PME3238 – Fenômenos de Transporte
Prof. Bruno Souza Carmo

Exercícios de Sala – Revisão para a P2 (aula 18)

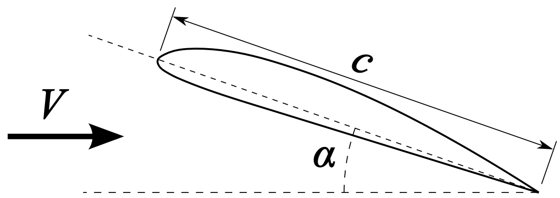
1- (P2 2015) A força resultante por unidade de comprimento de envergadura, F_R’, exercida por um fluido sobre um perfil de asa, depende do comprimento da corda do perfil c, da massa específica, ρ, e da viscosidade dinâmica μ do fluido, da velocidade V do perfil em relação ao fluido e do ângulo de ataque α.

(a) Determine uma forma funcional das variáveis adimensionais do fenômeno.
(b) Para predizer a força exercida na asa de uma pequena aeronave voando em altitude de cruzeiro (3100 m) a 185 km/h, com ângulo de ataque igual a 5°, será realizado um ensaio em túnel de água com um modelo em escala 1:8. Em qual ângulo de ataque o modelo deve ser posicionado e qual deve ser a velocidade do escoamento na seção de testes para que o ensaio seja dinamicamente semelhante ao escoamento no protótipo?
(c) Nas condições calculadas no item (b), a força por unidade de comprimento de envergadura medida no modelo foi de 16 kN. Qual será então a força por unidade de comprimento de envergadura no protótipo?

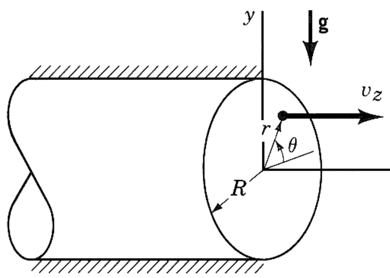
Dados:

propriedades do ar a 3100 m de altitude:
$\rho_{ar} = 0{,}900$ kg/m^3; $\nu_{ar} = 1{,}88 \times 10^{-5}$ m^2/s

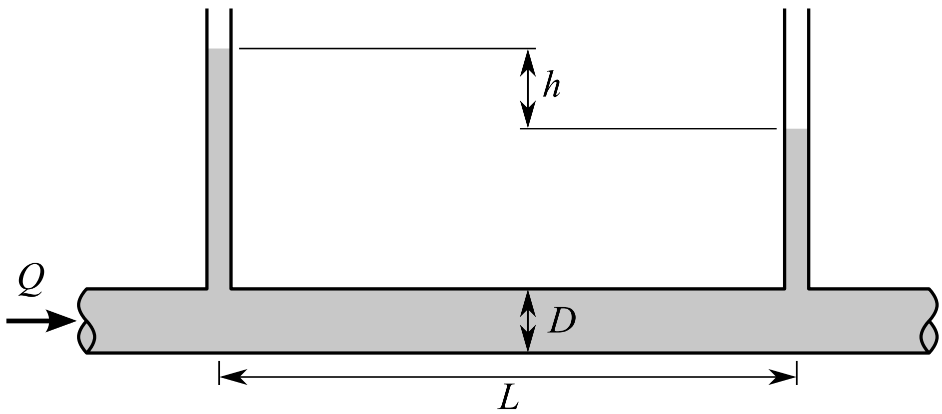
propriedades da água no túnel:
$\rho_{água} = 1000$ kg/m^3; $\nu_{água} = 1{,}00 \times 10^{-6}$ m^2/s



2- (PSUB 2015) Considere o escoamento laminar, axissimétrico e em regime permanente no interior de um tubo horizontal de raio R, conforme ilustrado na figura ao lado. Determine:



(a) Uma expressão **literal** do perfil de velocidades em função de R, $\partial p/\partial z$ e das propriedades físicas do fluido. Parta das equações de continuidade e Navier–Stokes em coordenadas cilíndricas fornecidas no formulário e enuncie claramente as hipóteses utilizadas para simplificá-las.
(b) A partir do perfil encontrado no item (a), determine o fator de atrito, f, deste escoamento.
(c) Considere o escoamento ilustrado abaixo. Sabendo que o diâmetro do tubo é $D = 7$ mm, que o fluido escoando é água ($\rho = 1000$ kg/m^3; $\mu = 10^{-3}$ m^2/s), que a distância entre os tubos piezométricos é $L = 0{,}8$ m, que a diferença de nível dos tubos piezométricos é $h = 6$ mm, e que a aceleração da gravidade é $g = 9{,}8$ m/s^2, determine a vazão volumétrica, supondo escoamento plenamente desenvolvido. Verifique se o escoamento é de fato laminar.



3- Como um empregado da CETESB, foi solicitado a você o desenvolvimento de um modelo para calcular a distribuição de NO_2 na atmosfera. O fluxo molar de NO_2 no nível do solo, $J''_{A,0}$, é considerado conhecido. Esse fluxo é atribuído às emissões dos automóveis e das chaminés das indústrias. Sabe-se também que a concentração de NO_2 a uma distância bem acima do nível do solo é nula e que o NO_2 reage quimicamente na atmosfera. Em particular, o NO_2 reage com hidrocarbonetos não queimados (em um processo que é ativado pela luz do Sol) para produzir PAN (nitrato de peroxiacetila), o produto final da névoa fotoquímica. A reação é de primeira ordem e a taxa local na qual ela corre pode ser representada por $\dot{C}_{\mathrm{A}} = -k_1 C_{\mathrm{A}}$.

