

Disciplina: Fenômenos de Transporte 2 (Escoamentos Compressíveis)

Prof.: Dr. Rodrigo Lisita Ribera

www.cienciastermicas.com

Lista de exercício 02

Obs. para cálculo do empuxo (E), utilize a seguinte equação:

$$E = \dot{m}_s V_s - \dot{m}_e V_\infty + (P_s - p_\infty) A_s$$

sendo subscrito “s”: saída; subscrito “e”: entrada.

Ex.01. Um vaso de pressão de volume 10m^3 é utilizado para armazenar ar a alta pressão para a operação de um tunel de ventos supersônico. Se a pressão e temperaturas do ar em seu interior são, respectivamente, 20 atm e 300K:

- Qual a massa de ar armazenada?
- Calcule a energia interna total do gás armazenado.
- Considere que o gás no interior do vaso de pressão seja aquecido, aumentando a temperatura para 600K. Calcule a mudança de entropia do ar armazenado.

Ex 02. Considere o escoamento através de um bocal de um foguete. Assuma que o escoamento através do bocal seja uma expansão isoentrópica de um gás perfeito. Na câmara de combustão, o gás resultante da queima do combustível com o oxidante está à pressão e temperatura de 15atm e 2500K, respectivamente. O peso molecular e calor específico a pressão constante do gás de combustão são 12 e 4157J/Kg.K, respectivamente. O gás expande para velocidade supersônica através do bocal, atingindo temperatura de 1350K na saída. Calcule:

- pressão na saída;
- Mach e velocidade na saída. (Considere condição de estagnação na câmara de combustão)
- Considerando que o empuxo do motor seja de $4,5 \times 10^5$ N, numa altitude em que a pressão ambiente seja de 0,372atm, calcule o fluxo de massa no motor e a área de saída.

Ex 03. Considere uma aeronave turbojato voando à velocidade de 300m/s numa altitude de 10Km, onde a pressão e a densidade da corrente livre são $2,65 \times 10^4$ N/m² e 0,414 Kg/m³, respectivamente. O turbojato possui uma área de entrada de 2m² e área de saída de 1m². A velocidade e a pressão do gás de exaustão são 500m/s e $2,3 \times 10^4$ N/m². A razão mássica combustível-ar é de 0,05. Calcule o empuxo do motor.

Ex 04. Considere um motor a jato que utiliza combustível líquido, queimando hidrogênio líquido como combustível e oxigênio líquido como oxidante. O hidrogênio e o oxigênio são bombeados para a camara de combustão às taxas de 11Kg/s e 89Kg/s, respectivamente. A velocidade e pressão do escoamento na saída do motor são 4000 m/s e $1,2 \times 10^3$ N/m², respectivamente. A área de saída é de 12m². O motor é parte de um foguete que está enviando uma carga para o espaço. Calcule o empuxo do motor quando ele está a uma altitude de 35Km, em que a pressão ambiente é de $0,584 \times 10^3$ N/m²

Ex 05. Num ponto do escoamento sobre uma aeronave de combate F15, a pressão, temperatura e número de Mach são 1890lb/ft², 450R e 1,5 respectivamente. Nesse ponto, calcule T_0 , P_0 , T^* , P^* e a velocidade do escoamento.

Ex 06. Uma onda de choque normal ocorre na seção de testes de um tunel de ventos supersônico. A montante da onda, $M_1=3$, $P_1=0,5$ atm e $T_1=200$ K. Encontre M_2 , P_2 , T_2 e u_2 (velocidade) a jusante da onda.

Disciplina: Fenômenos de Transporte 2 (Escoamentos Compressíveis)
Prof.: Dr. Rodrigo Lisita Ribera
www.cienciastermicas.com
Lista de exercício 02

Ex 07. Um míssil de cabeça arredondada voa a Mach 2 ao nível do mar. Calcule a temperatura e a pressão no nariz do míssil.

Ex 08. Considere um ponto num escoamento supersônico em que a pressão estática seja de 0,4 atm. Quando um tubo de Pitot é inserido no escoamento nesse ponto, a pressão medida pelo tubo é de 3 atm. Calcule:

a) o número de Mach nesse ponto.

b) Para o choque normal que ocorre na frente do tubo de pitot, calcule a mudança de entropia através do choque.

