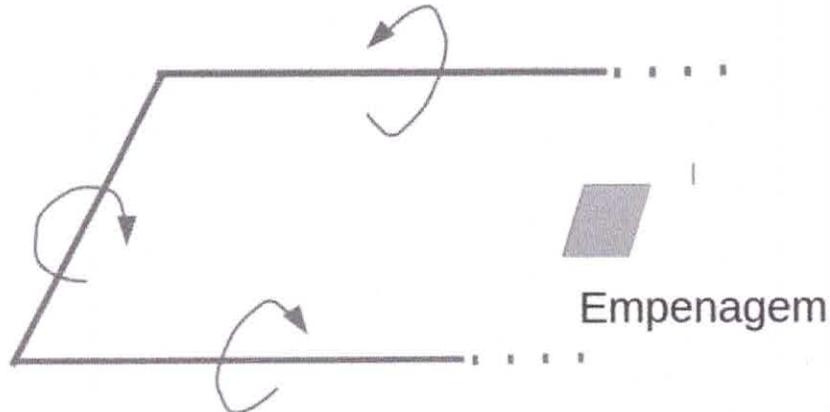


1ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine o desenho abaixo.



O desenho acima representa o sistema de vórtices de uma asa e uma empenagem. Considere, por aproximação, que os vórtices se desprendem da ponta da asa. Sabe-se que a envergadura da asa é 10m, a distância entre um ponto de $\frac{1}{4}$ da corda da asa e a empenagem é 7m. A área da asa é 10m^2 e o CL dessa asa é 1,0. Sendo assim, calcule o ângulo de *downwash* induzido pela asa na empenagem.

Dados:

Lei de Biot-Savart:

$$V = \frac{\Gamma}{4\pi h} (\cos(\alpha_1) + \cos(\alpha_2))$$

$$L = -\rho U \Gamma b$$

Onde Γ é a circulação, α_n são ângulos internos entre o eixo do vórtice e os vetores que ligam os extremos do vórtice ao ponto em que V é calculado, h é a distância entre o vórtice e o ponto em que V é calculado, L é a sustentação e b é a envergadura.

Continuação de 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Considere a seguinte função transferência entre o ângulo de arfagem da aeronave e uma variação angular do profundor:

$$G_{\theta\delta_e}(s) = -10,6 \frac{(s + 0,015)(s + 0,82)}{(s^2 + 0,015s + 0,008)(s^2 + 1,8s + 27)}$$

Com base nessas informações, responda às perguntas abaixo.

- a) A aeronave é dinamicamente estável? (2 pontos)
- b) Quais são os modos da dinâmica longitudinal e seus respectivos autovalores? (3 pontos)
- c) Qual é o amortecimento e a frequência natural não amortecida de cada modo? (3 pontos)

Dados:

Autovalor: $\lambda = n \pm \omega i$ (n : parte real; ω : parte imaginária);

Frequência natural não amortecida: $\omega_n = \sqrt{n^2 + \omega^2}$;

Amortecimento: $\xi = -n/\omega_n$.

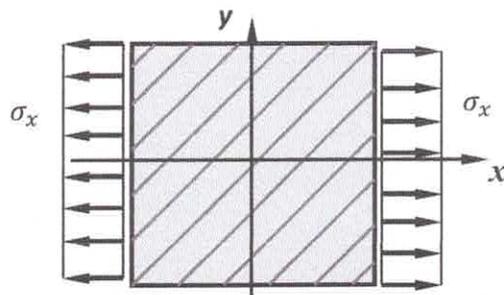
Continuação de 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.



