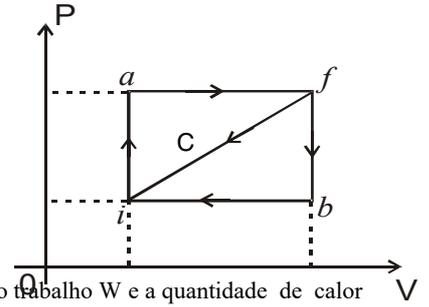


**LISTA DE EXERCÍCIOS - TERMODINÂMICA**

- 1) O pêndulo de um relógio feito de invar ( $\gamma = 0,7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) tem período de 0,50 s e é exato a 20 °C. Se levarmos o relógio para um local à temperatura de 30 °C, qual a correção necessária aproximada do relógio, após 30 dias? **Resp: 9 s.**
- 2) Num termômetro de mercúrio, acopla-se um tubo capilar de vidro a um reservatório numa extremidade do tubo. A uma dada temperatura  $T_0$ , o mercúrio está todo contido no reservatório de volume  $V_0$ . Sendo  $V_0 = 0,2 \text{ cm}^3$ , qual deve ser o diâmetro do capilar em mm para que a coluna do mercúrio suba de 1cm quando a temperatura aumenta de 1°C. Considere  $\alpha = 9,0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  para o vidro e  $\gamma = 1,8 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$  para o mercúrio. **Resp: 0,062 mm**
- 3) Um frasco que possui volume igual a 1000,0  $\text{cm}^3$  a 0,0° C está completamente cheio de mercúrio com esta mesma temperatura. Quando o sistema é aquecido até 60,0° C, um volume de 7,8  $\text{cm}^3$  de mercúrio transborda. Sabendo que o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é igual a  $18,0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ , calcule o coeficiente de dilatação linear do material do frasco.
- 4) Um anel de cobre tem exatamente **1,00000 cm** de diâmetro à temperatura de **0 °C**. Uma esfera de alumínio tem exatamente **1,00200 cm** de diâmetro à **100 °C**. A esfera é colocada na parte superior do anel, permitindo que os dois corpos adquiram equilíbrio térmico, não havendo perdas de calor para a vizinhança. A esfera atravessa o anel tão logo atinge o equilíbrio térmico.  $\alpha_{\text{Al}} = 24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_{\text{Cu}} = 1,7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ;  $c_{\text{Al}} = 0,91 \text{ J/gK}$ ;  $c_{\text{Cu}} = 0,39 \text{ J/gK}$
- a) Calcule a temperatura de equilíbrio entre a esfera e o anel.  
b) Qual é a razão entre a massa da esfera e a massa do anel?
- 5) Um cilindro oco de alumínio com **20,0 cm** de profundidade tem uma capacidade de **2,000 L** a **20,0 °C**. Ele é completamente cheio de terebintina e, então, lentamente aquecido até **80,0 °C**.  $\beta = 9,0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_{\text{Al}} = 24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- a) Quanta terebintina transborda? **Resp. 99,36 ml.**  
b) Se o cilindro for então resfriado para **20,0 °C**, a que distância da borda do cilindro ficará a superfície da terebintina? **Resp. 0,9936 cm.**
- 6) Em temperaturas muito baixas, o calor específico de um metal pode ser expresso por  $c = aT + bT^3$ . No caso do cobre,  $a = 0,0108 \text{ J/kg.K}^2$  e  $b = 7,62 \cdot 10^{-4} \text{ J/kg.K}^4$ .
- a) Qual é o calor específico do cobre a 4 K?  
b) Qual o calor necessário para aquecer 1 kg do metal de 1 a 3 K? **Resp: 0,0920 J/kg.K e 0,0584 J**
- 7) Considere um fluido escoando estacionariamente através de um calorímetro, com vazão mássica  $V_m$  constante. Penetrando à temperatura  $T_i$ , o fluido passa por um aquecedor elétrico de potência  $P$  constante emergindo a uma temperatura  $T_f$ . Encontre uma expressão para medir o calor específico de um fluido. **Resp:  $c = P / [V_m \cdot (T_f - T_i)]$**
- 8) Num dia de inverno de uma cidade no hemisfério norte, a temperatura externa é de -20 °F e a temperatura interna de uma casa é de 72 °F. Supondo que a condução de calor seja o único mecanismo importante para a perda de calor e que as condutividades do vidro e do ar sejam respectivamente 1.0 W/m K e 0.026 W/m K, ache a taxa de perda de calor por unidade de área (em W/m<sup>2</sup>):
- a) Através de uma janela de 3,0 mm de espessura. **Resp:  $1,70 \times 10^4 \text{ W/m}^2$**   
b) No caso de uma janela dupla, instalada com vidros de mesma espessura, mas com uma camada de ar de 7,5 cm de espessura entre os vidros. **Resp:  $17,7 \text{ W/m}^2$**
- 9) A constante solar na terra é de 1,36 kW/m<sup>2</sup>, para uma incidência perpendicular dos raios solares. Para um elemento de área tem uma normal que faz um ângulo  $\theta$  com a direção dos raios solares, o fluxo varia com  $\cos(\theta)$ .
- a) Calcule a quantidade de energia solar que chega à terra por dia. **Resp.  $1,5 \times 10^{22} \text{ J/dia}$ .**  
b) Sabe-se que 23 % da energia solar incidente sobre a água vai produzir evaporação. Sabendo que 71 % da superfície da Terra são oceanos, calcule a profundidade da camada de água que evapora por dia. **Resp. 0,28 cm.**
- 10) Seja um aparato constituído de uma mistura de 500 g de água e 100 g de gelo em equilíbrio a 0°C, no qual colocamos 200g de vapor de água a 100°C.
- a) Encontre a temperatura final da mistura, sabendo-se que o calor específico da água, o calor de vaporização da água e o calor de fusão do gelo valem, respectivamente, 1 cal/g °C, 540 cal/g e 80 cal/g. **Resp: 100°C ;**  
b) Qual é a massa de água e de vapor d'água no estado final? **Resp: 725,9 g e 74,1 g**
- 11) Um grupo de amigos se reúne para fazer um churrasco. Preparam um recipiente térmico adiabático contendo **15 kg** de gelo a **-10° C** e **120 latas** com **350 mL** de refrigerante, cada uma. As latas são de alumínio (**30 g** cada) e quando foram colocadas no recipiente estavam a uma temperatura de **25° C**. Considere que a densidade e o calor específico do refrigerante sejam, aproximadamente, iguais aos da água. Calcule a temperatura final dentro do recipiente quando o sistema entrar em equilíbrio térmico.
- a) Qual a quantidade de gelo que resta quando o sistema atinge o equilíbrio térmico? Justifique.  
b) Qual é a temperatura final no equilíbrio térmico?

