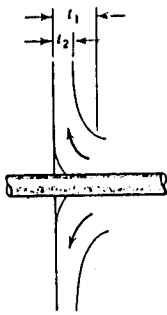


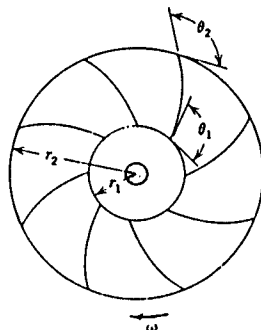
[說明] 單位換算表請見第 4 頁。

1. 有一 10 公里長之管子，每天可輸送石油 4000 桶，在管子內流動的壓力損失為 10 atm。今欲於後 4 公里加裝一同樣的管子 (平行裝設)，若壓力損失不變，則新的輸送能力為多少？假設此流體遵循牛頓的黏度定理 (即 Newtonian fluid)，且此流動為層狀流動 (Laminar flow)。 (20%)

2. 某離心泵 (centrifugal pump) 的葉片 (Impeller) 構造及相關資料如下所示。



側面圖



正面圖

$$\omega = 1180 \text{ rpm}$$

$$r_1 = 2 \text{ m.}$$

$$r_2 = 8 \text{ m.}$$

$$t_1 = 0.8 \text{ in.}$$

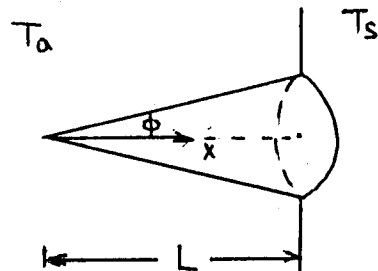
$$t_2 = 0.5 \text{ in.}$$

$$\theta_2 = 135^\circ$$

液體從  $r_1$  處進入葉片，經葉片帶動後，在  $r_2$  處離開葉片。今欲輸送海水 (密度為  $64 \text{ lbm/ft}^3$ )，速率為  $800 \text{ gal/min}$ ，假設海水進入葉片的絕對速度是沿半徑的方向 (radial)，則此離心泵所需馬力為多少？ (15%)

3. 有一套管式熱交換器 (Double-pipe heat exchanger)，其熱交換面積為  $18 \text{ ft}^2$ ，總熱傳係數  $U = 60 \text{ Btu/hr-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ 。  $50^\circ\text{F}$  的水，流率  $400 \text{ lbm/hr}$  可供冷卻之用，但其出口溫度不能超過  $212^\circ\text{F}$ 。今欲冷卻  $250^\circ\text{F}$  的油 ( $C_p = 0.45 \text{ Btu/lbm}\text{-}^\circ\text{F}$ ) 至  $160^\circ\text{F}$  以下，則此油的最大流率可為多少？ (15%)

4.



考慮上圖中圓錐狀之 Fin，其高為  $L$ ，頂部邊界與中心線交角為  $\phi$ 。圓錐底部與一恆溫 ( $T_s$ ) 平板相接，外界溫度 ( $T_a$ ) 也保持固定。圓錐本身

之熱導度 (heat conductivity) 為  $k$ ,  $F_{in}$  表面單位面積熱傳速率可以下列關係式表示:

$$q = h(T_s - T_a)$$

在此,  $h$  為熱傳係數 (heat transfer coefficient),  $T_s$  為  $F_{in}$  表面溫度,

(1) 假設圓錐內部溫度 ( $T$ ) 僅與至頂點垂直距離 ( $x$ ) 有關, 試推導出此一系統模式。即, 形容溫度隨距離變化之常微分方程式及其對應之邊界條件。 (9%)

