

$pV = GRT$ với G là khối lượng [kg], $R = 8314/u$ [J/kg.K] với u là khối lượng mol khí

$$\bullet \quad x = \frac{G_h}{G_x} = \frac{G_h}{G_n + G_h}$$

CÁC QUÁ TRÌNH NHIỆT ĐỘNG CƠ BẢN CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

Định luật nhiệt động 1:

$$\bullet \quad dq = du + pdv; \quad dq = di - vdp$$

Công thức xác định biến thiên u, i :

$$\bullet \quad du = C_v dT; \quad di = C_p dT$$

Quá trình đa biến:

$$1) \quad pV^n = const \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^n; \quad \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$2) \quad p_1 V_1 = RT_1; p_2 V_2 = RT_2 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$3) \quad \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v} = n; \quad \frac{di}{du} = \frac{C_p}{C_v} = k \Rightarrow C_n = C_v \frac{n-k}{n-1}$$

$$4) \quad q = \Delta u + l_{12} \Rightarrow l_{12} = q - \Delta u = (C_n - C_v)(T_2 - T_1)$$

$$5) \quad C_v = \frac{R}{k-1} \Rightarrow l_{12} = \frac{R}{n-1}(T_1 - T_2) = \frac{RT_1}{n-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$6) \quad \text{Công kỹ thuật: } l_{kt1-2} = n.l_{12}$$

$$7) \quad \text{Nhiệt trao đổi với môi trường: } q = C_n(T_2 - T_1) \Rightarrow Q = Gq = GC_n(T_2 - T_1)$$

$$8) \quad \text{Biến thiên Entropi: } ds = \frac{dq}{T} = C_n \frac{dT}{T} \Rightarrow \Delta s = C_n \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$$

1

Quá trình đoạn nhiệt: (không có sự trao đổi nhiệt với môi trường $C_n=0$)

$$\bullet \quad dq = 0 \Rightarrow C_n = \frac{dq}{dT} = 0 \Rightarrow n = \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v} = k$$

Thay $n = k$ trong các công thức phương trình đa biến

$$1) \quad pV^k = const \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k; \quad \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}}$$

$$2) \quad p_1 V_1 = RT_1; p_2 V_2 = RT_2 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$3) \quad q = \Delta u + l_{12} \Rightarrow l_{12} = -\Delta u = -C_v(T_2 - T_1)$$

$$4) \quad C_v = \frac{R}{k-1} \Rightarrow l_{12} = \frac{R}{k-1}(T_1 - T_2) = \frac{RT_1}{k-1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

$$5) \quad \text{Công kỹ thuật: } l_{kt1-2} = k.l_{12}$$

$$6) \quad \text{Nhiệt trao đổi với môi trường: } q = 0; \quad Q = 0$$

$$7) \quad \text{Biến thiên Entropi: } ds = \frac{dq}{T} = 0 \Rightarrow \Delta s = 0$$

Quá trình đẳng nhiệt: (không có sự biến thiên nhiệt độ $C_n = \pm \infty$)

$$\bullet \quad dT = 0 \Rightarrow C_n = \frac{dq}{dT} = \pm \infty \Rightarrow n = \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v} = 1$$

Thay $n = 1$ trong các công thức của quá trình đa biến

$$1) \quad pV = const \Rightarrow \frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$2) \quad T = const \Rightarrow T_2 = T_1$$

2

$$3) \quad q = \Delta u + l_{12}; \Delta u = C_v dT \Rightarrow l_{12} = q$$

$$4) \quad l_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} = RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = RT \ln \left(\frac{p_1}{p_2} \right)$$

$$5) \quad \text{Công kỹ thuật: } l_{kt1-2} = l_{12}$$

Quá trình đẳng áp: (không có sự thay đổi áp suất $C_n = C_p$)

$$\bullet \quad C_n = C_p \Rightarrow n = \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v} = 0$$

Thay $n = 0$ trong các công thức của quá trình đa biến

$$1) \quad p = \text{const} \Rightarrow p_2 = p_1$$

$$2) \quad n = 0 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$3) \quad \text{Công thay đổi thể tích: } l_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

$$4) \quad \text{Công kỹ thuật: } l_{kt1-2} = n.l_{12} = 0$$

$$5) \quad \text{Nhiệt trao đổi với môi trường: } q = C_p(T_2 - T_1) \Rightarrow Q = GC_p(T_2 - T_1)$$

$$6) \quad \text{Biến thiên Entropi: } \Delta s = C_p \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = C_p \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Quá trình đẳng tích: (Pittong không di chuyển, bình kín,... $C_n = C_v$)

$$\bullet \quad C_n = C_v \Rightarrow n = \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v} = \pm \infty$$

Thay $n = \infty$ trong các công thức của quá trình đa biến

3

$$\bullet \quad V = \text{const} \Rightarrow V_2 = V_1$$

$$\bullet \quad n = \infty \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$\bullet \quad \text{Công thay đổi thể tích: } l_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0$$

$$\bullet \quad \text{Công kỹ thuật: } l_{kt12} = \int_{p_1}^{p_2} -V dp = V(p_1 - p_2)$$

$$\bullet \quad \text{Nhiệt trao đổi với môi trường: } q = C_v(T_2 - T_1) \Rightarrow Q = GC_v(T_2 - T_1)$$

$$\bullet \quad \text{Biến thiên Entropi: } \Delta s = C_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = C_v \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Lưu ý của dạng:

- Áp suất, thể tích, khối lượng, nhiệt độ phải tương ứng với từng trạng thái, nếu không có thì dùng PT khí lý tưởng để tìm ra.

