Áp suất hơi đi vào buồng trao đổi nhiệt (áp kế P_3).
- Nhiệt độ nước trong nồi hơi (đồng hồ nhiệt độ T_1).
- Nhiệt độ của hơi trong nồi hơi (đồng hồ đo nhiệt độ T_2).
- Nhiệt độ hơi đi vào buồng trao đổi nhiệt (đồng hồ nhiệt độ T_3).
- Trong khi đo thường xuyên quan sát mức nước ở bình chảy tràn và mức nước trong nồi hơi.

5.3. Ngừng thí nghiệm để chuyển sang thí nghiệm khác

- 1) Sau khi đo xong, ngắt điện cấp cho nồi hơi, đóng các van V_6, V_7 , mở van xả hơi S_5 . Nạp nước vào bình chứa. Mở van V_8 cấp nước cho nồi hơi rồi khóa V_8 lại, khóa van xả hơi S_5 .
- 2) Khóa van V_1 , mở vòi xả S_4 để xả hết nước nóng trong buồng trao đổi nhiệt rồi khóa vòi S_4 lại.
- 3) Chuyển vị trí tấm chảy tràn theo yêu cầu của thí nghiệm tiếp theo và lặp lại quy trình thao tác như ở thí nghiệm trước.
- 4) Những thí nghiệm được tiến hành với các vị trí ống chảy tràn như sau:
 - Vị trí “0”: đối lưu tự nhiên
 - Vị trí $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$; 1; $1\frac{1}{4}$; và $1\frac{1}{2}$ (inch): đối lưu cưỡng bức.

5.4. Kết thúc thí nghiệm

Trình tự thao tác khi kết thúc thí nghiệm:

- 1) Tắt công tắc “ĐIỆN TRỞ” ngừng cấp điện cho nồi hơi
- 2) Mở van S_5 để xả hết hơi còn lại trong nồi hơi,
- 3) Xả hết nước lạnh còn lại trên đường ống
- 4) Khóa van V_{13} ngừng cấp nước nguồn vào hệ thống;
- 5) Khóa và mở các van đúng như hiện trạng trước khi làm thí nghiệm
- 6) Ngắt nguồn điện vào hệ thống.
- 7) Vệ sinh sạch sẽ tại vị trí của bài thí nghiệm, sắp xếp dụng cụ thí nghiệm ngăn nắp, trả về hiện trạng ban đầu.

⚡ Lưu ý : trong quá trình làm thí nghiệm nếu có sự cố nào về hệ thống thiết bị thí nghiệm thì có thể nhấn ngay nút “ DỪNG KHẨN “ và sau đó báo cho CB trực Phòng thí nghiệm để xử lý.

5.5. Lập bảng kết quả đo

Bảng 2

Số TT	Các đại lượng đo	Vị trí tấm chảy tràn (inch)						
		0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
1	t_1 (°C)							
2	t_2 (°C)							
3	t_3 (°C)							
4	t_4 (°C)							
5	Nhiệt độ theo T_1 (°F)							
6	Nhiệt độ theo T_2 (°F)							
7	Nhiệt độ theo T_3 (°F)							
8	Áp suất theo P_1 (PSI)							
9	Áp suất theo P_2 (PSI)							
10	Áp suất theo P_3 (PSI)							
11	Lượng nước ngưng (ml)							
12	Thời gian đo lượng nước ngưng (s)							
13	Nhiệt độ nước ngưng t'_c (°C)							
14	Lượng nước chảy trong ống (ml)							
15	Thời gian đo nước chảy trong ống (s)							

Ghi chú: Ghi lại những điều bất thường xảy ra trong quá trình thí nghiệm (nếu có).

6. PHÚC TRÌNH

6.1. Xử lý sơ bộ kết quả đo

Từ kết quả đo ghi trong bảng 2, thực hiện việc chuyển đổi đơn vị đo nhiệt độ, áp suất, tính lưu lượng nước và đưa kết quả vào bảng 3.

