4300112 – Física II

Prova Geral - PG2 - 2012

Observações:

- Esta prova tem duração de 2 horas.
- Não é permitido o uso de calculadora nem de celular (manter desligado).
- Deixe sobre a carteira uma identidade com foto.
- Preencha com seu nome, número USP, número da Turma e nome do Professor em todas as folhas de respostas (Turmas: 1- José Roberto (Zero); 2- Lucy; 3- Renato).
- Resolva cada exercício a partir da frente da folha com a numeração correspondente; use o verso das folhas caso necessário.
- Caso apareça alguma raiz que não seja um quadrado perfeito, deixe indicado.
- Não esqueça das unidades, cálculos intermediários e justificativas sucintas nas respostas.

Formulário:

$$N_0 = 6,023 \times 10^{23}\,, \quad R = 8,3\ \text{J/(mol.K)}\,, \quad k = \frac{R}{N_0} = 1,38 \times 10^{-23}\ \text{J/K}\,,$$

$$W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} P dV\,, \quad dU = nC_V(T)dT\,, \quad dS = \frac{dU}{T} + \frac{PdV}{T}\,, \quad s(V,T) = \frac{S}{n} = C_V \ln T + R \ln V + \text{const.}$$

$$PV = \frac{1}{3}Nm\langle v^2\rangle = \frac{2}{3}\langle E_c\rangle\,, \qquad P_M = \frac{RT}{V_M - b} - \frac{a}{V_M^2}.$$

Questão 1

O ciclo de Stirling idealizado (vide figura) consiste de uma expansão isotérmica ab à temperatura T_1, seguida de um esfriamento bc a volume constante V_2, uma compressão istotérmica cd à temperatura T_2, e um aquecimento da a volume constante V_1.

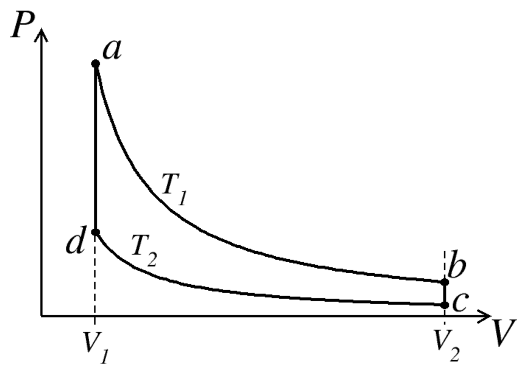
Um fluido utilizado para executar o ciclo consiste de uma mistura de números iguais de moles $n_1 = n_2$ de dois tipos de gases ideais, um deles monoatômico ($C_V^{mono}/n_1 = \frac{3}{2}R$) e o outro diatômico ($C_V^{dia}/n_2 = \frac{5}{2}R$).

(a) [0,5] Determine a capacidade térmica a volume constante C_V da mistura em função do número total de moles de gás $n = n_1 + n_2$

(b) [1,0] Calcule o calor trocado Q_{ij} em cada etapa do ciclo como função de n, do fator de compressão $r = \frac{V_2}{V_1}$, e das temperaturas T_1 e T_2.

Sendo o fator de compressão $r = e^2$ (onde $e \simeq 2,718$ é o número de Euler, $\ln e = 1$):

(c) [1,0] Obtenha uma expressão para o rendimento η do ciclo em função de T_1 e T_2 ($T_1 > T_2$). Mostre explicitamente que $\frac{\eta_{máx}}{\eta} > 1$ onde $\eta_{máx}$ é o rendimento máximo permitido pela segunda lei da termodinâmica para um ciclo que opere entre as mesmas temperaturas extremas.