- **Khối lượng mol không khí là 29 g/mol = 29 kg/kmol**

- Tra nhiệt dung riêng đẳng áp, đẳng tích ở trang 298

- Đơn vị của R, đơn vị của các đại lượng là J hay kJ

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 750 \text{ mmHg}$$

- $1 \text{ at} = 0,981 \text{ bar} = 0,981 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 735,5 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 14,696 \text{ psi}$

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ torr} = 133,32 \text{ Pa}$$

- $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

- Áp suất bình chứa lớn hơn áp suất khí trời:

$$p_{\text{tuyệt đối}} = p_{\text{khí trời}} + p_{\text{dư}}$$

- Áp suất bình chứa nhỏ hơn áp suất khí trời:

$$p_{\text{tuyệt đối}} = p_{\text{khí trời}} - p_{\text{chân không}}$$

4

CÁC THÔNG SỐ ĐẶC TRƯNG CỦA KHÔNG KHÍ ẨM

- **Độ ẩm tuyệt đối của không khí:** lượng hơi nước chứa trong 1m³ không khí ẩm - ρ_h (kg/m³)
- **Độ ẩm tương đối của không khí (độ bão hòa hơi nước):** tỷ số giữa lượng hơi nước trong 1m³ không khí ẩm với lượng hơi nước trong 1m³ không khí đã bão hòa hơi nước (cùng điều kiện nhiệt độ, áp suất) - φ g/kg).
- **Hàm ẩm của không khí ẩm:** lượng hơi nước tính trên 1kg không khí khô có trong không khí ẩm.
- **Nhiệt lượng riêng của không khí ẩm:** tổng nhiệt lượng riêng của không khí khô và hơi nước có trong không khí ẩm – H(kJ/kg kkk)
- **Nhiệt độ điểm sương – t_s :** nhiệt độ giới hạn của quá trình làm lạnh không khí ẩm cho đến khi bão hòa với hàm ẩm không đổi
- **Nhiệt độ bầu ướt – t_w :** nhiệt độ ổn định đạt được khi lượng nước bốc hơi vào không khí chưa bão hòa ở điều kiện đoạn nhiệt
- **Nhiệt độ bầu khô – t_k :** nhiệt độ của không khí ẩm được xác định bằng nhiệt kế thông thường

Các công thức:

$$1) \quad d_1 = 0,622 \cdot \frac{p_{h_1}}{p_1 - p_{h_1}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_1 \cdot p_{h_{\max 1}}}{p_1 - \varphi_1 \cdot p_{h_{\max 1}}} \left[\frac{kJ}{kgkk} \right]$$

$$2) \quad I_1 = t_1 + (2500 + 1,93t_1)d_1 \left[kJ / kgkk \right]$$

$$3) \quad Q_N = (I_{sau} - I_{truoc}) \cdot G_{luuluongquat} = Q_0 + N = \varepsilon N + N \left[kW \right]$$

$$4) \quad Q_0 = G_k (I_3 - I_1) = \frac{I_3 - I_1}{d_3 - d_1} \cdot G_{H_2O}$$

$$5) \quad G_k = \frac{G_n}{\Delta d} \left[kJ / h \right]$$

$$\bullet \quad V_k = \frac{G_k}{\rho_{kk_am}} = \frac{G_k}{1,2} \left[m^3 / h \right]$$

Lưu ý của dạng:

- Giá trị $p_{h_{\max}}$ tra tương ứng với từng điểm trên đồ thị I-d hoặc T-d bằng bảng tra ở trang 392
- 1 W = 1 J/s
- Bài toán trộn khí:
- Gọi G_1 là là lưu lượng không khí ẩm:

$$\checkmark \quad \text{Lưu lượng không khí khô: } G_{1kk} = \frac{G_1}{1 + 10^{-3} d_1} \left[kJ / kgkk \right]$$

- ✓ Sau khi hòa trộn:

$$I_3 = \frac{G_{1kk} I_1 + G_{2kk} I_2}{G_{1kk} + G_{2kk}} \left[kJ / kgkk \right]$$

$$d_3 = \frac{G_{1kk} d_1 + G_{2kk} d_2}{d_1 + d_2} \left[kg / kgkk \right]$$

- ✓ Từ đó suy ra độ ẩm, nhiệt độ động sương (giao điểm của I_3 và 100%), nhiệt độ bầu ướt (giao điểm của I_3 và d_3)

DẪN NHIỆT

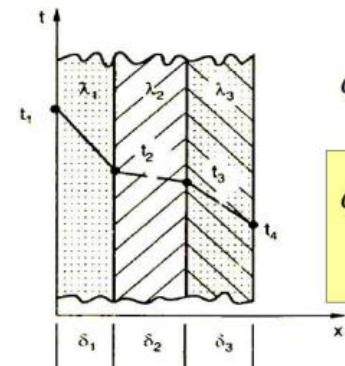
- Truyền nhiệt ổn định: Nhiệt độ chỉ thay đổi theo không gian mà không thay đổi theo thời gian; thiết bị làm việc liên tục
- Truyền nhiệt không ổn định: Nhiệt độ thay đổi theo không gian và thời gian. Thiết bị làm việc gián đoạn, giai đoạn đầu và cuối của thiết bị làm việc liên tục
- Các phương thức truyền nhiệt:
 - ✓ Trao đổi nhiệt bằng dẫn nhiệt: Là một dạng truyền nhiệt năng từ vùng có nhiệt độ cao hơn đến vùng có nhiệt độ thấp hơn do sự truyền động năng hoặc va chạm của các phần tử hay nguyên tử; là quá trình truyền nhiệt năng khi các phần của vật hoặc các vật có nhiệt độ khác nhau tiếp xúc trực tiếp với nhau. Có thể xảy ra trong môi trường khí hoặc lỏng nếu chất khí hoặc lỏng ở trạng thái đứng yên hoặc chuyển động dòng.
 - ✓ Trao đổi nhiệt đối lưu: là quá trình truyền nhiệt năng khi lưu chất dịch chuyển trong không gian từ vùng có nhiệt độ này đến vùng có nhiệt độ khác, chỉ xảy ra khi có sự trao đổi nhiệt giữa bề mặt vật rắn với lưu chất. **Luôn tồn tại dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt đồng thời.**
 - ✓ Trao đổi nhiệt bức xạ: Hai vật có nhiệt độ khác nhau đặt cách xa nhau trong môi trường hoàn toàn chân không. **Dẫn nhiệt và đối lưu nhiệt không tồn tại. Sự truyền nhiệt giữa các vật xảy ra bằng trao đổi nhiệt bức xạ:** Ở bất kỳ nhiệt độ nào (lớn hơn nhiệt độ không tuyệt đối) luôn có sự biến đổi nội năng của vật thành năng lượng sóng điện từ với chiều dài bước sóng từ $0 - \infty$; Kỹ thuật nhiệt quan tâm đến các tia có hiệu ứng nhiệt cao ở nhiệt độ thường \rightarrow các tia có bước sóng $0,4 \sim 40\mu\text{m}$ \rightarrow tia nhiệt; Quá trình phát sinh, truyền và hấp thụ những tia nhiệt gọi là bức xạ nhiệt.