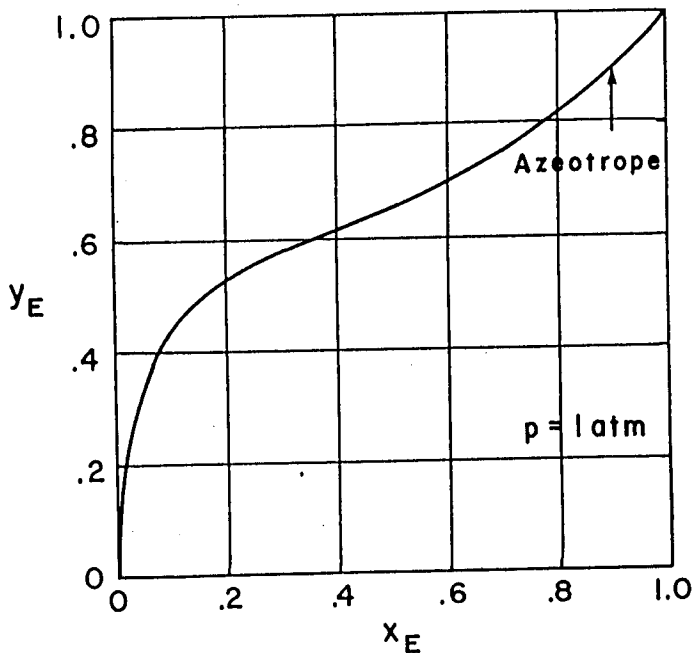
(2) 令  $\theta = (T - T_a) / (T_s - T_a)$ ,  $m^2 = 2hL / ks \sin \phi$ ,  $\xi = \sqrt{x/L}$ , 轉換 (1) 之結果, 並求出解答。 (5%)

(3) 根據下述熱效率 ( $\eta$ ) 之定義:

$$\eta = \frac{\text{(actual average heat transfer rate per unit surface area)}}{\text{(average heat transfer rate per unit surface area if the surface temperature is constant at } T_s)}$$

將  $\eta$  表示成一個  $m$  的函數。 (3%)

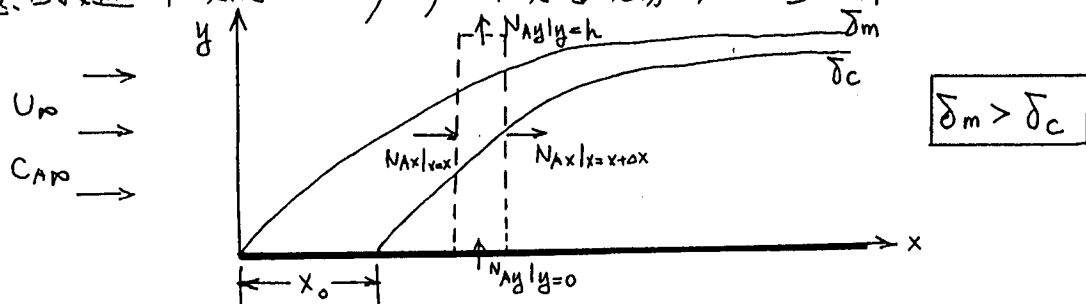
5. 在某一化工程序中, 我們必須分離乙醇 (20 mole%) 與水 (80 mole%) 之混合物。相平衡數據如下:



(1) 若以 Flash 分離法在一大氣壓下操作, 氣體產物乙醇濃度最高可達若干 mole%? 若我們希望將分離後之液體中乙醇濃度減為最低, 那麼這最低濃度值是多少 mole%? 注意, 我們假設在操作過程中, 熱量之輸入與輸出, 可以完全隨需要控制。 (6%)

(2) 若以蒸餾方式在 1 atm 之操作壓力下分離，蒸餾塔頂之氣體以 total condenser 冷凝，reflux 則是飽和液體，reflux ratio (L/D) 設定為 5/3，塔底的液體則以 partial reboiler 加熱，distillate 中乙醇的濃度須達 80%，而 bottom product 中乙醇含量為 2 mole%。若 feed line 之斜率可以  $\phi = 1.13$  來估算，試以 McCabe-Thiele 法求出理想板數 (number of ideal plates) 及 feed plate 位置，並說明計算步驟。(注意，請以塔頂至塔底的順序，標明板的編號) (10%)

6. 考慮在接近一平板的 boundary layer 中質傳現象，如下圖所示：



假設在 boundary layer 之外  $x$  方向的流速保持一定 ( $U_\infty$ )，而溶質 A 的濃度值也是常數 ( $C_{A0}$ )，在此  $\delta_m$  表示 momentum boundary layer 之厚度，而  $\delta_c$  則是 concentration boundary layer 之厚度。

