PQI-5776 Fenômenos de Transporte I
Lista de Exercícios 8- Aula 10

1) Água a 20 °C escoa no interior de um tubo com velocidade de 2 m/s. O tubo tem diâmetro interno de 25 mm e pode se considerado liso. A partir do cálculo do fator de atrito, determine:

   a) a espessura da subcamada laminar,

   b) a velocidade para $y^+ = 5$,

   c) a espessura da zona de transição ("buffer zone"),

   d) A velocidade para $y^+ = 30$.

   a)0,049 mm; b) 0,51 m/s; c)0,24 mm; d)1,44 m/s.

2)Compare a energia cinética de turbulência, definida na parte 3, com a definição de temperatura absoluta da mecânica estatística.

3)Observe a analogia entre o conceito de comprimento de mistura de Prandtl e o de livre caminho médio.

4)No gráfico do fator de atrito para o escoamento por sobre esfera observa-se uma brusca alteração do fator de atrito para Re superior a 10^5. Justifique.

5)No caso da queda de um corpo esférico em meio viscoso a velocidade terminal é proporcional ao quadrado do diâmetro; em um escoamento altamente turbulento é praticamente proporcional ao diâmetro. Verifique.

6)Para o escoamento de um fluido em um meio poroso, com Reynolds baixo, a perda de carga é proporcional à vazão; para Reynolds alto é proporcional ao quadrado da vazão. Verifique.

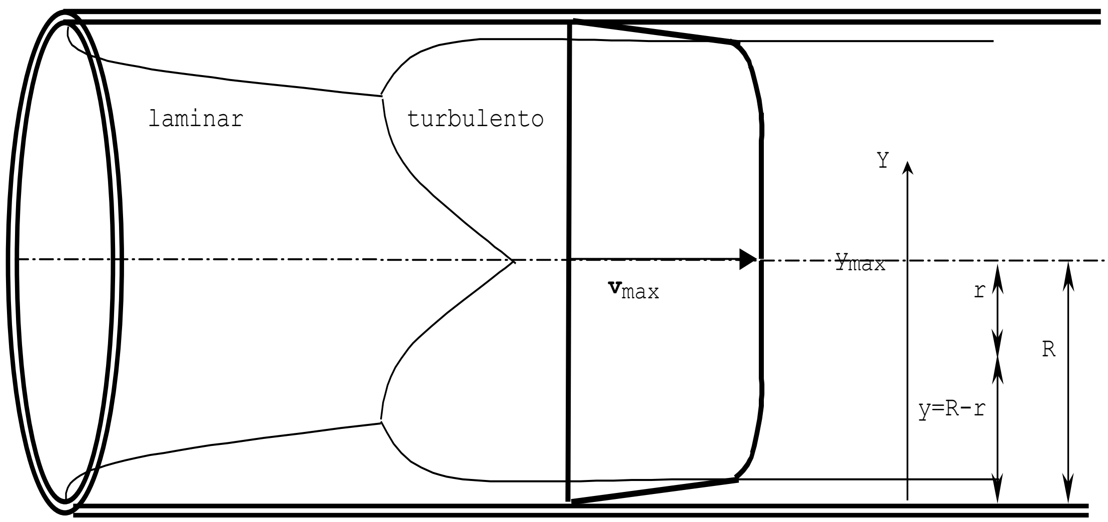
7)Um escoamento gerado apenas por convecção natural pode ser turbulento?

8)As difusividades ν, α e D_{AB} são características dos fluidos e as difusividades "turbulentas" são características dos escoamentos. Analise a afirmação.