- Truyền nhiệt tổng quát: Thực tế: Nhiệt truyền từ vật này sang vật khác không phải đơn thuần theo một phương thức nào đó mà thường xuyên truyền đi đồng thời theo hai hoặc cả ba phương thức trên. \rightarrow truyền nhiệt phức tạp. Tùy trường hợp cụ thể, ảnh hưởng của quá trình nào đó không đáng kể so với toàn bộ quá trình truyền nhiệt thì có thể bỏ qua.
- Hệ số dẫn nhiệt λ : lượng nhiệt tính bằng **Jun** dẫn qua **1m²** bề mặt vuông góc với phương dẫn nhiệt trong đơn vị thời gian là **1 giây** khi chênh lệch nhiệt độ trên một đơn vị chiều dài theo phương pháp tuyến với bề mặt đẳng nhiệt là **1K/m**. λ của vật thể rất khác nhau phụ thuộc: cấu trúc, áp suất, nhiệt độ, thường xác định bằng thực nghiệm; λ của kim loại: Phụ thuộc vào thành phần kim loại và cấu trúc hợp kim. Khi nhiệt độ tăng thì λ tăng $\lambda = \lambda_0(1 + bT)[W / mK]$; λ của chất khí và chất lỏng: nhỏ hơn chất rắn rất nhiều và giảm khi nhiệt độ tăng
- Định luật bảo toàn năng lượng cho phần tử dv:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Dòng nhiệt} \\ \text{đưa vào phần} \\ \text{tổ } dx dy dz \text{ bằng} \\ \text{dẫn nhiệt} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Dòng nhiệt phát ra} \\ \text{trong phần tử } dx dy dz \\ \text{do nguồn nhiệt bên} \\ \text{trong phát ra} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Độ biến thiên} \\ \text{nội năng trong} \\ \text{phần tử } dx dy dz \end{array} \right]$$

Dẫn nhiệt qua vách phẳng (ổn định):

- 1) Nhiệt độ t tại vị trí x là: $t = t_1 - \frac{q}{\lambda} x (^\circ\text{C})$
- 2) Định luật Fourier: Dòng nhiệt $Q = \lambda \frac{t_1 - t_2}{\delta} F \tau [J]$
- 3) Mật độ dòng nhiệt: $q = \frac{\Delta t}{\delta / \lambda} [W / m^2]$
- 4) Nhiệt trở dẫn nhiệt của vật liệu: $R_\lambda = \frac{\delta}{\lambda}$



$$5) \quad q = \frac{t_1 - t_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1}} = \frac{t_1 - t_3}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} = \frac{t_2 - t_4}{\frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} = \frac{t_3 - t_4}{\frac{\delta_3}{\lambda_3}} \left[W / m^2 \right]$$

Dẫn nhiệt qua vách trụ (ổn định):

$$1) \quad R_{l(1)} = \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

$$2) \quad q_l = \frac{t_1 - t_4}{R_{l(1)} + R_{l(2)} + R_{l(3)}} \left[W / m^2 \right]$$

$$3) \quad t_2 = t_1 - q_l \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right); t_3 = t_1 - q_l \left[\frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right) \right] \left[^\circ C \right]$$

Dẫn nhiệt qua thanh (ổn định):

*Thanh dài vô hạn:

$$1) \quad Q = \lambda f m \theta_g = \theta_g \sqrt{\alpha U \lambda f} \left[W \right]$$

$$2) \quad m = \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda f}} \left[m^{-1} \right]; U = 2\pi R \left[m \right]; f = \pi R^2 \left[m^2 \right];$$

$$3) \quad \alpha: \text{Hệ số tỏa nhiệt} \left[W / m^2 . K \right]; \theta_g = t - t_f = t_{\text{thanh}} - t_{\text{môi trường}} \left[^\circ C \right]$$

*Thanh dài hữu hạn: Thanh chỉ cần một chiều dài vừa phải, nếu dài quá chỉ tốn vật liệu mà hiệu quả về truyền nhiệt không còn

- Bỏ qua tỏa nhiệt ở đỉnh:

$$\bullet \quad \text{Phương trình trường nhiệt độ: } \theta = \theta_g \frac{\cosh[m(L-x)]}{\cosh(mL)} \left[^\circ C \right]$$

$$\bullet \quad \text{Nhiệt độ thừa ở đỉnh thanh } \theta_L = \frac{\theta_g}{\cosh(mL)} \left[^\circ C \right]$$

$$\bullet \quad Q \text{ truyền qua thanh: } Q = Q_{\infty} th(mL) = \lambda f m th(mL) \left[W \right]$$

9

- Có xét tỏa nhiệt ở đỉnh:

1) Nhiệt độ thừa ở đỉnh thanh

$$\theta = \theta_g \frac{\cosh[m(L-x)] + (\alpha / m\lambda) \sinh[m(L-x)]}{\cosh(mL) + (\alpha / m\lambda) \sinh(mL)} \left[^\circ C \right]$$

$$2) \quad Q \text{ truyền qua thanh } Q = \lambda f m \theta_g \left[\frac{\sinh(mL) + (\alpha / m\lambda) \cosh(mL)}{\cosh(mL) + (\alpha / m\lambda) \sinh(mL)} \right] \left[W \right]$$

