UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

TM-179 Tóp. Esp. em Eng. Mecânica VIII – Escoamentos Compressíveis

Prof. Luciano Kiyoshi Araki

Observações:

1. **Os exercícios devem ser entregues individualmente.**
2. **Recomenda-se mostrar passo a passo a obtenção das soluções, explicando ao máximo os procedimentos adotados.**
3. **Data de entrega: 15 de outubro de 2010.**

1 (valor: 1,0). Um escoamento é considerado compressível quando a variação da massa específica (densidade) é igual ou superior a 5%. Usualmente, o limite entre escoamentos incompressíveis e compressíveis é caracterizado pelo número de Mach igual 0,3. Utilizando uma forma alternativa da equação da energia apropriada, justifique tal afirmação, mostrando que para diversos valores de γ (o que caracteriza diferentes gases ou misturas de gases), o limite entre escoamentos compressíveis e incompressíveis ocorre próximo a Mach 0,3.

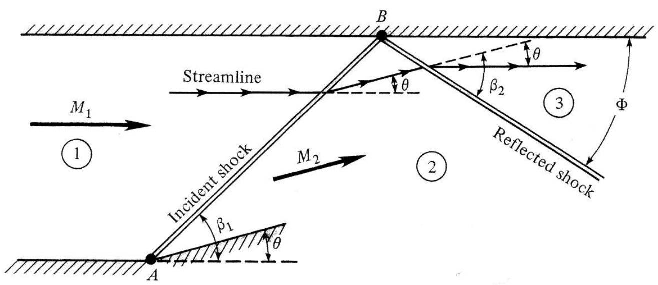
2 (valor: 2,0). Uma importante relação para o estudo de choques oblíquos, obtida de relações geométricas e da equação da energia, é chamada de relação θ-β-M (θ, ângulo de deflexão; β, ângulo da onda de choque; M, número de Mach a montante do choque):

$$\tan(\theta) = 2 \cdot \cot(\beta) \cdot \left\{ \frac{M_1^2 \cdot \sin^2(\beta) - 1}{M_1^2 \cdot [\gamma + \cos(2 \cdot \beta)] + 2} \right\}$$

A partir dessa equação pode-se traçar o diagrama θ-β-M, para diversos casos. Baseando-se na relação anterior, obtenha a expressão para θ-β-M, para o caso em que $M_1 \to \infty$. Faça esboços do diagrama θ-β-M, com os valores de M = 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20 e $M \to \infty$, utilizando valores de $\gamma = 1{,}20$ e $\gamma = 1{,}67$. Para o esboço do diagrama, recomenda-se o uso de uma planilha eletrônica.

3. (valor: 1,0) A partir da equação da energia, assumindo-se que não haja trocas térmicas, dada pela equação: $h_1 + \frac{u_1^2}{2} = h_2 + \frac{u_2^2}{2}$, onde h é a entalpia, u a velocidade em um escoamento unidimensional e os índices 1 e 2 referem-se a estados inicial e final, nessa ordem; obtenha a forma alternativa para a temperatura, dada pela equação $\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2$, onde γ é a razão entre calores específicos do gás e M é o número de Mach do escoamento. (O índice 0 refere-se à propriedade de estagnação).

4 (valor: 2,0). Um escoamento supersônico horizontal entre placas passa sobre uma quina de compressão localizada em um ponto A, sofrendo um choque oblíquo. Tal choque se propaga até atingir a outra superfície no ponto B, de onde ela é refletida. Tem-se, assim, a formação de três regiões distintas: região 1, antes (a montante) do choque; região 2, atrás (a jusante) do choque; e região 3, atrás (a jusante) do choque refletido. Considere que na região 1, tenha-se um escoamento com Mach igual a 3,6, que o ângulo de deflexão (θ) seja de 15 graus, que o escoamento seja de ar (γ = 1,40) e que a temperatura e a pressão estática sejam, respectivamente, de 300 K e 100 kPa. Determine o ângulo Φ existente entre o choque refletido em relação à respectiva parede, bem como o número de Mach, a pressão e a temperatura atrás do choque refletido (região 3).



Se ao invés do conjunto de choques (choque oblíquo e choque refletido), houvesse apenas um choque normal, quais seriam os valores relativos ao número de Mach, à pressão e à temperatura na região atrás (a jusante) do choque?

5 (valor: 1,0). Um bocal convergente-divergente (bocal de Laval) é empregado para a construção de um túnel de vento supersônico. Associado ao bocal existe um reservatório de ar comprimido a 1,5 MPa e 600 K. Considerando-se que o ar escoe de modo isentrópico através do bocal, calcule a pressão e a temperatura do mesmo para os números de Mach iguais a 0,3; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0.

6. (valor: 1,0) Utilizando as equações de conservação da massa, conservação da quantidade de movimento linear e conservação da energia, obtenha a relação entre o número de Mach antes (índice 1) e após (índice 2) um choque normal: $M_2^2 = \dfrac{1+[(\gamma-1)/2]M_1^2}{\gamma M_1^2-(\gamma-1)/2}$.

7. (valor: 2,0) Considere um escoamento supersônico com número de Mach a montante igual a 5 e pressão de 200 kPa. Este escoamento é inicialmente expandido através de uma quina de expansão com ângulo θ igual a 15 graus e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo θ igual a 15 graus, de modo que o escoamento retorna à direção original. Calcule o número de Mach e a pressão a jusante (atrás) da quina de compressão. Refaça os cálculos, considerando primeiro a quina de compressão e em seguida a quina de expansão.