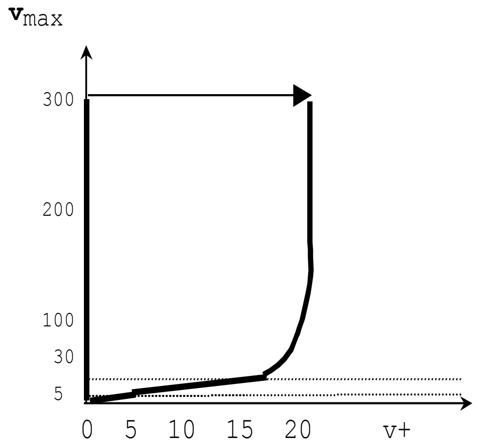
9)A analogia de Reynolds é bastante confiável no caso de escoamento de gases. Analise a afirmação.

10) A analogia de Chilton-Colburn é , provavelmente, a mais consagrada na engenharia química. Verifique as correlações para determinação de coeficientes de transferência de calor (ou massa) para escoamento turbulento em tubo e em placa plana. Compare-as com as expressões para o fator de atrito. No caso de escoamentos por sobre esferas ou cilindros a analogia entre o transporte de quantidade de movimento e os demais transportes não é direta devido ao fator de forma!

11)Partindo do perfil universal encontre a resistencia viscosa para escoamento em estado estacionario unidimensional desenvolvido em tubo.



como vimos:



$$\frac{v}{\sqrt{\tau_w/\rho}} = v^+ = \frac{1}{\alpha}\ln y^+ + cte$$

$$v+ = y+ = \frac{y\sqrt{\tau_w/\rho}}{\nu}$$

no centro: $$v^+_{max} = \frac{1}{\alpha}\ln y^+_{max} + cte$$

subtraindo: $$v^+_{max} - v^+ = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{y^+_{max}}{y^+} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{R}{y} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{R}{R-r}$$

rearranjando: $$v = v_{max} - v^+ = \frac{\sqrt{\tau_w/\rho}}{\alpha}\ln\frac{R}{R-r}$$

a velocidade média é:

$$v_b = \frac{1}{\pi R^2}\int_0^R v\,2\pi r\,dr = 2\int_0^R\left(v_{max} - \frac{\sqrt{\tau_w/\rho}}{\alpha}\ln\frac{1}{1-\frac{r}{R}}\right)\frac{r}{R}\,d\frac{r}{R} =$$

$$= 2\left\{\frac{v_{max}}{R^2}\left.\frac{r^2}{2}\right|_0^R - \frac{\sqrt{\tau_w/\rho}}{\alpha}\int_0^1 \ln(1-x)\,x\,dx\right\} =$$

$$= v_{max} + 2\frac{\sqrt{\tau_w/\rho}}{\alpha}\left[x\ln x - x - x^2\left(\frac{\ln x}{2} - \frac{1}{4}\right)\right]_0^1 = v_{max} - 2\frac{\sqrt{\tau_w/\rho}}{\alpha}\frac{3}{4}$$

adimensionalizando:

$$v_b^+ = \frac{v_b}{\sqrt{\tau_w/\rho}} = v_{max}^+ - \frac{3}{2\alpha} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{R}{\nu}\sqrt{\tau_w/\rho} + cte - \frac{3}{2\alpha}$$

mas da definição do fator de atrito:

$$\tau_w = \frac{f}{2}\rho v_b^2 \quad\rightarrow\quad \frac{f}{2} = \rho v_b^2 = -\frac{\tau_w/\rho}{v_b^2} = \frac{1}{\left(v_b^+\right)^2} \quad\rightarrow\quad v_b^+ = \sqrt{\frac{2}{f}}$$

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = \frac{1}{\alpha}\ln\frac{R}{\nu}v_b\sqrt{\frac{f}{2}} + cte - \frac{3}{2\alpha}$$

sendo $Re = v_b D/\nu$; $\alpha = 0,4$ e a $cte = 5,5$:

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = 4{,}06\log Re\sqrt{f} - 0{,}6 \qquad \text{[eq 12.70 Bennett]}$$

a comparação com os dados experimentais é:

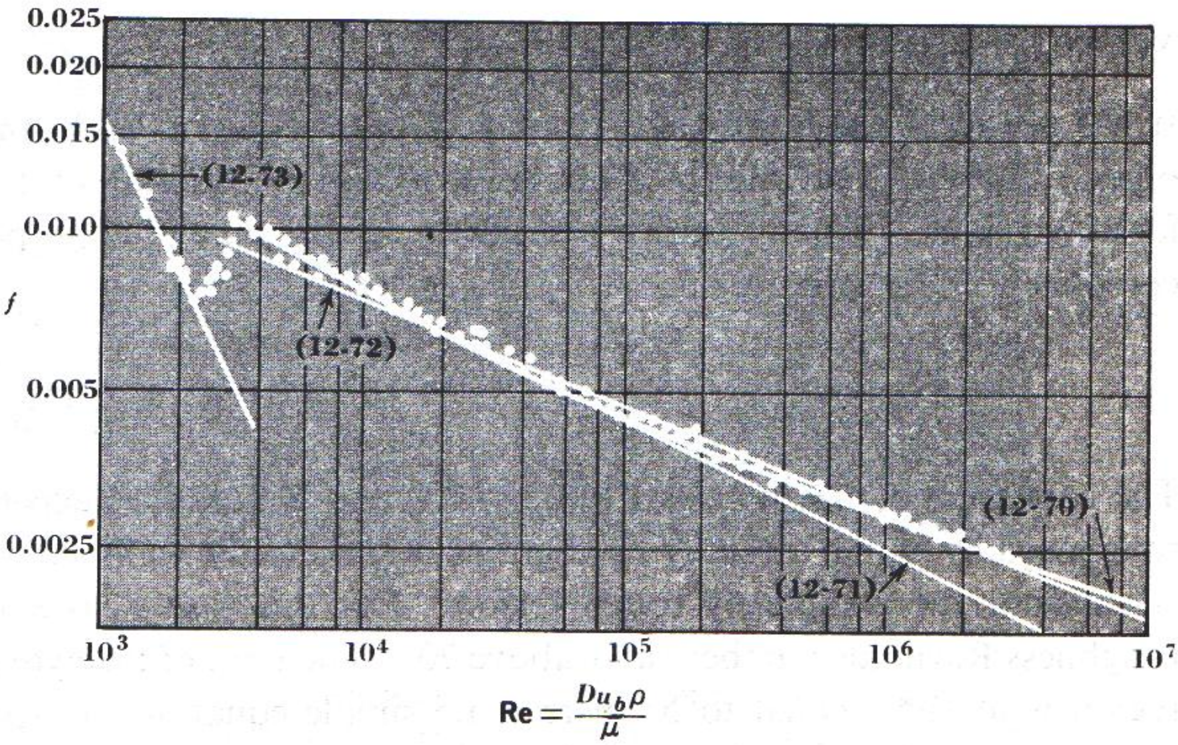


FIGURE 12-8
Friction factors for pipe flow. (*From Hermann Schlichting, "Boundary Layer Theory," 4th ed., fig. 20.1, p. 504, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960.)*

As equações empiricas também são apresesntadas

$$f = 0{,}079\ Re^{-1/4} \qquad \text{[eq 12.71 Bennett]}$$

e:

$$f = 0{,}046\ Re^{-1/5} \qquad \text{[eq 12.72 Bennett]}$$

para Re < 2100 na região laminar:

$$f = 16/\ Re \qquad \text{[eq 12.73 Bennett]}$$

12) Obter uma expressão para a viscosidade turbulenta, para o escoamento desenvolvido de um fluido newtoniano incompressível, no núcleo turbulento de um tubo circular, a partir do perfil universal de velocidades (também chamado de perfil logarítmico). São dados: ρ = densidade do fluido, R = raio interno do tubo, τ_s = tensão de cisalhamento na parede. Mostrar e justificar todas as passagens da dedução.

Resposta: $\mu_e = \dfrac{\tau_s\left(1-\dfrac{y}{R}\right)y}{2{,}5\sqrt{\dfrac{\tau_s}{\rho}}}$