



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

SEMESTRE 2016/2 (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: 19/10/2016 (quarta-feira).**

1. (valor: 15) Apresente a dedução da equação da velocidade do som ($a = \sqrt{\gamma RT}$) no caso de um gás caloricamente perfeito.

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 (CO₂), massa molecular = 44 kg/kmol, $\gamma = 1,316$; hidrogênio (H₂), massa molecular = 2,0 kg/kmol, $\gamma = 1,40$; metano (CH₄), 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 ($R = 287 \text{ J/kgK}$; $\gamma = 1,40$) 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 K e pressão de 100 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 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).

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 MPa e temperatura de 600 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 ($101,325 \text{ kPa}$), 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.