Dẫn nhiệt qua cánh (ổn định):

$$1) \quad \text{Nhiệt độ thừa ở đỉnh thanh } \theta_L = \theta_g \frac{1}{\cosh(mL)} \left[^\circ C \right]$$

$$2) \quad \text{Đối với cánh mỏng } m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda \delta}}$$

$$3) \quad \text{Nhiệt lượng dẫn qua cánh } Q = \lambda f m \theta_g th(mL) \left[W \right]$$

4) Nếu xét tỏa nhiệt ở đỉnh cánh ta tăng chiều cao thêm 1/2 chiều dày

$$\checkmark \quad L_c = L + \frac{\delta}{2} \left[m \right]$$

$$\checkmark \quad \text{Nhiệt độ ở điểm x: } \theta_L = \theta_g \frac{\cosh[m(L_c - x)]}{\cosh(mL_c)} \left[^\circ C \right]$$

$$\checkmark \quad \text{Nhiệt lượng dẫn qua đỉnh cánh: } Q = \lambda f m \theta_g th(mL_c) \left[W \right]$$

$$5) \quad \text{Hiệu suất cánh: } \eta_c = \frac{Q_c}{Q_{lt}} = \frac{\lambda f m \theta_g th(mL)}{UL \alpha \theta_g} = \frac{th(mL)}{mL}, \text{ bỏ qua truyền nhiệt ở đỉnh}$$

Cách tính toán của bài toán cánh:

1) Tính $Q_{lt} = \alpha F_c \theta_g$ trong đó

$$\checkmark \quad L_c = L + \frac{\delta}{2} \Rightarrow r_{2c} = r_1 + L_c$$

10

✓ Tính tỉ số $\frac{r_{2c}}{r_1}$ và so sánh với 2

✓ Nếu >2 thì là cánh tròn: $f_p = (r_{2c} - r_1)\delta [m]$

✓ Nếu <2 thì là cánh tam giác: $f_p = L_c \frac{\delta}{2} [m]$.

✓ Suy ra được $L_c^{3/2} \left(\frac{\alpha}{\lambda f_p} \right)^{1/2}$, từ đó tra đồ thị tìm được η_c

2) Tính Q_{it} :
$$F_c = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2) [m^2]$$
$$\Rightarrow Q_{it} = \alpha F_c \theta_g = \alpha F_c (t_g - t_f) [W]$$

3) Nhiệt lượng truyền qua cánh $Q_c = \eta_c \cdot Q_{it} [W]$

Lưu ý của dạng:

• Nếu tỉ số $\frac{d_2}{d_1} > 2$ thì xem như là truyền nhiệt qua vách thẳng

• $1 W = 1 J/s$

• Đổi dạng thành λ_{tb1} :

$$\lambda_1 = 0,28 + 0,00023t = 0,28 \left(1 + \frac{0,00023}{0,28} t \right) = 0,28 (1 + 0,000821t)$$

$$\Rightarrow \lambda_{tb1} = 0,28 \left[1 + \frac{0,000821}{2} (t_1 + t_2) \right]$$

• th là hàm tanh = sinh/cosh

TRAO ĐỔI NHIỆT ĐỐI LƯU

- Quá trình truyền nhiệt năng khi lưu **chất dịch chuyển trong không gian** từ vùng có nhiệt độ này đến vùng nhiệt độ khác → **đối lưu**.
- Quá trình trao đổi nhiệt xảy ra khi **bề mặt vật rắn tiếp xúc với lưu chất** (dẫn nhiệt và đối lưu xảy ra đồng thời) → **cấp nhiệt đối lưu**
- Chuyển động cưỡng bức:** sự chuyển động của lưu chất do ngoại lực bên ngoài quá trình gây nên, ví dụ: tác dụng của bơm, quạt, máy nén. → **Trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức**
- Chuyển động tự nhiên:** sự chuyển động của lưu chất gây ra bởi chênh lệch khối lượng riêng bên trong lưu chất do sự chênh lệch nhiệt độ (khi lưu chất ở trong trường lực) → **Trao đổi nhiệt đối lưu tự nhiên**.
- Quá trình cấp nhiệt ổn định $Q = \alpha \cdot F \cdot |T_w - T_f| [W]$ với T_w : nhiệt độ của vách tiếp xúc với lưu chất (°C); T_f : nhiệt độ của lưu chất (°C); α : hệ số cấp nhiệt ($W/m^2.K$)
- Hệ số cấp nhiệt α là lượng nhiệt do một đơn vị bề mặt của tường cấp cho môi trường xung quanh (hay ngược lại, nhận trừ môi trường xung quanh) trong khoảng thời gian là 1 giây khi chênh lệch nhiệt độ giữa tường và vách là 1 độ.
- α được xác định từ thực nghiệm bằng phương pháp CƠ SỞ LÝ LUẬN ĐỒNG DẠNG, thường xác định bằng thực nghiệm cho từng trường hợp riêng biệt thông qua các phương trình chuẩn số đặc trưng cho các quá trình trao đổi nhiệt đối lưu. $Nu = f(Re, Pr, Gr, \dots)$
- Chuẩn số Nusselt: $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = f(Re, Gr, Pr)$;
- Chuẩn số Reynolds: $Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d}{\frac{\mu}{\rho}}$

13

- Chuẩn số Prandtl: $Pr = \frac{\mu \cdot C_p \cdot \rho}{g \cdot \lambda} = \frac{\gamma}{a} = \frac{\gamma}{\frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}}$;
- Chuẩn số Galile: $Ga = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho^3}{\mu^3} = \frac{g \cdot l^3}{\nu^3}$
- Chuẩn số Grashof: $Gr = Ga \cdot \beta \cdot \Delta T_f = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^3} \cdot \Delta T_f$

Trong đó:

