



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

SEMESTRE 2011/2 (Primeira 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: 27 de outubro de 2011 (quinta-feira).

1. (valor: 15) Caracterize um escoamento compressível. Apresente a dedução da equação da velocidade do som ( $a = \sqrt{\gamma RT}$ ) no caso de um gás caloricamente perfeito e esclareça o motivo pelo qual nenhum escoamento real é perfeitamente incompressível.

2. (valor: 15) Os escoamentos compressíveis não apresentavam aplicações práticas nem um embasamento teórico satisfatório até a década de 1930. A partir dessa época, no entanto, cresce o interesse por essa classe de escoamentos. Discuta os motivos que levaram aos engenheiros e cientistas a estudar os escoamentos compressíveis e apresente exemplos atuais de sua aplicação.

3 (valor: 20) Considere os seguintes gases: argônio (Ar), massa molecular = 39,95 kg/kmol,  $\gamma = 1,67$ ; neônio (Ne), massa molecular = 20,18 kg/kmol,  $\gamma = 1,67$ ; gás carbônico (CO<sub>2</sub>), massa molecular = 44 kg/kmol,  $\gamma = 1,316$ ; hidrogênio (H<sub>2</sub>), massa molecular = 2,0 kg/kmol,  $\gamma = 1,40$ ; metano (CH<sub>4</sub>), massa molecular = 16,0 kg/kmol,  $\gamma = 1,305$ . Calcule os valores das constantes de cada gás, bem como os valores dos calores específicos a pressão e a volume constante. Obtenha, também, a velocidade do som para cada um dos gases, para uma temperatura de 300 K.

4. (valor: 15) Durante a reentrada do veículo Apollo na atmosfera terrestre, o número de Mach em um dado ponto da trajetória era  $M = 38$  e a temperatura da atmosfera era de 270 K. Calcule a temperatura de estagnação em um ponto do veículo, considerando que o gás (ar) seja caloricamente perfeito ( $R = 287$  J/kgK;  $\gamma = 1,40$ ) e que o mesmo esteja sujeito a um choque normal. Você considera o resultado obtido acurado? Caso negativo, explique o motivo e informe se a temperatura obtida é superestimada ou subestimada.

5. (valor: 15) Considere três gases hipotéticos, com  $\gamma = 1,20$ ,  $\gamma = 1,40$  e  $\gamma = 1,67$ . Todos os gases apresentam  $R = 500 \text{ J/kgK}$ , temperatura de  $500 \text{ K}$  e pressão de  $100 \text{ kPa}$ , estando em escoamento com Mach igual a  $3$ . Se o escoamento nos três gases é submetido a choques normais, calcule os valores dos números de Mach, das temperaturas e das pressões após os respectivos choques.

6. (valor: 10) 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  $\gamma$  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).

7. (valor: 10) Para um túnel de vento supersônico, ar ( $\gamma = 1,40$ ,  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ) é mantido dentro de um reservatório com pressão de  $1 \text{ MPa}$  e temperatura de  $600 \text{ K}$ . Quando em funcionamento, esse ar é acelerado através de um bocal do tipo convergente-divergente. Em condições normais de operação, a saída de ar do bocal é feita a uma pressão igual à atmosférica ( $1,01325 \text{ kPa}$ ), de modo a evitar a ocorrência de ondas de choque. Calcule a temperatura, o número de Mach e a velocidade do escoamento na saída do bocal.