12) Um bloco de gelo de uma tonelada, solta-se de uma geleira, desliza por uma encosta de 10 graus de inclinação com velocidade constante de 0,1 m/s. O calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g. Calcule a quantidade de gelo que derrete por minuto em consequência do atrito. Resp: 30,5 g.

13) Um fluido homogêneo pode passar de um estado inicial  $i$  a um estado final  $f$  no plano  $(P,V)$  através de dois caminhos diferentes, representados por  $iaf$  e  $ibf$  no diagrama ao lado. A diferença de energia interna entre os estados inicial e final é  $U_f - U_i = 50J$ . O trabalho realizado pelo sistema na passagem de  $i$  para  $b$  é de 100J. O trabalho realizado pelo sistema quando descreve o ciclo  $(iafbi)$  é de 200J. A partir destes dados, determine, em magnitude e sinal:



- a) a quantidade de calor  $Q$  associado ao caminho  $ibf$ . **Resp: 150 J**
- b) o trabalho associado ao caminho  $af$ . **Resp: 300 J**
- c) a quantidade de calor  $Q$  associada ao caminho  $iaf$ . **Resp: 350 J**
- d) se o sistema regressa do estado final ao estado inicial segundo a diagonal  $fci$  do retângulo, o trabalho  $W$  e a quantidade de calor  $Q$  associados a este caminho. **Resp: -200 J e -250 J**

14) Sob as condições de 1 atm e 27°C, 1 litro de Hidrogênio é comprimido isotermicamente até ficar com 0,5 litro. Depois é resfriado, a volume constante, até voltar à pressão inicial. Através de uma expansão isobárica o sistema retorna ao ponto de partida, realizando um ciclo. Pede-se:

- a) a representação do processo em um diagrama PV, indicando  $P(\text{atm})$ ,  $V(\text{litro})$  e  $T(\text{K})$  para cada vértice.
- b) o cálculo do trabalho total realizado;
- c) o cálculo das variações da energia interna e da quantidade de calor em cada etapa.