(1) 假設 boundary layer 中 A 的濃度可以下列關係式表示：

$$\theta = a_0 + a_1 \zeta + a_2 \zeta^2 \quad (A)$$

在此， $a_0, a_1$  及  $a_2$  是未定常數，而  $\theta = (C_A - C_{A0}) / (C_{A\infty} - C_{A0})$ ， $\zeta = y / \delta_c$ ， $C_A$  代表 boundary layer 中任一點之濃度，而  $C_{A0}$  則是溶質 A 在平板表面之濃度，它也是常數。試列舉出三個合理的邊界條件，並求出  $a_0, a_1$  及  $a_2$ 。 (6%)

(2) 假設沒有化學反應發生，而且  $U_y|_{y=0} = 0$ ，利用對圖中虛線所示之控制體積 (control volume) 的溶質平衡，試推導出下列公式：

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_c} (C_{A\infty} - C_A) U_x dy = D_{AB} \left. \frac{dC_A}{dy} \right|_{y=0} \quad (B) \quad (5\%)$$

(3) 假設  $U_x / U_\infty = y / \delta_m$ ，我們可以證明  $\delta_m = 3.46 x / \sqrt{Re_x}$ ，在此：

$Re_x = \rho U_\infty x / \mu$ 。利用這個結果及 (A)、(B) 兩公式，試將  $\delta_c$  表示成一個  $x$  的函數。 (4%)

(4) 若  $x_0 = 0$ ，試求出一個 Sherwood 數 ( $Sh_x^* = k_c^* x / D_{AB}$ )，Schmidt 數

( $Sc = \nu / D_{AB}$ ) 及 Reynold 數 ( $Re_x = \rho U_\infty x / \mu$ ) 的關係式。 (2%)

FACTORS FOR UNIT CONVERSIONS

| Quantity | Equivalent Values  |
|----------|--|
| Mass     | 1 kg = 1000 g = 0.001 metric ton = 2.20462 lb <sub>m</sub> = 35.27392 oz.<br>1 lb <sub>m</sub> = 16 oz = 5 × 10 <sup>-4</sup> ton = 453.593 g = 0.453593 kg  |
| Length   | 1 m = 100 cm = 1000 mm = 10 <sup>6</sup> microns (μ) = 10 <sup>10</sup> angstroms (Å)<br>= 39.37 in. = 3.2808 ft = 1.0936 yards = 0.0006214 mile<br>1 ft = 12 in. = 1/3 yd = 0.3048 m = 30.48 cm   |
| Volume   | 1 m <sup>3</sup> = 1000 liters = 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> ml<br>= 35.3145 ft <sup>3</sup> = 220.83 imperial gallons = 264.17 gallons.<br>= 1056.68 quarts<br>1 ft <sup>3</sup> = 1728 in. <sup>3</sup> = 7.4805 gallons = 0.028317 m <sup>3</sup> = 28.317 liters<br>= 28 317 cm <sup>3</sup> |
| Force    | 1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> dynes = 10 <sup>5</sup> g · cm/s <sup>2</sup> = 0.22481 lb <sub>f</sub><br>1 lb <sub>f</sub> = 32.174 lb <sub>m</sub> · ft/s <sup>2</sup> = 4.4482 N = 4.4482 × 10 <sup>5</sup> dynes  |
| Pressure | 1 atm = 1.01325 × 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> (Pa) = 1.01325 bars<br>= 1.01325 × 10 <sup>6</sup> dynes/cm <sup>2</sup><br>= 760 mm Hg @ 0°C (torr) = 10.333 m H <sub>2</sub> O @ 4°C<br>= 14.696 lb <sub>f</sub> /in. <sup>2</sup> (psi) = 33.9 ft H <sub>2</sub> O @ 4°C<br>= 29.921 in Hg @ 0°C                 |
| Energy   | 1 J = 1 N · m = 10 <sup>7</sup> ergs = 10 <sup>7</sup> dyne · cm<br>= 2.778 × 10 <sup>-7</sup> kW · hr = 0.23901 cal<br>= 0.7376 ft · lb <sub>f</sub> = 9.486 × 10 <sup>-4</sup> Btu   |
| Power    | 1 W = 1 J/s = 0.23901 cal/s = 0.7376 ft · lb <sub>f</sub> /s = 9.486 × 10 <sup>-4</sup> Btu/s<br>= 1.341 × 10 <sup>-3</sup> hp   |

Example: The factor to convert grams to lb<sub>m</sub> is  $\left(\frac{2.20462 \text{ lb}_m}{1000 \text{ g}}\right)$