- ✓ l : kích thước xác định [m]
- ✓ ω : tốc độ trung bình của dòng chất lỏng [m/s]
- ✓ g : gia tốc trọng trường [m/s^2]
- ✓ λ : hệ số dẫn nhiệt của chất lỏng [$W/m \cdot \text{độ}$]
- ✓ a : hệ số khuếch tán nhiệt của chất lỏng [m^2/s]
- ✓ ν : độ nhớt động học [m^2/s]
- ✓ β : hệ số giãn nở nhiệt [K^{-1}]; với khí thì $= 1/T$, với lỏng thì tra bảng trang 413.
- Độ nhớt μ có tầm quan trọng rất lớn:
 - ✓ μ : hệ số nhớt động lực [Ns/m^2] - $\nu = \frac{\mu}{g}$: hệ số nhớt động học [m^2/s]
 - ✓ Chất lỏng giọt: hệ số nhớt động lực μ không phụ thuộc vào p và giảm khi t tăng.
 - ✓ Chất khí: μ tăng khi t tăng và p tăng, nhưng ảnh hưởng của p rất ít.
- Hạn chế của phương pháp giải tích: Chỉ công thức hóa vấn đề (lập hệ Pt vi phân + điều kiện biên); cần một số giả thiết (không phù hợp hoàn toàn với thực tế).
- Tiêu chuẩn đồng dạng: tổ hợp KHÔNG THỨ NGUYÊN do một số đại lượng vật lý tạo thành. PP để tìm ra TCĐD gọi là phép biến đổi đồng dạng.

14

Sơ đồ tính toán cho bài toán TĐN đối lưu

- Xác định: Nhiệt độ xác định $[\text{°C}]$ + Kích thước xác định l [m] \Rightarrow Tra bảng $\lambda, \alpha, \nu, \beta, \text{Pr}$

- Tính: $\omega = \frac{G_{1_thanh} [kg / s]}{\rho [kg / m^3] \cdot S_{tiet_dien_ong} [m^2]} [m / s] \Rightarrow \text{Re} = \frac{\omega \cdot d}{\nu}; Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^3} \cdot \Delta T_f$

- Suy ra $Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} = f(\text{Re}, Gr, \text{Pr}) \Rightarrow \alpha = Nu \frac{\lambda}{l} [W / m^2 \cdot K]$ hoặc $[W / m^2 \cdot \text{độ}]$

- Nhiệt lượng tỏa ra/ tổn thất nhiệt:

- ✓ $Q_{1_thanh} = \alpha \cdot F \cdot \Delta t = \alpha \cdot F \cdot (t_w - t_f) = G_{1_thanh} \cdot Cp \cdot (t'_{f(cao)} - t'_{f(thap)}) \left[W = \frac{J}{s} \right] > 0$

- ✓ F là diện tích bề mặt tỏa nhiệt, nếu là ống/hộp: $F = (\text{Chu vi ống}) \times (\text{Chiều dài ống}) [m^2]$, nếu đề hỏi là tỏa nhiệt trên 1m ống thì F chỉ cần lấy chu vi ống [m] và Q là $[W/m]$

TRAO ĐỔI NHIỆT ĐỐI LƯU TỰ NHIÊN

A. TNĐL tự nhiên trong không gian vô hạn

- KTXĐ: ống ngang lấy $l = d$; vách đứng và ống đứng thì $l =$ chiều cao; còn tấm ngang thì l lấy bằng chiều rộng của tấm.
- Nhiệt độ xác định: $t_m = \frac{1}{2}(t_f + t_w) [°C] \xrightarrow{\text{Trabang}} \lambda, \nu, \beta, \text{Pr}$
- Tính chuẩn số Grashof: $Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^3} \cdot \Delta T_f$; Đối với chất khí: $\beta = \frac{1}{T_m} [K^{-1}]$
- Tính chuẩn số Rayleigh: $Ra = (Gr \cdot \text{Pr})_m \xrightarrow{\text{Trabang}} \text{Hệ số C, n}$
- Tính chuẩn số Nusselt: $Nu_m = C (Gr \cdot \text{Pr})_m^n \Rightarrow \text{Hệ số cấp nhiệt: } \alpha = Nu_m \cdot \frac{\lambda}{l}$
[W/m².độ]

15

| Trạng thái chuyển động | $(Gr \cdot \text{Pr})_m$ | C | n |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------|-----|
| Chảy màng | $< 10^{-3}$ | 0,5 | 0 |
| Quá độ từ chảy màng sang chảy tầng | $1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$ | 1,18 | 1/8 |
| Chảy tầng | $5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$ | 0,54 | 1/4 |
| Chảy rối | $2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$ | 0,135 | 1/3 |

Riêng trường hợp đối với tấm phẳng đặt nằm ngang:

| $(Gr \cdot \text{Pr})_m$ | C | | n |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|-----|
| | Bề mặt nóng hướng lên trên | Bề mặt nóng hướng xuống dưới | |
| $< 0,001$ | 0,65 | 0,35 | 0 |
| $0,001 - 500$ | 1,53 | 0,83 | 1/8 |
| $500 - 2 \times 10^7$ | 0,70 | 0,38 | 1/4 |
| $2 \times 10^7 - 10^{13}$ | 0,176 | 0,095 | 1/3 |

B. TNĐL tự nhiên trong không gian hữu hạn

- KTXĐ: lấy theo chiều dày khe δ
- Nhiệt độ xác định:

$$t_m = \frac{1}{2}(t_{w1} + t_{w2}) [°C] \xrightarrow{\text{Trabang}} \lambda, \nu, \beta, \text{Pr}$$

Đối với chất khí: $\beta = \frac{1}{T_m} [K^{-1}]$

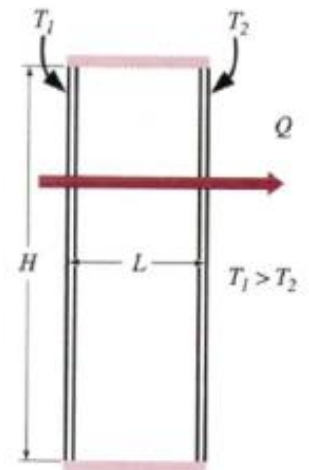
- Tính chuẩn số Grashof: $Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot (t_{w1} - t_{w2})$

- Tính ε_{td} :

- ✓ $(Gr \cdot \text{Pr})_f < 10^3 \Rightarrow e_{td} = 1 \ \& \ \lambda_{td} = \lambda$ (Dẫn nhiệt thuần)

