



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. O valor de *num* é apresentado na tabela ao final dos exercícios.
4. Data de entrega: 21 de maio de 2010.

1 (valor: 1,0). Caracterize os diferentes tipos de escoamentos compressíveis, classificados de acordo com o número de Mach. Dê exemplos de onde ocorrem e sua importância na engenharia mecânica/aeroespacial.

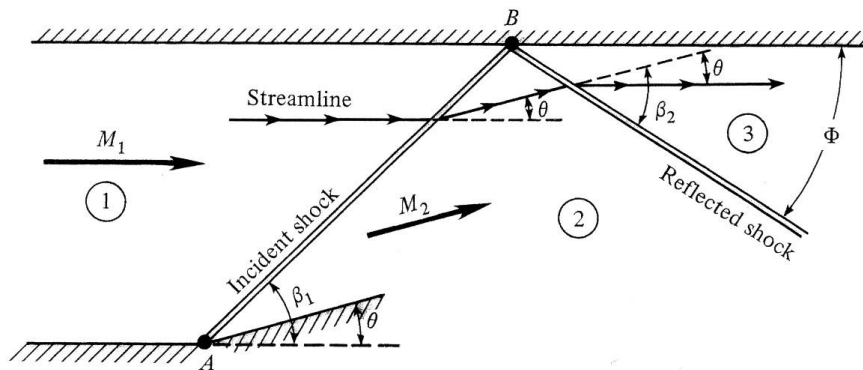
2 (valor: 2,0). Em um reservatório de  $10 \text{ m}^3$  são armazenados 100 kg de hélio a uma temperatura de 300 K. Suponha que uma partícula viaja a 600 m/s dentro desse reservatório. Obtenha as propriedades de estagnação (pressão e temperatura) para essa partícula. Refaça os cálculos, modificando apenas o gás armazenado, de hélio para nitrogênio. Dados: massa molecular do hélio: 4 kg/kmol; massa molecular do nitrogênio: 28 kg/kmol; razão entre calores específicos do hélio: 5/3; razão entre calores específicos do nitrogênio: 7/5; constante universal dos gases: 8314 J/kmol·K.

3 (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  $\theta$ - $\beta$ -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 um esboço do diagrama  $\theta$ - $\beta$ -M, com os valores de  $M = 1,5; 2; 2,5; 3; 5; 10; 20$  e  $M \rightarrow \infty$ . Utilize  $\gamma = 1,10 + 0,02 \cdot \text{num}$ . Para o esboço do diagrama, recomenda-se o uso de uma planilha eletrônica.

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  $3,2 + 0,1 \cdot num$ , que o ângulo de deflexão ( $\theta$ ) seja de  $(15 + num)$  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?

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  $(0,9 + 0,1 \cdot num)$  MPa e  $(500 + 10 \cdot num)$  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: 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  $\theta$  igual a  $(15 + num)$  graus e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo  $\theta$  igual a  $(15 + num)$  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.

### Lista de alunos e valores de *num*

<b>Aluno</b>	<b><i>num</i></b>
André Luis Salvatti	1
Camilla Holzlsauer Marinho Santos	2
Carlos Augusto Richter do Nascimento	3
Daniel Pini Bouabsi	4
Diego Grimm Silvestrin	5
Diego Lucas Ribeiro	6
Elvi José Stofella Neto	7
Guilherme Schulka Lima	8
Gustavo Luiz Olichevis Halila	9
Henrique Lacerda Krambeck	10
Leandro Ferraro Cubas	11
Leandro Reichembach Pizzatto	12
Leonardo Trevisan Massuquetto	13
Luis Henrique Antunes de Oliveira	14
Murilo Heeren	15
Murilo Sant Anna Mazur Roland	16
Paulo Ricardo Simon Hessel	17
Rafael Leal de Azevedo	18
Rafael Luiz Serrato	19
Rodrigo Finger Stadler	20
Rodrigo Kaminski Santiago	21
Thales Takeo Suzuki	22
Thiago de Carvalho e Silva Trevisan	23
Vinicius de Oliveira Dias	24
Wilian Afonso dos Santos	25