



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TMEC052 – Escoamentos Compressíveis  
Prof. Luciano Kiyoshi Araki

SEMESTRE 2019/2 (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. O valor da constante que aparece no enunciado dos exercícios 2 a 7 está na tabela apresentada após o exercício 7.
4. Data de entrega: 01/11/2019 (sexta-feira).
5. NÃO HAVERÁ AULA DA DISCIPLINA NOS DIAS 18/10 E 25/10.

1. (valor: 10) Apresente a dedução da equação da velocidade do som ( $a = \sqrt{\gamma RT}$ ) no caso de um gás caloricamente perfeito.

2 (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 + const) K.

3. (valor: 10) Durante a reentrada do veículo Apollo na atmosfera terrestre, o número de Mach em um dado ponto da trajetória era  $M = (38 + 0,1 \times \text{const})$  e a temperatura da atmosfera era de (270 + const) 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.

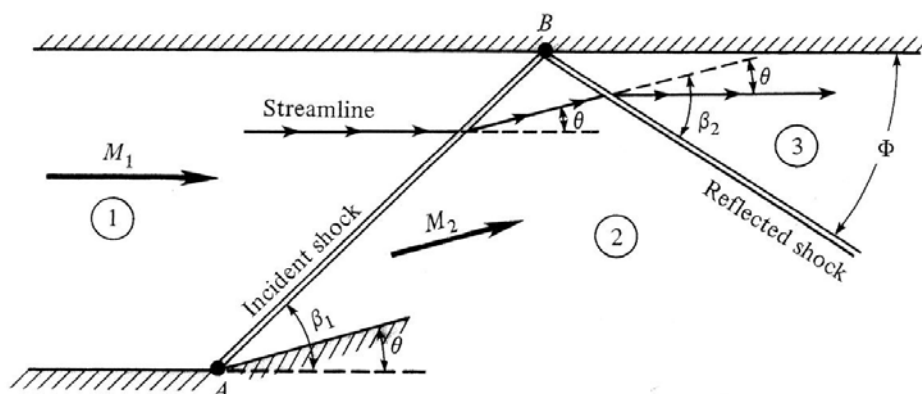
4. (valor: 15) Considere três gases hipotéticos, com  $\gamma = 1,20$ ,  $\gamma = 1,40$  e  $\gamma = 1,67$ . Todos os gases apresentam  $R = 500 \text{ J/kgK}$ , temperatura de  $(500 + \text{const}) \text{ K}$  e pressão de  $100 \text{ kPa}$ , estando em escoamento com Mach igual a 3. Se o escoamento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

5. (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 ( $101,325 \text{ kPa}$ ), 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.

6. (valor: 20) Considere um escoamento supersônico com número de Mach a montante igual a 4, pressão de  $(200 + \text{const}) \text{ kPa}$  e temperatura de  $(700 + \text{const}) \text{ K}$ . Este escoamento é inicialmente expandido através de uma quina de expansão com ângulo  $\theta$  igual a  $12 \text{ graus}$  e posteriormente comprimido através de uma quina de compressão com ângulo  $\theta$  igual a  $12 \text{ graus}$ , 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:  $\gamma = 1,40$ ;  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ;  $c_p = 1004,5 \text{ J/kgK}$ .

7. (valor: 15). 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 ( $\theta$ ) seja de  $15 \text{ graus}$ , que o escoamento seja de ar ( $\gamma = 1,40$ ) e que a temperatura e a pressão estática sejam, respectivamente, de  $(300 + \text{const}) \text{ K}$  e

(100 + const) 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?

CONSTANTE	ALUNO(A):
0	ADEMIR BONFIM
1	ADRIANO SEQUINEL PACHUD
2	ANA BEATRIZ MARQUES DA CUNHA
3	ANDRE AUGUSTO SCHEIBE
4	ANDRE MAEDA
5	ANDREAS MATHEUS GREIN DOS REIS
6	ANGELO GUSTAVO PRODOSCIMO ROCHA
7	ARTUR TEIXEIRA FORTES
8	BRENDO AMORIM USANDIZAGA
9	BRUNA ROHLOFF
10	BRUNO VICTOR VEIGA
11	CESAR HENRIQUE E SILVA
12	CRISTIAN ABRAHIM
13	DANILO MATHEUS DA MOTTA INACIO
14	EDGAR ANGELO POLETTI
15	EDGAR VIEIRA ALVES
16	FELIPE FAVRETTO
17	GABRIEL JOSE GUERNIERI
18	GUILHERME AUGUSTO BORCHARDT
19	GUILHERME FELIPE KUBO
20	GUILHERME FRANCISCO BOJAN
21	GUSTAVO DE MORAIS GUMIERO
22	GUSTAVO MATHEUS BRANDÃO FONTANA
23	GUSTAVO SOBOTA
24	JOAO VICTOR BREMENKAMP BALTAZAR
25	LEONARDO AURELIO BENATO
26	LEONARDO DE ARAUJO FIGUEREDO
27	LUCAS AUGUSTO FARIA SANTANA
28	LUCAS BENATTO BIENIARA
29	LUCAS CARNEIRO

30	LUCAS HENRIQUE SANCHES SALVADOR
31	LUCAS PAES PIMENTA
32	LUCAS PAULINO PEDRON
33	LUCAS PEREIRA DE JESUS
34	LUCAS YUKI EDA
35	MATHEUS HAKIM ANGULSKI
36	MURILO DE MELO VELOZO
37	NICHOLAS MARK CHIMIELEWSKI WACHERSKI
38	NICOLAS EVANGELISTA DE CARVALHO
39	RICARDO GONCALVES LOPES DOS SANTOS
40	RICIERI NEIDERT
41	RODRIGO CARNEIRO MORO
42	VICTOR HENRIQUE MORAIS
43	VINICIUS DE LARA BELEM
44	VINICIUS JOSE LOPES VIEIRA
45	VINICIUS YUJI MIAMOTO
46	VITOR CASSIO YAMAMOTO FRANCESCHINI
47	WILLIAN DA SILVA