- ✓ $(Gr \cdot \text{Pr})_f \geq 10^3 \Rightarrow e_{td} = 0,18 (Gr \cdot \text{Pr})_f^{0,25}$

- $\lambda_{td} = \lambda \cdot \varepsilon_{td} [W / m \cdot K] \Rightarrow q = \frac{\lambda_{td}}{\delta} (T_{w1} - T_{w2}) [W / m^2]$

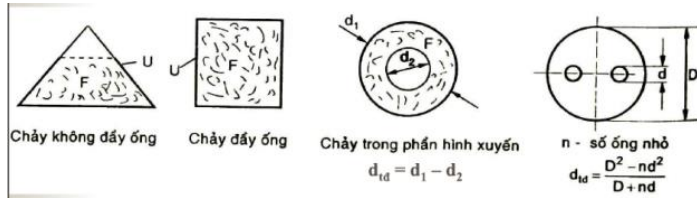


16

TRAO ĐỔI NHIỆT ĐỐI LƯU CƯỜNG BỨC

A. Chất lỏng chuyển động trong ống, rãnh

- Nhiệt độ xác định: **nhiệt độ chất lỏng** $t_f = 0,5(t_f'' + t_f') [^{\circ}\text{C}]$
 \Rightarrow Tra giá trị $\lambda, \beta, \nu, \text{Pr}_f, \text{Pr}_w, C_p$ (nếu có lưu lượng G tham gia và cần tính Q bằng C_p), chất khí thì $\beta = 1/T_m [K^{-1}]$
- Kích thước xác định: **d trong** hoặc d_{td} ($d_{td} = \frac{4F}{U} [m]$) với F: diện tích tiết diện ngang dòng chảy $[m^2]$; U là chu vi ướt $[m]$



$$\text{Tính } Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$$

A.1 Tỏa nhiệt khi chảy rối: $Re > 10^4$

$$Nu_f = 0,021 Re_f^{0,80} \text{Pr}_f^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \cdot \varepsilon_R$$

Không khí có $\text{Pr} \approx \text{const}$, do đó: $Nu_f = 0,018 Re_f^{0,80}$

- Ảnh hưởng của đầu đoạn ống ε_l :

Tính l/d , nếu > 50 thì $\varepsilon_l = 1$; nếu < 50 thì tra bảng + nội suy

| Khi $l/d < 50 \rightarrow$ BẢNG : Trị số ε_l khi chảy rối | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| | l/d | | | | | | | | |
| Re_f | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| $1 \cdot 10^4$ | 1,65 | 1,50 | 1,34 | 1,23 | 1,17 | 1,13 | 1,07 | 1,03 | 1 |
| $2 \cdot 10^4$ | 1,51 | 1,40 | 1,27 | 1,18 | 1,13 | 1,10 | 1,05 | 1,02 | 1 |
| $5 \cdot 10^4$ | 1,34 | 1,27 | 1,18 | 1,13 | 1,10 | 1,08 | 1,04 | 1,02 | 1 |
| $1 \cdot 10^5$ | 1,28 | 1,22 | 1,15 | 1,10 | 1,08 | 1,06 | 1,03 | 1,02 | 1 |
| $1 \cdot 10^6$ | 1,14 | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 1 |

- Ảnh hưởng của ống cong: lực ly tâm khiến chất lỏng bị nhiễu loạn hơn, làm tăng α

$$\varepsilon_R = 1 + 1,77 \cdot \frac{d}{R} \text{ với } R: \text{ bán kính cong của ống xoắn } [m]$$

A.2 Tỏa nhiệt khi chất lỏng chảy tầng: $Re < 2200$

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^3} \cdot \Delta T = \frac{\beta \cdot g \cdot l^3}{\nu^3} \cdot (T_f - T_w)$$

$$Nu_f = 0,15 Re_f^{0,33} \text{Pr}_f^{0,43} Gr_f^{0,1} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l$$

- ✓ Nếu $l/d > 50$ thì $\varepsilon_l = 1$

- ✓ Nếu $l/d < 50$ thì tra bảng + nội suy

| l/d | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ε_l | 1,90 | 1,70 | 1,44 | 1,28 | 1,18 | 1,13 | 1,05 | 1,02 | 1 |

A.2 Tỏa nhiệt khi chất lỏng chảy tầng: $Re = 2200 \sim 10000$

$$Nu_f = K_0 \text{Pr}_f^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l$$

| $Re_f \cdot 10^{-3}$ | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10 |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|----|
| K_0 | 2,7 | 3,3 | 4,1 | 7,0 | 9,0 | 10,3 | 15,5 | 19,5 | 23 | 27 | 30 | 33 |

- ✓ Nếu $l/d > 50$ thì $\varepsilon_l = 1$

- ✓ Nếu $l/d < 50$ thì tra bảng + nội suy

| l/d | 1 | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| ε_l | 1,90 | 1,70 | 1,44 | 1,28 | 1,18 | 1,13 | 1,05 | 1,02 | 1 |

B. Chất lỏng chuyển động ngoài vật

B.1. Chất lỏng chuyển động ngang qua tấm phẳng:

- Nhiệt độ xác định: **nhiệt độ chất lỏng** $t_f = 0,5(t_f'' + t_f') [^{\circ}\text{C}]$

- Kích thước xác định: l = chiều dài tấm $[m]$

$$Re_f > 10^5 \rightarrow Nu_f = 0,037 Re_f^{0,8} \text{Pr}_f^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l$$

Nếu không khí: $Nu_f = 0,032 Re_f^{0,8}$

$$Re_f < 10^5 \rightarrow Nu_f = 0,68 Re_f^{0,5} \text{Pr}_f^{0,43} \left(\frac{\text{Pr}_f}{\text{Pr}_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l$$

Nếu không khí: $Nu_f = 0,066 Re_f^{0,5}$

B.2 Chất lỏng chuyển động ngang qua ống đơn

- Kích thức xác định: **đường kính ngoài ống (d)**
- Nhiệt độ xác định: **nhiệt độ chất lỏng** $t_f = 0,5(t_f'' + t_f')$
- $Re_f = 10 \sim 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,56 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$