Bảng 3

Số TT	Các đại lượng đo	Vị trí tấm chảy tràn (inch)						
		0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
1	t_1 (°C)							
2	t_2 (°C)							
3	t_3 (°C)							
4	t_4 (°C)							
5	t'_C (°C)							
6	P_s (bar)							
7	t_s (°C)							
8	$\overline{t_N} = \frac{t_1 + t_3}{2}$, °C							
9	$\overline{t_{Vng}} = \frac{t_2 + t_4}{2}$, °C							
10	$\overline{t_{Vtr}} \approx \overline{t_{Vng}}$ (°C)							
11	$t_m = \frac{t_s + \overline{t_{Vng}}}{2}$, °C							
12	$\overline{t_C} = \frac{t_s + t'_C}{2}$, °C							
13	$\Delta t = \overline{t_{Vtr}} - \overline{t_N}$, K							
14	G_N (kg/s)							
15	G_C (kg/s)							

6.2. Xác định các thông số phục vụ tính toán

Các thông số vật lý tham gia trong các công thức tính toán gồm có:

- 1) Các thông số vật lý của nước chảy trong ống: C_{PN} , ρ , ν , β , μ , μ_{Vtr} , Pr . Các thông số này được xác định ở nhiệt độ trung bình của nước chảy trong ống: $\overline{t_N} = \frac{t_1 + t_3}{2}$ (bảng 3).

Riêng Pr_{Vtr} xác định ở nhiệt độ: $\overline{t_{Vtr}} \approx \overline{t_{Vng}}$

- 2) Các thông số của nước ngưng tụ ở áp suất thí nghiệm: λ_C , ρ_C , ν_C , C_{PC} , λ_S , ρ_S , C_{PS} , Pr_S , Pr_{Vng} .

- Các thông số có chỉ số "c" xác định ở nhiệt độ trung bình: $t_m = \frac{t_s + \overline{t_{Vng}}}{2}$ (bảng 3)

- Các thông số có chỉ số "s" xác định ở nhiệt độ t_s

- Các thông số có chỉ số " v_{ng} " xác định ở nhiệt độ t_{vng}
- 3) Các thông số vật lý của hơi nước bão hòa ở áp suất thí nghiệm:
- r_s xác định ở nhiệt độ t_s đối với hơi nước bão hòa.

Kết quả xác định các thông số vật lý được đưa vào bảng 4.

Bảng 4

Số TT	Các thông số vật lý		Vị trí tấm chảy tràn (inch)					
			0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4
1	Nước chảy trong ống	C_{PN} (J/kgK)						
2		λ (W/mK)						
3		ρ (kg/m ³)						
4		ν (m ² /s)						
5		β (1/K)						
6		μ (NS/m ²)						
7		μ_{tr} (NS/m ²)						
8	Nước ngưng tụ	λ_C (W/mK)						
9		ρ_C (kg/m ³)						
10		μ_C (NS/m ²)						
11		ν_C (m ² /s)						
12		C_{PC} (J/kgK)						
13		λ_S (W/mK)						
14		Pr_s						
15		Pr_{vng}						
16		ρ_s (kg/m ³)						
17		C_{PS} (J/kgK)						
18	Hơi nước bão hòa	R_s (J/kg)						

6.3. Tính toán nhiệt lượng, xác định tổn thất nhiệt

- Nhiệt lượng Q_1 tính theo công thức (1)
- Nhiệt lượng Q_2 tính theo công thức (2)
- Tổn thất nhiệt tính theo: $\Delta Q = Q_2 - Q_1$

- Tỷ lệ tổn thất nhiệt: $\Delta Q (\%) = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100\%$

Kết quả tính toán đưa vào bảng 5.