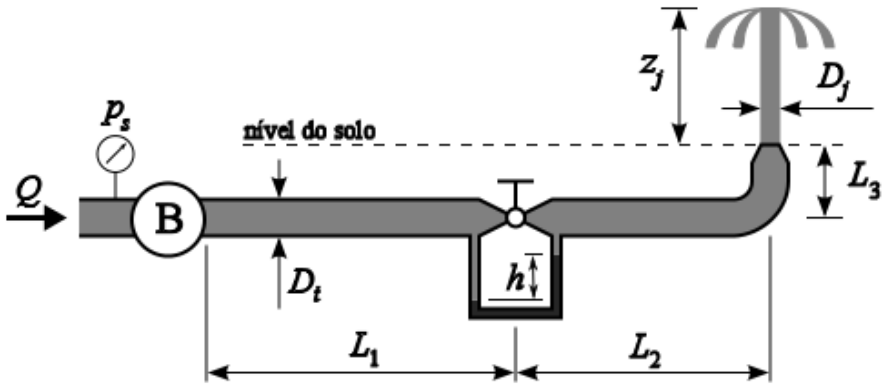
(a) Supondo condições de regime estacionário e uma atmosfera estagnada, obtenha uma expressão para a distribuição vertical $C_{\mathrm{A}}(x)$ das concentrações molares de NO_2 na atmosfera

(b) Se uma pressão parcial de NO_2 de $p_{\mathrm{A}} = 2 \times 10^{-6}$ bar é suficiente para causar complicações pulmonares, qual é o valor do fluxo molar ao nível do solo para o qual você emitiria um aviso de alerta? Você pode admitir uma atmosfera isotérmica a $T = 300$ K, um coeficiente de reação de $k_1 = 0{,}03\ \mathrm{s}^{-1}$ e um coeficiente de difusão de NO_2–ar de $D_{\mathrm{AB}} = 0{,}15 \times 10^{-4}\ \mathrm{m^2/s}$.

4- (P3 PME3230 2015) A figura abaixo mostra a instalação hidráulica que alimenta uma fonte ornamental. Uma bomba de rendimento 75%, indicada pela letra 'B' na figura, recebe água de massa específica 1000 kg/m^3 e viscosidade cinemática 10^{-6} m^2/s a uma pressão de $p_s = 50$ kPa e a movimenta por uma tubulação de diâmetro $D_t = 90$ mm e rugosidade média de 0,15 mm. A tubulação conta também com uma válvula reguladora de vazão com um manômetro em 'U', cujo fluido manométrico tem densidade de 13,6, ligado a tomadas de pressão na entrada e na saída. Após um cotovelo de coeficiente de perda $K_{cot} = 0{,}3$, um bocal está instalado na extremidade, de modo que o diâmetro do jato que deixa a tubulação é $D_j = 50$ mm. Quando o jato atinge uma altura igual a $z_j = 5$ m, a diferença de alturas lida no manômetro em 'U' da válvula é de $h = 45$ mm. Nessas condições, e sabendo que $L_1 = 7{,}5$ m, $L_2 = 10$ m, $L_3 = 1{,}5$ m e $g = 9{,}8$ m/s^2, determine:

(a) O valor do coeficiente de perda localizada da válvula, K_{valv};

(b) A potência fornecida à bomba.



Formulário geral

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\forall C} \rho \mathrm{d}\forall + \int_{SC} \rho \vec{V} \cdot \vec{n} \mathrm{d}A = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\forall C} \vec{V}\rho \mathrm{d}\forall + \int_{SC} \vec{V}\rho \vec{V} \cdot \vec{n} \mathrm{d}A = \sum \vec{F}_{\mathrm{ext}}$$

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 \overline{V}_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 \overline{V}_2^2}{2g} + z_2\right) + h_b = h_{L_T}$$

$$h_L = f\frac{L}{D}\frac{\overline{V}^2}{2g} \qquad h_{L_m} = K\frac{\overline{V}^2}{2g}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2{,}0\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3{,}7} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{f}}\right)$$

$$h_b = \frac{\dot{W}_b}{\gamma Q} \qquad p_1 = \gamma h + p_2$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial(r v_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \qquad J''_{\mathrm{A}} = -D_{\mathrm{AB}}\frac{\partial C_{\mathrm{A}}}{\partial x} \qquad \frac{\partial C_{\mathrm{A}}}{\partial t} + (\vec{V}\cdot\nabla)C_{\mathrm{A}} = D_{\mathrm{AB}}\nabla^2 C_{\mathrm{A}} + \dot{C}_{\mathrm{A}}$$

$$\rho\left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_r}{\partial \theta} - \frac{v_\theta^2}{r} + v_z\frac{\partial v_r}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_r}{\partial r}\right) - \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2}\right] + \rho g_r$$

$$\rho\left(\frac{\partial v_\theta}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_\theta}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_r v_\theta}{r} + v_z\frac{\partial v_\theta}{\partial z}\right) = -\frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial \theta} + \mu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_\theta}{\partial r}\right) - \frac{v_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2}\frac{\partial v_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 v_\theta}{\partial z^2}\right] + \rho g_\theta$$

$$\rho\left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_z}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r}\frac{\partial v_z}{\partial \theta} + v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial v_z}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}\right] + \rho g_z$$