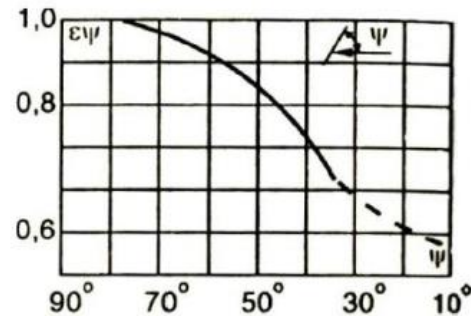
Nếu không khí: $Nu_f = 0,49 Re_f^{0,5}$

- $Re_f = 10^3 \sim 2.10^5 \rightarrow Nu_f = 0,28 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$

Nếu không khí: $Nu_f = 0,245 Re_f^{0,6}$

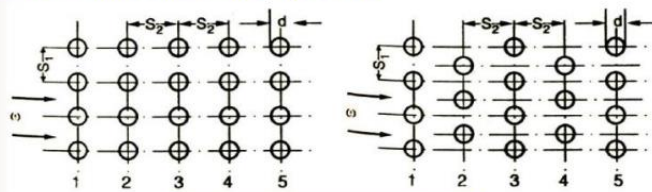
- Nếu góc va $\varphi \neq 90^\circ \rightarrow \varepsilon_\varphi = \frac{\alpha_\varphi}{\alpha_{90^\circ}}$

| φ° | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
|-----------------------|----|----|------|------|------|------|------|------|------|
| ε_φ | 1 | 1 | 0,98 | 0,94 | 0,88 | 0,78 | 0,67 | 0,52 | 0,42 |



B.3 Chất lỏng chuyển động ngang qua cụm ống

Hai cách bố trí cơ bản: song song và so le



$\alpha_{so le} > \alpha_{song song}$

Tốc độ w : chỗ tiết diện tự do hẹp nhất của chùm ống.

- Kích thức xác định: **đường kính ngoài ống (d)**
- Nhiệt độ xác định: **nhiệt độ chất lỏng** $t_f = 0,5(t_f'' + t_f')$

- Chùm ống song song:

$$Re_f < 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,56 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25} \varepsilon_\psi \cdot \varepsilon_i$$

$$Re_f > 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,22 Re_f^{0,65} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25} \varepsilon_\psi \cdot \varepsilon_i$$

$$Re_f < 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,56 Re_f^{0,5} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25} \varepsilon_\psi \cdot \varepsilon_i$$

- Chùm ống so le:

$$Re_f > 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,4 Re_f^{0,6} Pr_f^{0,36} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25} \varepsilon_\psi \cdot \varepsilon_i$$

- Đối với không khí:

$$Re_f < 10^3 \rightarrow Nu_f = 0,49 Re_f^{0,5}$$

$$Re_f > 10^3 \rightarrow \begin{matrix} \text{Song song} : Nu_f = 0,149 Re_f^{0,65} \\ \text{Sole} : Nu_f = 0,245 Re_f^{0,6} \end{matrix}$$

Hệ số hàng ống ε_i :

| Hàng ống | Chùm ống song song | Chùm ống so le |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| thứ nhất | $\varepsilon_i = 0,6$ | $\varepsilon_i = 0,6$ |
| thứ hai | $\varepsilon_i = 0,9$ | $\varepsilon_i = 0,7$ |
| thứ ba trở đi | $\varepsilon_i = 1$ | $\varepsilon_i = 1$ |

- Hệ số tỏa nhiệt trung bình của toàn cụm ống n hàng: $\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$

- Nếu $F_1 = F_2 = \dots = F_n$: $\alpha = \frac{\bar{\alpha}_1 + \bar{\alpha}_2 + (n-2)\bar{\alpha}_3}{n}$

A climate of innovation.



NAUTICA DEHUMIDIFIERS, INC.