Bảng 5

Số TT	Nhiệt lượng	Vị trí tấm chảy tràn (inch)						
		0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
1	Q_1 (W)							
2	Q_2 (W)							
3	ΔQ (W)							
4	ΔQ (%)							

6.4. Tính toán xác định hệ số cấp nhiệt phía nước chảy trong ống

- Ở trường hợp đối lưu tự nhiên (ứng với thí nghiệm ở vị trí “0” của tấm chảy tràn), Nu và α_N (α_{tr}) tính toán theo công thức (12).
- Trường hợp đối lưu cưỡng bức (ứng với thí nghiệm ở vị trí 1/4 “; 1/2”; 3/4”; 1”; 1 1/4”; 1 1/2” của tấm chảy tràn) Nu và α_N (α_{tr}) tính toán theo công thức (13) hoặc (14) tùy theo chế độ chảy cụ thể.
- Các giá trị α_N (α_{tr}) tính toán trong 2 trường hợp trên được gọi là hệ số cấp nhiệt tính toán (α_{tr})_{tt} hay (α_N)_{tt}. Giá trị của α_N (α_{tr}) xác định từ công thức (6) gọi là hệ số cấp nhiệt thực nghiệm (α_N)_m hay (α_{tr})_m.

Kết quả tính được đưa vào bảng 6.

6.5. Tính toán xác định hệ số cấp nhiệt phía nước ngưng tụ

- Trường hợp nước ngưng tụ chảy màng, hệ số cấp nhiệt α_C tính theo công thức (16) hoặc suy ra từ Nu trong công thức (17). Hệ số α_C hoặc Nu tính theo công thức (16) và (17) gọi là giá trị tính toán: (α_C)_{tt}, (Nu)_{tt}.
- Hệ số cấp nhiệt thực nghiệm (α_C)_m phía hơi nước ngưng tụ được tính theo công thức (7).

Kết quả tính toán được đưa vào bảng 6.

6.6. Tính hệ số truyền nhiệt tổng quát

- Hệ số truyền nhiệt tổng quát được tính theo công thức:

$$K_{tt} = \frac{1}{\frac{1}{(\alpha_N)_{tt}} + \frac{1}{(\alpha_C)_{tt}}} = \frac{(\alpha_N)_{tt} \cdot (\alpha_C)_{tt}}{(\alpha_N)_{tt} + (\alpha_C)_{tt}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (19)$$

Ở đây:

K_{tt} là hệ số truyền nhiệt tính toán (tính theo (α_N)_{tt} và (α_C)_{tt}, bỏ qua ảnh hưởng của nhiệt trở thành ống δ_V/λ_V).

- Hệ số truyền nhiệt thực nghiệm K_{TN} được tính theo công thức (9), trong đó $Q = Q_I$.
- Tính hệ số truyền nhiệt có kể đến ảnh hưởng của nhiệt trở thành ống δ_V/λ_V :


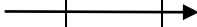
$$K'_{tt} = \frac{1}{\frac{1}{(\alpha_N)_{tt}} + \frac{\delta_V}{\lambda_V} + \frac{1}{(\alpha_C)_{tt}}}, \text{ W/m}^2\text{K} \quad (20)$$

Tính toán so sánh K_{tt} với K'_{tt}

$$\frac{K'_{tt}}{K_{tt}} = \frac{1}{1 + \frac{\delta_V}{\lambda_V} K_{tt}}, \quad \frac{\delta_V}{\lambda_V} = \text{const} \quad (21)$$

Kết quả tính toán các hệ số truyền nhiệt được đưa vào bảng 6.

Bảng 6

Số TT	Các đại lượng		Công thức	Vị trí tấm chảy tràn (inch)						
				0	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2
1	Trao đổi nhiệt phía nước chảy trong ống	Pr	tra bảng							
2		Pr_{Vtr}	tra bảng							
3		Re	(11)							
4		Gr	(12b)							
5		Nu_N	(12), (13)	(12)	(13)					
6		$(\alpha_N)_{TT}$ hay $(\alpha_{TR})_{TT}$, W/m ² K	(12), (13)	(12)	(13)					
7		$(\alpha_N)_m$ hay $(\alpha_{tr})_m$, W/m ² K	(6)							
8	Trao đổi nhiệt phía nước ngưng tụ	$(\alpha_C)_{tt}$, W/m ² K	(16)							
9		$(\alpha_C)_m$, W /m ² K	(7)							
10		$(Nu_C)_{tt}$	(17)							
11	Truyền nhiệt tổng quát	$Q = Q_I$, W	(1)							
12		Δt_{\log} , K	(10)							
13		K_{TT} , W/m ² K	(19)							
14		K_{TN} , W/m ² K	(9)							
15		K'_{TT} , W/m ² K	(20)							
16		K'_{TT}/K_{TT}	(21)							