Questão 2

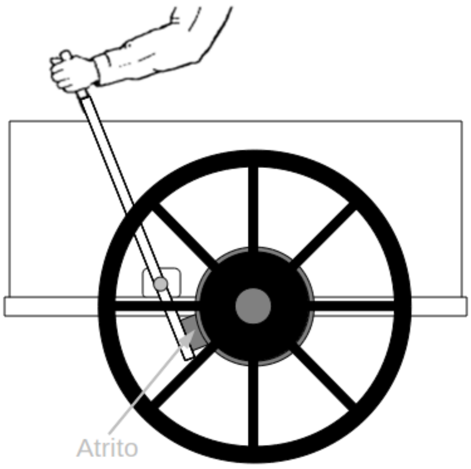
Uma carroça de massa M encontra-se em movimento retilíneo e uniforme na horizontal com velocidade v após descer uma ladeira. O freio da carroça consiste de duas peças de metal (um bloco e um anel) de boa condutividade térmica, que são comprimidas por uma alavanca de forma a produzir grande quantidade de atrito entre si (vide figura). Inicialmente a carroça está em equilíbrio térmico com o ambiente à temperatura T_A. O condutor da carroça aciona a alavanca gerando atrito e fazendo com que a carroça pare em um intervalo de tempo curto. As peças de metal tem uma capacidade térmica total C. A condutividade térmica das demais peças da carroça é desprezível, bem como o atrito de rolamento nos eixos e nas rodas, em contato com o chão. O atrito com o ar também é desprezível. Assumindo M, T_A e C como constantes fornecidas:

(a) [0,3] Calcule a temperatura final T_m das peças de metal do freio, logo que a carroça entra em repouso, em função da velocidade inicial v.

(b) [0,6] Calcule a variação da entropia ΔS_m das peças de metal do freio devido ao processo de frenagem em função de T_m.

(c) [0,6] Permanecendo a carroça em repouso, as peças de metal esfriam lentamente (em comparação com o tempo de frenagem) em contato com o ar do ambiente, até que ocorra o equilibrio térmico. Determine a variação da entropia ΔS_A do ambiente neste processo de esfriamento, como função de T_m.

(d) [1,0] Determine a variação total da "Entropia do Universo" associada ao processo de frenagem do item (b) $\Delta S_U(b)$, e ao de esfriamento do item (c) $\Delta S_U(c)$, em função de T_m.

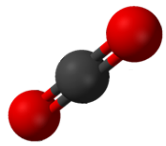


Questão 3

Um recipiente com volume V_0 contém uma mistura de gases em equilíbrio térmico a uma pressão P_0. A mistura gasosa é formada por 6 g de He (monoatômico), 32 g de O_2 (diatômico) e 22 g de CO_2 (poliatômico). As massas molares dos elementos He, C e O são 4 g, 12 g e 16 g, respectivamente.

(a) [1,3] Obtenha as expressões da pressão parcial e da velocidade quadrática média em função da energia cinética média por mol $\langle E_c \rangle_{\text{mol}}$ de cada um dos gases. Calcule seus valores numéricos dados $V_0 = 1\ \ell$ e $P_0 = 6,4 \times 10^5$ Pa.

Assuma que as moléculas do gás O_2 possuam apenas graus de liberdade de translação e rotação, e que as moléculas do gás CO_2 possuam uma configuração colinear com apenas um modo de vibração.



Molécula de CO_2.

(b) [1,2] Obtenha expressões para a energia interna U, energia interna molar U_M e capacidade térmica molar a volume constante C_V dessa mistura gasosa em função do produto RT. Obtenha numericamente RT usando o teorema da equipartição de energia e os dados do item anterior.

Questão 4

A figura avulsa ilustra duas isotermas de Van der Waals para 1 mol de gás a temperaturas T_1 e $T_2 < T_1$, bem como a curva $P_0 = \frac{a}{V_M^2} - \frac{2ab}{V_M^3}$.

(a) [0,8] A partir da equação de Van der Waals, obtenha a expressão de P_0 acima, escrevendo todas as passagens matemáticas relevantes.

(b) [1,2] Utilize essa expressão para obter a pressão P_C, o volume V_C e a temperatura T_C no ponto crítico em função dos parâmetros de Van der Waals a e b.

(c) [0,5] Desenhe na figura a isoterma de Van der Waals correspondente à temperatura crítica T_C e, na isoterma $T = T_1$, a linha onde ocorre a transição gás-líquido em condições de equilíbrio térmico estável. Descreva a prescrição que define esta linha.

Nome: .... No USP: ....
Turma: .... Prof. :......................... .