Ex 09. Escoamento transônico é uma mistura de escoamentos subsônico-supersônico, em que o número de Mach local é próximo de 1. Um exemplo típico é o escoamento sobre a asa de uma aeronave subsônica de alta velocidade, tal como o Boeing 777. Quando a aeronave voa num Mach de corrente livre na ordem de 0,85, haverá regiões de escoamento local supersônico sobre a asa. Essas regiões terminam com ondas de choque fracas. Calculos numéricos iniciais desses escoamentos transônicos sobre asas assumem que o escoamento seja isoentrópico, ignorando, portanto, aumento de entropia e perda de pressão total através da onda de choque. Assumindo que a onda de choque seja localmente um choque normal, calcule a razão de pressão total e aumento de entropia através do choque para $M_1=1,04$; $M_1=1,08$; $M_1=1,12$; $M_1=1,16$; $M_1=1,2$. Comente sobre a hipótese de se assumir escoamento isoentrópico na solução de escoamentos transônicos envolvendo choques dessa natureza.

Ex 10. Considere dois escoamentos, um de hélio e outro de ar, no mesmo número de Mach=5. Definindo a força do choque normal como a razão de pressões através do choque, P_2/P_1 , qual gás resultará num choque mais forte? Para um gás monoatômico como o Hélio, $K=1,67$ e para um gás diatômico como o ar, $K=1,4$.

Ex 11. Repita o exemplo 10, mas assumindo velocidades iguais de 1700m/s e temperatura de 288K para ambos os gases.

Ex 12. Ar entra num duto de área de seção constante com $M_1=0,2$ e $P_1=1$ atm e $T_1=273K$. Dentro do duto, o calor adicionado por unidade de massa é de $1,0 \times 10^6 J/Kg$. Calcule as propriedades do escoamento M_2 , P_2 , T_2 , ρ_2 , T_02 , P_02 , na saída do duto.

Ex 13: Ar entra num duto de área de seção constante a $M_1=3$, $P_1=1$ atm e $T_1=300K$. Dentro do duto, calor adicionado por unidade de massa é de $3 \times 10^5 J/kg$.

a) Calcule as propriedades do escoamento M_2 , P_2 , T_2 , ρ_2 , T_02 e P_02 na saída do duto.

b) Quanto de calor por unidade de massa deve ser adicionado para estrangular o escoamento?

c) Considerando as condições de entrada, o que ocorrerá qualitativamente e quantitativamente se uma quantidade de calor de $6 \times 10^5 J/Kg$ for adicionado ao escoamento?

Ex 14. Analise o comportamento das propriedades no escoamento de Rayleigh supersônico e subsônico com adição de calor:

Disciplina: Fenômenos de Transporte 2 (Escoamentos Compressíveis)

Prof.: Dr. Rodrigo Lisita Ribera

www.cienciastermicas.com

Lista de exercício 02

Entrada Supersônica: $M_1 > 1$

a) M_2 ___ M_1 ; b) P_2 ___ P_1 ; c) T_2 ___ T_1 ; d) T_{o2} ___ T_{o1} ; e) P_{o2} ___ P_{o1} ; f) u_2 ___ u_1 (velocidade em x)

Entrada Subsônica: $M_1 < 1$

a) M_2 ___ M_1 ; b) P_2 ___ P_1 ; c) T_2 ___ T_1 ; d) T_{o2} ___ T_{o1} ; e) P_{o2} ___ P_{o1} ; f) u_2 ___ u_1 (velocidade em x)

Ex 15. Considere o escoamento de ar através de um tubo de diâmetro interno 0,15m e comprimento de 30m. As condições de entrada são $M_1=3$, $P_1=1$ atm e $T_1=273$ K. Assumindo $f=\text{constante}=0,005$ calcule:

- a) As condições do escoamento na saída, M_2 , P_2 , T_2 e P_{o2} .
- b) O comportamento do duto necessário para estrangular o escoamento

Ex 16. Para escoamentos com entradas supersônica e subsônica, analise o efeito no atrito no escoamento a jusante:

Entrada Supersônica: $M_1 > 1$

a) M_2 ___ M_1 ; b) P_2 ___ P_1 ; c) T_2 ___ T_1 ; d) P_{o2} ___ P_{o1} ; e) u_2 ___ u_1 (velocidade em x)

Entrada Subsônica: $M_1 < 1$

a) M_2 ___ M_1 ; b) P_2 ___ P_1 ; c) T_2 ___ T_1 ; d) P_{o2} ___ P_{o1} ; e) u_2 ___ u_1 (velocidade em x)