6.7. Đồ thị

Dựa vào kết quả tính toán trong bảng 6 vẽ các đồ thị biểu diễn các mối quan hệ sau:

- $Nu_N = f(Re)$

- $K_{tt} = f(Re)$

Các mối tương quan so sánh:

- $(\alpha_N)_{tt}$ và $(\alpha_N)_{TN}$
- $(\alpha_C)_{tt}$ và $(\alpha_C)_{TN}$
- K_{tt} và K_{TN}

6.8. Bàn luận

Sau khi tính toán và vẽ các đồ thị sinh viên tự đưa ra những nhận xét, đánh giá và bàn luận về kết quả thí nghiệm. Các nội dung cần đề cập đến có thể là:

- 1) Giải thích tại sao khi thí nghiệm với vị trí tấm chảy tràn ở mức “0” mà nước trong ống vẫn chảy ra.
- 2) Nhận xét về mức độ tổn thất nhiệt
- 3) Nhận xét và giải thích về ảnh hưởng của vị trí tấm chảy tràn lên các hệ số α_{tr} , α_{ng} và K .
- 4) So sánh và giải thích mối tương quan giữa giá trị tính toán và giá trị thực nghiệm của hệ số cấp nhiệt phía nước trong ống, phía nước ngưng tụ ngoài ống và hệ số truyền nhiệt tổng quát
- 5) Nhận xét về sự ảnh hưởng của nhiệt trở thành ống $\left(\frac{\delta_v}{\lambda_v} \right)$
- 6) Nhận xét về độ tin cậy của kết quả thí nghiệm, ước lượng sai số và nêu những nguyên nhân dẫn đến sai số.

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. P. Isachenko, V. A. Osipova, A. S. Sukomel, “Heat transfer”, Moscow, 1977.
 [2] Phạm Văn Bôn, Nguyễn Đình Thọ, “Quá trình và thiết bị truyền nhiệt”, ĐHBK Tp. HCM, 1992.
 [3] Hoàng Đình Tín, “Truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt”. ĐHBK. Tp. HCM, 1996.

.....

8. CÂU HỎI CHUẨN BỊ

- 1) Phân biệt dòng lưu chất chuyển động tự nhiên (đối lưu tự nhiên) và chuyển động cưỡng bức (đối lưu cưỡng bức)?
- 2) Bản chất của sự trao đổi nhiệt đối lưu. Phân biệt đối lưu tự nhiên với đối lưu cưỡng bức. Cho ví dụ minh họa.
- 3) Giải thích ý nghĩa của hệ số dẫn nhiệt (λ), hệ số cấp nhiệt (α) và hệ số truyền nhiệt (K)?