A lâmina ortótropa e transversalmente isotrópica indicada na figura acima possui lados iguais de medida $a = 500$ mm e é formada por fibras unidirecionais orientadas a 45° em relação aos eixos x e y . Considerando que a única tensão aplicada à lâmina consiste na tensão normal $\sigma_x = +40$ MPa, atuante sobre os lados verticais, determine:

a) O tensor das tensões na base $b = (\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$, $[T]_b$, e a matriz de mudança de base $[M]$ que permite obter o tensor das tensões na base formada pelas direções principais de elasticidade $b' = (\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$. (2 pontos)

b) O tensor das tensões na base formada pelas direções principais de elasticidade $b' = (\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$. (2 pontos)

c) O tensor das deformações na base formada pelas direções principais de elasticidade $b' = (\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ e o tensor das deformações na base $b = (\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. (2 pontos)

d) As variações de comprimento da chapa na direção horizontal (x) e na direção vertical (y). (2 pontos)

Dados:

$E_1 = 180$ GPa (módulo de elasticidade na direção das fibras);

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 3ª questão

$E_2 = E_3 = 10$ GPa (módulos de elasticidade em direções ortogonais às fibras);

$\nu_{12} = \nu_{13} = 0,28$ (coeficiente de Poisson maior entre as direções 1-2 e 1-3);

$\nu_{21} = \nu_{31} = 0,0156$ (coeficiente de Poisson menor entre as direções 1-2 e 1-3); e

$G_{12} = 7,2$ GPa (módulo de cisalhamento entre as direções 1-2).

$[T]_{b'} = [M]^t [T]_b [M]$	$[E]_{b'} = [M]^t [E]_b [M]$
$\varepsilon_1 = \frac{+\sigma_1}{E_1} - \nu_{21} \frac{\sigma_2}{E_2} - \nu_{31} \frac{\sigma_3}{E_3}$	$\gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}}$
$\varepsilon_2 = -\nu_{12} \frac{\sigma_1}{E_1} + \frac{\sigma_2}{E_2} - \nu_{32} \frac{\sigma_3}{E_3}$	$\gamma_{23} = \frac{\tau_{23}}{G_{23}}$
$\varepsilon_3 = -\nu_{13} \frac{\sigma_1}{E_1} - \nu_{23} \frac{\sigma_2}{E_2} + \frac{\sigma_3}{E_3}$	$\gamma_{31} = \frac{\tau_{31}}{G_{31}}$

Continuação de 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Um motor turbojato funciona com uma temperatura total na entrada da turbina de 1600 K. O sistema de pressurização da cabine é ligado em altitude usando ar sangrado do compressor. Nessa condição, o motor está voando com Mach 0,6, temperatura ambiente de 260 K, pressão ambiente de 75 kPa e com razão de compressão no compressor de 12:1. A pressurização usa 5% da vazão de ar do motor e é sangrada na saída do compressor, sem alterar a razão de compressão. Considerando o motor como sendo ideal com $Q_r = 45 \text{ MJ/kg}$, $\gamma = 1,4$, $R = 287 \text{ J/(kg K)}$ e $c_p = 1004 \text{ J/(kg K)}$, constantes em todo o motor, calcule:

- a) A pressão total do escoamento livre. (1 ponto)
- b) A temperatura total na saída do compressor. (1 ponto)
- c) A razão combustível/ar. (1 ponto)
- d) A pressão total na saída da turbina com a pressurização desligada. (1 ponto)
- e) O empuxo específico (razão entre empuxo e vazão mássica) com a pressurização desligada. (1 ponto)
- f) A pressão total na saída da turbina com a pressurização ligada. (1 ponto)
- g) O empuxo específico com a pressurização ligada. (1 ponto)
- h) A queda percentual do empuxo específico quando a pressurização é ligada. (1 ponto)

Continuação de 4ª questão

Dados (motor turbojato ideal):

$$\frac{F}{\dot{m}_e} = u_s(1 + f) - u \quad ; \quad a = \sqrt{\gamma RT} \quad ; \quad p_0 = p \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$
$$T_0 = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right) \quad ; \quad f = \frac{T_{04} - T_{03}}{Q_r/c_p - T_{04}} \quad ; \quad \frac{T_{0i}}{T_{0o}} = \left(\frac{p_{0i}}{p_{0o}}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$
$$\Delta T_{0t} = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_t} \Delta T_{0c} \quad ; \quad e \quad u_s = \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma - 1} RT_{0s} \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_{0s}}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}\right]}$$