**Resp: a)  $p_A=1\text{ atm}$ ,  $T_A=300\text{ K}$  e  $V_A=1\text{ l}$ ;  $p_B=2\text{ atm}$ ,  $T_B=300\text{ K}$  e  $V_B=0.5\text{ l}$ ;  $p_C=1\text{ atm}$ ,  $T_C=150\text{ K}$  e  $V_C=0.5\text{ l}$ ;  
b)  $W_{\text{total}} = 19.19\text{ J}$ ; c)  $\Delta U_{AB}=0$  e  $Q=-69.69\text{ J}$ ;  $\Delta U_{BC}=Q=-126.20\text{ J}$ ;  $\Delta U_{CA}=126.25\text{ J}$  e  $Q=176.75\text{ J}$**

15) Uma molécula de hidrogênio escapa de um forno a  $T = 4000\text{ K}$ , através de um pequeno furo. Qual é a velocidade que a molécula de hidrogênio passa pelo furo?

**Resp:  $7,03 \times 10^3\text{ m/s}$**

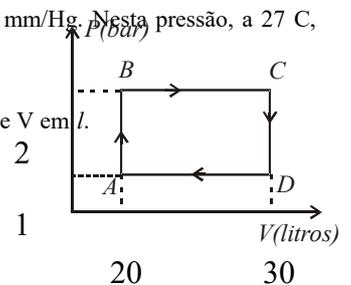
10) Sabe-se que o mecanismo de propagação do som é adiabático. Se considerássemos o ar como um gás ideal diatômico e sendo a densidade do ar  $1,29\text{ Kg/m}^3$ , mostre que velocidade do som no ar na pressão de 1 atm e na temperatura de 0°C vale 332 m/s.

16) Um feixe molecular de oxigênio contendo  $10^{10}$  moléculas/cm<sup>3</sup> de velocidade média 500 m/s incide sobre uma placa segundo um ângulo de 30° com a normal à placa. Calcule a pressão exercida pelo feixe sobre a placa. Resp.  $2 \times 10^{-4}\text{ N/m}^2$ .

17) Um dos vácuos mais elevados que podem ser produzidos corresponde a uma pressão de  $10^{-12}\text{ mm/Hg}$ . Nesta pressão, a 27°C, quantas moléculas de ar por cm<sup>3</sup> ainda permanecem? Resp.  $3,22 \times 10^4\text{ mol/cm}^3$ .

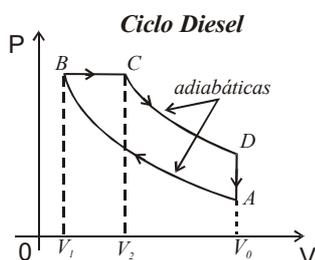
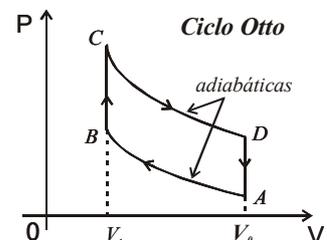
18) Um mol de um gás ideal diatômico ( $\gamma = 7/5$ ) descreve o ciclo ABCDA, onde P é medido em bar e V em l.

- a) Calcule as temperaturas nos vértices. **Resp:  $T_A=240.6\text{ K}$ ;  $T_B=481\text{ K}$ ;  $T_C=722\text{ K}$ ;  $T_D=361\text{ K}$ ;**
- b) Ache o rendimento de um motor térmico operando segundo este ciclo. **Resp: 8.3%;** c) Compare o resultado (b) com o rendimento ideal associada às temperaturas extremas do ciclo. **Res: 66.7%**



19) Calcule o rendimento do ciclo Otto, que esquematiza idealmente o que ocorre num motor de 4 tempos a gasolina. Expresse seu resultado em termos da taxa de compressão adiabática  $r_c$ , que é a razão entre os volumes máximo ( $V_0$ ) e mínimo ( $V_1$ ) que o vapor de combustível é submetido na compressão adiabática. Assumindo o agente como um gás ideal diatômico, calcule o rendimento para  $r_c = 10$ .