- 4) Chuẩn số Grasshof (Gr) là chuẩn số đồng dạng đặc trưng cho đối lưu nhiệt tự nhiên hay đối lưu nhiệt cưỡng bức? Nêu ý nghĩa vật lý của chuẩn số Gr?
- 5) Cho biết ý nghĩa vật lý của các chuẩn số đồng dạng sau đây: Re, Pr, Ga, K, Nu?
- 6) Trong bài thí nghiệm, hãy cho biết quá trình trao đổi nhiệt nào là quá trình đối lưu nhiệt và cho biết sự khác biệt căn bản giữa các dạng đối lưu nhiệt đó?
- 7) Nusselt thiết lập công thức tính hệ số cấp nhiệt α (công thức 16) với những giả thiết như thế nào về quá trình trao đổi nhiệt đối lưu ở môi trường hơi tinh khiết ngưng tụ?
- 8) Cho biết chức năng của: bình chứa, nồi hơi, buồng trao đổi nhiệt và bình chảy tràn?
- 9) Anh chị hiểu như thế nào về vị trí tấm chảy tràn ở mức “0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{1}{4}$, $1\frac{1}{2}$ ”? Những con số này có ý nghĩa gì?
- 10) Theo Anh chị, trước khi thí nghiệm, nếu tấm chảy tràn để ở vị trí “0” và cấp đủ nước cho bình chảy tràn thì nước có chảy trong ống đứng và thoát ra ngoài không? Hãy phán đoán xem khi tiến hành thí nghiệm với tấm chảy tràn ở vị trí “0” thì nước trong ống đứng có chảy ra không? Tại sao?
- 11) Trong bài thí nghiệm, dòng lưu chất nào chảy trong ống và lưu chất nào phía ngoài ống truyền nhiệt? Khi thí nghiệm, hiện tượng gì sẽ xảy ra trên bề mặt ống đặt trong buồng trao đổi nhiệt?
- 12) Khi thí nghiệm, áp suất trong buồng trao đổi nhiệt vào khoảng bao nhiêu? Tại sao biết?
- 13) Hãy chỉ rõ đường đi của dòng nước lạnh. Hãy đặt ống nghiệm để đo lượng nước đó?
- 14) Hãy chỉ rõ đường đi của hơi cấp vào buồng trao đổi nhiệt. Hãy đặt ống nghiệm vào đúng vị trí để đo lượng nước ngưng tụ chảy ra?
- 15) Hãy giải thích lý do bố trí ống cấp hơi vào buồng trao đổi nhiệt như ở thiết bị thí nghiệm?
- 16) Hãy cho biết quy trình cấp nước vào ống thí nghiệm?
- 17) Hãy cho biết quy trình cấp hơi nước vào buồng thí nghiệm?
- 18) Lượng nước cấp cho bình chứa và nồi hơi bao nhiêu là vừa theo quy định của bài thí nghiệm? Tại sao không được cấp nước vào đáy nồi hơi?
- 19) Sau khi kết thúc một thí nghiệm, muốn cấp nước vào nồi hơi để làm thí nghiệm tiếp theo thì làm thế nào?
- 20) Hãy cho biết các đại lượng nào cần đo khi làm thí nghiệm? Đo bằng các dụng cụ đo nào?
- 21) Các nhiệt độ t_1 , t_2 , t_3 , t_4 là nhiệt độ của cái gì? Vị trí đo ở đâu?
- 22) Đơn vị đo ở các đồng hồ đo nhiệt độ là gì? Cách quy đổi ra nhiệt độ $^{\circ}\text{C}$?
- 23) Đơn vị đo áp suất ở các áp kế trên các thiết bị thí nghiệm là gì? Cách quy đổi ra bar, at hoặc mmHg? Áp suất đọc được trên đồng hồ là áp suất gì? (áp suất dư hay áp suất tuyệt đối).
- 24) Em hiểu thế nào là truyền nhiệt ở chế độ ổn định? Trong quá trình thí nghiệm, các đại lượng sẽ được đo ở chế độ truyền nhiệt ổn định hay không ổn định? Dấu hiệu nào cho biết thời điểm sẽ tiến hành đo đồng loạt các đại lượng cần đo?

- 25) Khi đang thí nghiệm, nếu nước ngừng cấp vào bình chảy tràn thì phải xử lý như thế nào trong tình huống đó?
- 26) Nếu không có máy nén khí để tạo áp suất cho bình chứa thì việc cấp nước cho nồi hơi có thể thực hiện bằng cách nào trong thí nghiệm đầu tiên và khi chuyển sang chế độ thí nghiệm khác?
- 27) Khi áp suất trong nồi hơi cao hơn 15PSI thì phải xử lý như thế nào?