Use as aproximações

$$x^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = x^{3,5} \approx x^2 x^2$$

$$x^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} = x^{\frac{1}{3,5}} \approx \sqrt{\sqrt{x}}$$

Variáveis: F empuxo; \dot{m} vazão mássica; u velocidade do escoamento; f razão combustível/ar; a velocidade do som; γ razão de calores específicos; R constante do gás; T temperatura; p pressão; M número de Mach; Q_r energia específica do combustível; e c_p calor específico a pressão constante.

Subscritos: e na entrada do motor; s na saída do motor; a ambiente; 0 condição total; i na entrada do conjunto da turbina ou do compressor; o na saída do conjunto da turbina ou do compressor; 3 na entrada da câmara de combustão; 4 na saída da câmara de combustão; c no conjunto do compressor; e t no conjunto da turbina.

Continuação de 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

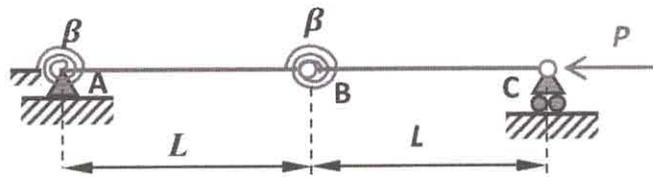
Continuação de 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.



A estrutura idealizada apresentada na figura acima é formada por duas barras rígidas (não deformáveis) de mesmo comprimento L e massas desprezíveis, com articulações ideais (sem atrito) em suas extremidades. Para eliminar o movimento de corpo rígido, são utilizadas duas molas de torção lineares de constante β , dispostas em A e em B. Considere que, na extremidade C, seja aplicada uma força horizontal $P = \beta/L$. Sendo válida a hipótese de pequenos deslocamentos e pequenas rotações, determine o coeficiente de segurança com relação à flambagem desse sistema estrutural.

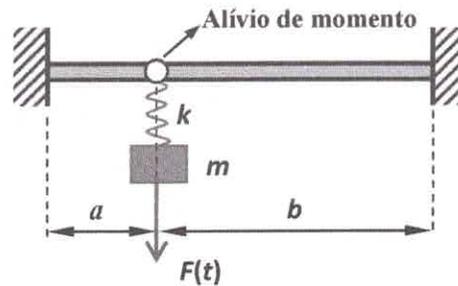
Continuação de 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.



Um bloco de massa m é conectado a uma viga biengastada, de comprimento $L = a + b$, de massa desprezível e com rigidez flexional constante EI , por meio de uma mola linear de constante elástica k , como representado na figura acima. No ponto de conexão entre a mola e a viga, há um alívio de momento (articulação ideal) na viga. Considere que uma força transversal variável no tempo dada por $F(t)$ seja aplicada ao bloco. Com base nessas informações, determine:

a) A equação diferencial de movimento do bloco, a partir de sua posição de equilíbrio estático, em função dos parâmetros fornecidos. (6 pontos)

b) A frequência natural de oscilação do bloco para o caso particular em que $a = b = L/2$ e $k = 24EI/L^3$. (2 pontos)

Continuação de 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Um estágio de impulso de uma turbina deve produzir uma potência específica (potência dividida por vazão mássica) de $120 \text{ kW}/(\text{kg/s})$ e possui velocidades relativas na entrada e na saída do rotor com igual magnitude. Sabendo que a velocidade tangencial das pás da turbina no raio médio é de 400 m/s , que o componente axial da velocidade absoluta do escoamento na entrada do rotor é de 100 m/s , que a temperatura estática na entrada do rotor é de 800 K , que a razão de calores específicos é $1,4$, que a constante do gás é $287 \text{ J}/(\text{kg K})$ e que o calor específico a pressão constante é $1004 \text{ J}/(\text{kg K})$, faça o que se pede.

