



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TM-046 Escoamentos Compressíveis
Prof. Luciano Kiyoshi Araki

SEMESTRE 2016/2 (Segunda lista de exercícios)

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: 23 de novembro de 2016 (quarta-feira).**

1. (valor: 35) Considere um escoamento supersônico com número de Mach a montante igual a 4, pressão de 200 kPa e temperatura de 700 K. Este escoamento é inicialmente expandido através de uma quina de expansão com ângulo θ igual a 12 graus e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo θ igual a 12 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 e também a geração de entropia. Refaça os cálculos, considerando primeiro a quina de compressão e em seguida a quina de expansão. Considere que o gás em questão seja o ar: $\gamma = 1,40$; $R = 287 \text{ J/kgK}$; $c_p = 1004,5 \text{ J/kgK}$.

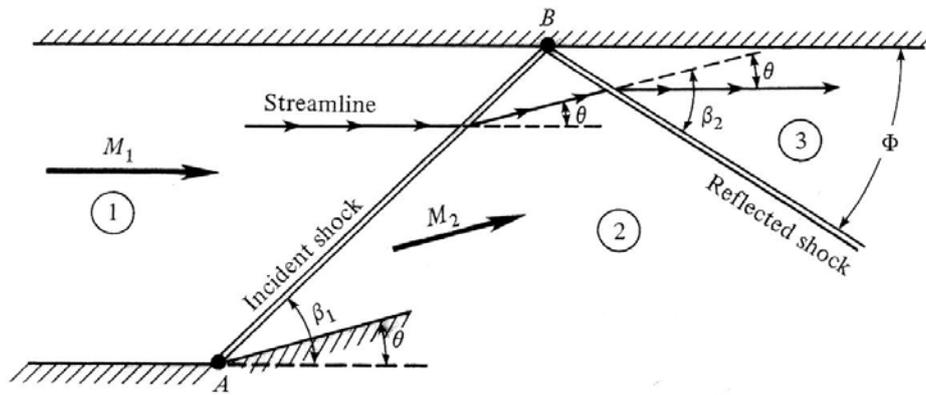
2. (valor: 30) Uma importante relação para o estudo de choques oblíquos, obtida de relações geométricas e da equação da energia, é chamada de relação θ - β -M (θ , ângulo de deflexão; β , ângulo da onda de choque; M, número de Mach a montante do choque):

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

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 $M_1 \rightarrow \infty$. Faça um esboço do diagrama θ - β -M, com os valores de $M = 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20$ e $M \rightarrow \infty$. Utilize $\gamma = 1,20$. Para o esboço do diagrama, recomenda-se o uso de uma planilha eletrônica.

3. (valor: 35). 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 3,2, que o ângulo de deflexão (θ) 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 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?