$$\text{Resp: } \eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \left(\frac{1}{r_c}\right)^{\gamma-1}; \quad \eta = 0,602$$



20) Faça o mesmo para o ciclo Diesel. Para este caso, expresse o resultado em termos da taxa de compressão  $r_c$ , que representa a razão entre o volume máximo ( $V_0$ ) e o mínimo ( $V_1$ ), bem como da taxa de expansão adiabática  $r_e$ , que representa a razão entre o volume máximo ( $V_0$ ) e o intermediário ( $V_2$ ) na expansão adiabática. Assumindo o agente como um gás ideal diatômico, faça  $r_c = 15$ ,  $r_e = 5$  e calcule o rendimento.

$$\text{Resp: } \eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} \quad \eta = 1 - \frac{1 - \left(\frac{1}{r_e}\right)^\gamma - \left(\frac{1}{r_c}\right)^\gamma}{\left(\frac{1}{r_e}\right)^\gamma - \left(\frac{1}{r_c}\right)^\gamma} ; \quad \eta = 0,558$$

21) Um refrigerador deve conservar sua temperatura interna em  $0^\circ\text{C}$  enquanto a temperatura externa é de  $25^\circ\text{C}$ .

Supondo que, a cada dia, penetre nele  $10^8$  J de calor e que seu coeficiente de desempenho seja 30 % menor que o de um refrigerador ideal de Carnot, determine:

- a) O trabalho (por dia) e a potência necessária para operar o refrigerador. **Resp:  $W = 1,31 \times 10^7$  J;  $P = 151,4$  W**  
 b) O custo mensal supondo que seja cobrado R\$ 0,24 por quilowatt-hora. **Resp: R\$ 26,16**

22) Considere cada uma das seguintes expansões de  $n$  moles de um gás ideal de um volume  $V_i$  a um volume  $V_f$ : I - Expansão Isotérmica reversível; II- Expansão Livre

- a) Determine a variação de entropia do sistema nos dois processos. **Resp:  $\Delta S_{\text{sis}}^I = \Delta S_{\text{sis}}^{II} = nR \ln(V_f/V_i)$**   
 b) Determine a variação de entropia do universo para os dois processos comparando-os.

$$\text{Resp: } \Delta S_{\text{univ}}^I = 0 \quad \text{e} \quad \Delta S_{\text{univ}}^{II} = nR \ln(V_f/V_i)$$

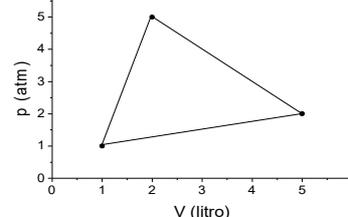
23) Um cubo de gelo de 10 g a  $-10^\circ\text{C}$  é colocado em um lago cuja temperatura é de  $15^\circ\text{C}$ . Calcule a variação de entropia do sistema (cubo de gelo) quando entra em equilíbrio com o reservatório (lago), sendo o calor específico da água e do gelo, respectivamente,  $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  e  $0,5 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  e o calor latente de fusão  $80 \text{ cal/g}$ . **Resp:  $3,65 \text{ cal/K}$**

24) Uma chaleira contém 1 litro de água em ebulição. Despeja-se toda a água numa piscina que está à temperatura ambiente de  $20^\circ\text{C}$ . De quanto variou:

- a) a entropia da água da chaleira? **Resp:  $-241 \text{ cal/K}$** ; b) a entropia do universo? **Resp: b)  $31,6 \text{ cal/K}$** .

25) Um gás ideal monoatômico, com **0,6 moles**, realiza o ciclo termodinâmico indicado no gráfico ao lado. Onde a pressão é dada em **atm** e o volume em **litros** e o ciclo é percorrido no sentido horário.

- a) Calcule a temperatura em cada vértice.  
 b) Calcule o trabalho realizado em cada etapa e no ciclo.  
 c) Calcule a variação da energia interna e a quantidade de calor trocada em cada etapa.