- Desenhe um esboço aproximado dos triângulos de velocidade na entrada e saída do rotor no raio médio. (2 pontos)
- Qual é a inclinação (tangente do ângulo) da direção do escoamento na saída do rotor, no raio médio, em relação à direção axial? (3 pontos)
- Qual é o valor da componente tangencial da velocidade absoluta na entrada do rotor da turbina? (1 ponto)
- Qual é o valor do número de Mach na entrada do rotor da turbina? (1 ponto)
- Qual é a razão entre as pressões totais na entrada e na saída do estágio para uma eficiência adiabática de 90%? (1 ponto)

Dados:

$$P = \dot{m}U(c_{\theta 2} - c_{\theta 3}) \quad ; \quad \frac{p_{01}}{p_{03}} = \left[1 + \eta_t \frac{U(c_{\theta 2} - c_{\theta 3})}{c_p T_{01}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} ;$$
$$T_0 = T \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right) \quad ; \quad e \quad a = \sqrt{\gamma RT}.$$

Use a aproximação:

$$x^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = x^{3,5} \approx x^2 x^2$$

Variáveis: P potência; \dot{m} vazão mássica; U velocidade tangencial do rotor; c velocidade absoluta do escoamento; a velocidade do som; γ razão de calores específicos; R constante do gás; T temperatura; p pressão; M número de Mach; c_p calor específico a pressão constante; e η_t eficiência adiabática do estágio.

Subscritos: θ componente tangencial; 1 na entrada do estágio da turbina; 2 na entrada do rotor da turbina; 3 na saída do rotor da turbina; e 0 condição total.

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS Concurso: CP-CEM/2023
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Continuação de 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Um estatojato (*ramjet*) ideal voa a $M = 2,0$, em altitude com pressão e temperatura atmosférica $p_a = 11,6$ kPa e $T_a = 205$ K, respectivamente. Considere que a razão entre vazão de combustível e de ar é $f = 0,03$, que o diâmetro de saída do bocal é $D_e = 0,5$ m e que o combustível convencional (querosene) é utilizado com energia $Q_r = 45$ MJ/kg. Use $\gamma = 1,4$, $c_p = 1004$ J/(kg K) e $R = 287$ J/(kg K). Com base nessas informações, calcule:

- a) A temperatura total do escoamento livre. (1 ponto)
- b) A temperatura total na saída do motor. (1 ponto)
- c) A temperatura estática na saída do motor. (1 ponto)
- d) A velocidade do escoamento na saída do motor. (1 ponto)
- e) A densidade do ar na saída do motor. (1 ponto)
- f) A vazão mássica de ar na entrada do motor. (1 ponto)
- g) O empuxo produzido. (2 pontos)

Dados (motor estatojato ideal):

$$F = \dot{m}_e[(1 + f)u_s - u] \quad ; \quad a = \sqrt{\gamma RT} \quad ; \quad p = \rho RT$$
$$T_0 = T \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right) \quad ; \quad f = \frac{T_{0s} - T_{0a}}{Q_r/c_p - T_{0s}}$$

Variáveis: F empuxo; \dot{m} vazão mássica; u velocidade do escoamento; f razão combustível/ar; a velocidade do som; γ razão de calores específicos; R constante do gás; T temperatura; p pressão; ρ densidade; M número de Mach; Q_r energia específica do combustível; e c_p calor específico a pressão constante.

Subscritos: e na entrada do motor; s na saída do motor; a ambiente; e 0 condição total.

