



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**EME-781/MNE-773 TEMC – Dinâmica dos Gases**  
**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: 28 de abril de 2016.**

1. (valor: 20). Uma importante relação para o estudo de choques oblíquos, obtida de relações geométricas e da equação da energia, é chamada de relação  $\theta$ - $\beta$ -M ( $\theta$ , ângulo de deflexão;  $\beta$ , ângulo da onda de choque; M, número de Mach a montante do choque):

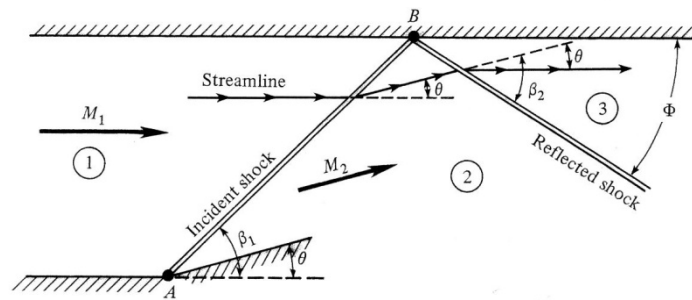
$$\tan(\theta) = 2 \cdot \cot(\beta) \cdot \left\{ \frac{M_1^2 \cdot \sin^2(\beta) - 1}{M_1^2 \cdot [\gamma + \cos(2 \cdot \beta)] + 2} \right\}$$

A partir dessa equação pode-se traçar o diagrama  $\theta$ - $\beta$ -M, para diversos casos. Baseando-se na relação anterior, obtenha a expressão para  $\theta$ - $\beta$ -M, para o caso em que  $M_1 \rightarrow \infty$ . Faça esboços do diagrama  $\theta$ - $\beta$ -M, com os valores de  $M = 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10;$  e  $M \rightarrow \infty$ , utilizando valores de  $\gamma = 1,20$ ,  $\gamma = 1,40$  e  $\gamma = 1,67$ . Para o esboço do diagrama, recomenda-se o uso de uma planilha eletrônica.

2. (valor: 10) Construa a linha de Rayleigh para o escoamento de um gás com  $\gamma = 1,40$ , considerando que o eixo horizontal seja dado por  $(s - s_1)/c_p$ , em que  $s_1$  é a entropia relacionada a um estado de referência e  $c_p$  é o calor específico a pressão constante. Para a plotagem da curva, considere valores de número de Mach no intervalo de 0,01 a 10; também considere como valor de referência Mach = 1.

3 (valor: 20). 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 ( $\theta$ ) seja de 15 graus, que o escoamento seja de ar ( $\gamma = 1,40$ ) e que a temperatura e a pressão estática sejam, respectivamente, de 300 K e 100 kPa.

Determine o ângulo  $\Phi$  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?

4 (valor: 10) Para o caso do choque refletido, trace o diagrama pressão-deflexão correspondente, indicando os pontos 1, 2 e 3.

5 (valor: 10). 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: 10) 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: 
$$M_2^2 = \frac{1 + [(\gamma - 1)/2]M_1^2}{\gamma M_1^2 - (\gamma - 1)/2}$$

7. (valor: 20) 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  $\theta$  igual a 15 graus e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo  $\theta$  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.