www.nauticaDehumid.com

1.866.628.8424

PSYCHROMETRIC CHART

Normal Temperature
SI Units

SEA LEVEL

BAROMETRIC PRESSURE: 101.325 kPa

Đồ thị T-d

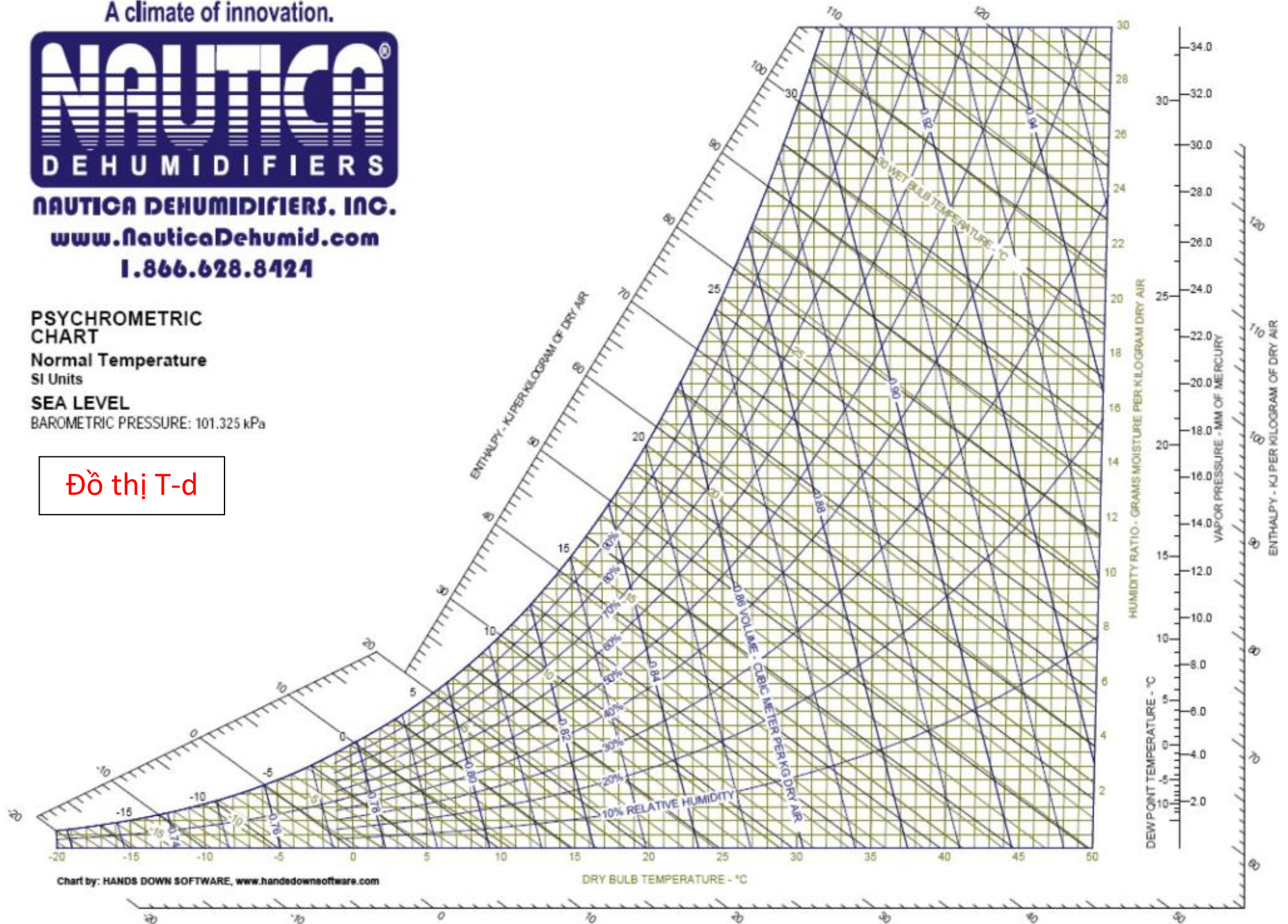
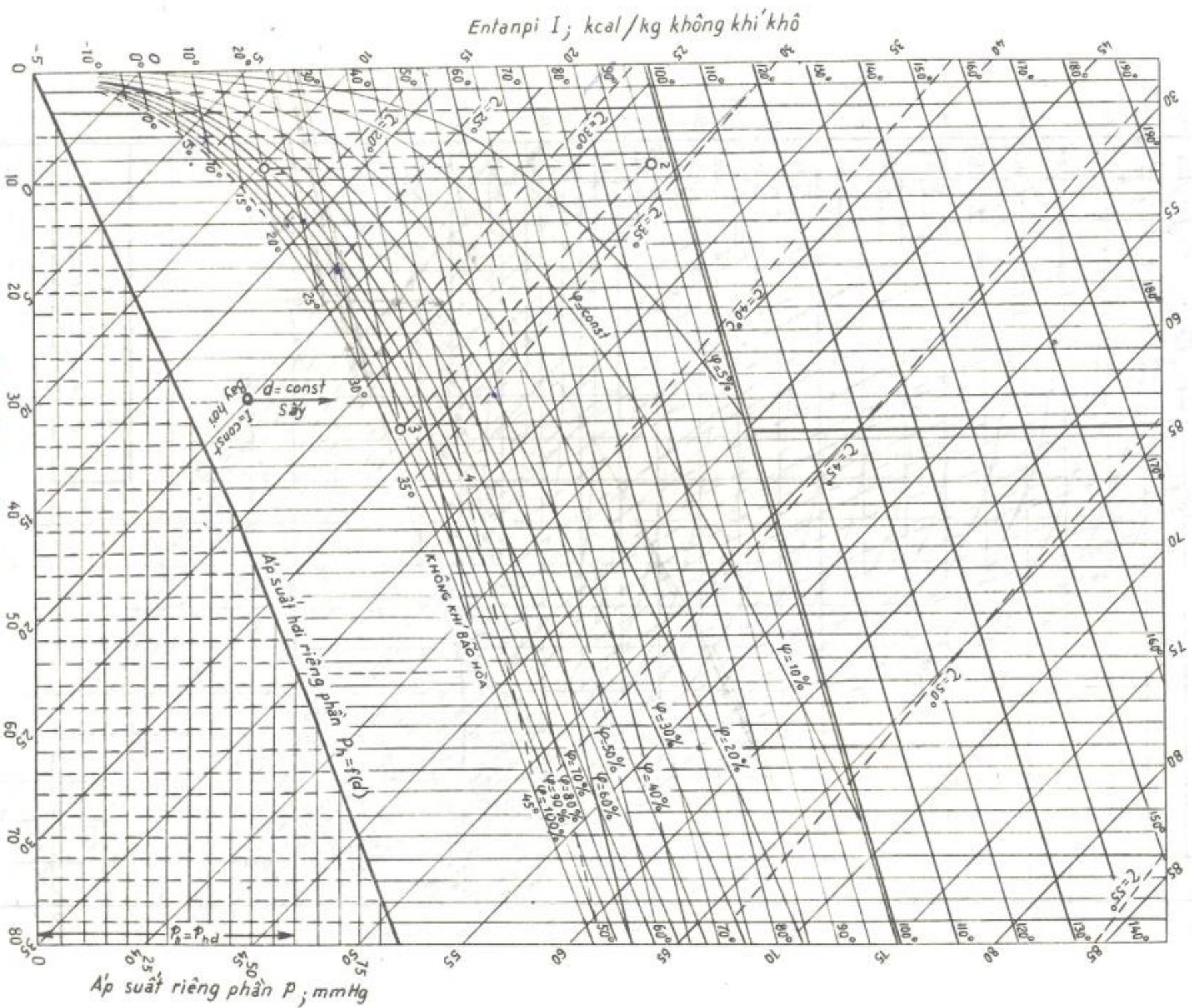


Chart by: HANDS DOWN SOFTWARE, www.handsdownsoftware.com



Độ chứa hơi d , g/ kg kkk

$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$

Đồ thị I-d của không khí ẩm

Đồ thị I-d