Continuação de 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

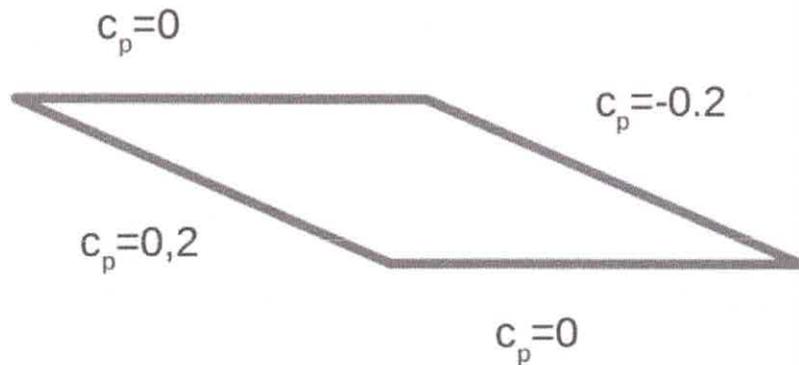
Continuação de 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.



O aerofólio da figura acima possui corda c e espessura t . Ele está posicionado em um ângulo de ataque α imerso em um escoamento a $Ma = 2$. Com base nessa informação, faça o que se pede.

- a) Indique as ondas de choque e ondas de expansão que ocorrerão sobre o aerofólio. (4 pontos)
- b) Em $Ma = 4$, quais deveriam ser os valores de espessura, de câmber e de ângulo de ataque para que ocorressem os mesmos valores de c_p sobre o aerofólio? (2 pontos)
- c) Em $Ma = 3$, quais os valores de c_p desse aerofólio? (2 pontos)

Dados:

$$\gamma = \frac{\sqrt{|1-M_1^2|}}{\sqrt{|1-M_2^2|}};$$

$$c_p(M_1, \alpha, \beta, \tau) = c_p(M_2, \alpha/\gamma, \beta/\gamma, \tau/\gamma); \text{ e}$$

$$c_p(M_1, \alpha, \beta, \tau) = c_p(M_2, \alpha, \beta, \tau)/\gamma.$$

Continuação de 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

10ª QUESTÃO (8 pontos)

Uma aeronave de monitoramento não tripulada (massa $m = 250$ kg) realiza um voo planado simétrico descendente e, em um dado instante da trajetória, apresenta velocidade de 40 m/s e ângulo de ataque de 3° . Nesse instante, a aeronave tem uma razão de descida de 7 m/s, e o sensor inercial da aeronave registra as acelerações $0,7$; 0 e $9,6$ m/s², e velocidades angulares de $0,0$; $0,5$ e $0,0$ rad/s em relação aos eixos do corpo x , y e z , respectivamente. O sensor inercial permite medir as acelerações lineares e as velocidades angulares da aeronave. Considere que o sensor está localizado no centro de gravidade da aeronave e que a atmosfera local está em repouso. Com base nessas informações, faça o que se pede.

- a) Qual é o ângulo de arfagem da aeronave? (2 pontos)
- b) Determine as forças que agem na aeronave considerando o sistema de eixos do corpo. (3 pontos)
- c) Determine as forças aerodinâmicas, em relação ao sistema de eixos do corpo, que agem sobre a aeronave. (3 pontos)

Dados:

$$\vec{f}_b = m (\dot{\vec{v}}_b + \vec{\omega}_b \times \vec{v}_b);$$

$$\vec{f}_b = \vec{f}_a + m L_{BE} \vec{g};$$

$$L_{BE} = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi - \sin \phi \cos \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix};$$

\vec{f}_b : vetor de forças de acordo com o referencial do corpo;

\vec{f}_a : vetor de forças aerodinâmicas no referencial do corpo;

$\vec{\omega}_b$: vetor com as velocidades angulares;

\vec{v}_b : vetor com as velocidades lineares;

ϕ, θ, ψ : ângulos de Euler; e

Aceleração gravitacional $g = 9,81$ m/s².

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA MECÂNICA AERONÁUTICA

Concurso: CP-CEM/2023

Continuação de 10ª questão