26) Um ciclo teórico consta de quatro etapas, duas isotérmicas e duas isocóricas. Considere que um gás diatômico realiza este ciclo dentro de um motor térmico. 1) A partir de um estado inicial ( $p_0 = 1,0 \text{ atm}$ ;  $V_0 = 5,0 \text{ L}$  e  $T_0 = 300\text{K}$ ) o gás sofre uma compressão isotérmica até seu volume se reduzir de cinco vezes. 2) Depois sofre um aquecimento a volume constante até sua temperatura atingir **600K**. 3) Passa por uma expansão isotérmica até que seu volume volta ao valor inicial. 4) E através de um resfriamento a volume constante volta ao estado inicial, completando um ciclo.

- a) Faça um diagrama do ciclo no plano PV, indicando o volume, a pressão e a temperatura em cada vértice.  
 b) Calcule o trabalho, a variação da energia interna e o calor trocado em cada etapa do ciclo.  
 c) Calcule o rendimento de um motor térmico que funciona segundo este ciclo.

27) Uma amostra de **2,00 moles** de um gás ideal com  $\gamma = 1,4$  se expande lentamente e adiabaticamente da pressão **5,0 atm** e volume de **12,0 L** para um volume final de **30,0 L**.

- a) Qual é a pressão final do gás ?  
 b) Quais são as temperaturas inicial e final ?  
 c) Encontre a variação da energia interna, o calor trocado e o trabalho realizado pelo gás durante a expansão.

28) À pressão atmosférica, a vaporização completa de **1,00 L** de água a **100°C** gera **1,671 m³** de vapor de água. O calor latente de vaporização da água a esta temperatura é igual a **539,6 cal/g**.

- a) Quanto trabalho é realizado pela expansão do vapor no processo de vaporização de **1,00 L** de água? **Resp.  $1,7 \times 10^5$  J**.  
 b) Qual é a variação de energia interna do sistema nesse processo? Dado:  $1,0 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ . **Resp.  $20,97 \times 10^5$  J**.  
 c) Calcule a variação da entropia no sistema (água). **Resp.  $6,08 \text{ kJ/K}$** .

29) O ciclo teórico de Stirling consta de quatro etapas, duas isotérmicas e duas isocóricas. Considere que um gás diatômico realiza este ciclo dentro de um motor térmico. 1) A partir de um estado inicial ( $p_0 = 1,0 \text{ atm}$ ;  $V_0 = 49,24 \text{ L}$  e  $T_0 = 300\text{K}$ ) o gás sofre uma compressão isotérmica até que seu volume se reduz de dez vezes. 2) Depois sofre um aquecimento a volume constante até atingir a temperatura  $T = 600\text{K}$  da fonte quente. 3) Sofre uma expansão isotérmica até voltar ao volume inicial. 4) E através de um resfriamento a volume constante volta ao estado inicial, completando um ciclo.

- a) Faça um diagrama do ciclo no plano PV, indicando o volume, a pressão e a temperatura em cada vértice.  
 b) Calcule o trabalho no ciclo. **Resp.  $11,48 \text{ kJ}$** .  
 c) Calcule o rendimento de uma máquina térmica que funciona segundo este ciclo. **Resp.  $32,4 \%$** .

30) Prove que, se a temperatura de um corpo sobre pressão aumentar mas ele for impedido de se dilatar, o aumento da pressão é dado por  $\Delta p = Y\gamma\Delta T$ .

31) Qual é a pressão necessária para impedir que um bloco de aço sofra expansão quando sua temperatura aumenta de 20 °C para 35 °C?

32) Uma barra de aço, cilíndrica, de comprimento inicial  $L_0$  e área de seção reta  $A$  (ver figura a), é deformada pela ação de uma força de tração  $F$ , aplicada conforme mostrado na figura b. O gráfico da figura c mostra como varia a tensão  $\sigma$  (força de tração por unidade de área de seção reta) versus deformação relativa,  $\Delta L/L_0 = (L-L_0)/L_0$ . O trecho da curva compreendido entre os pontos O e P corresponde a uma relação linear entre tensão térmica e deformação relativa, dada por  $F/A = Y\Delta L/L_0$ , em que a constante  $Y$  é conhecida como módulo de elasticidade ou módulo de Young. O ponto R, marcado sobre a curva da figura c, indica o par de valores (tensão, deformação relativa) para o qual há ruptura da barra.

a) Calcule o valor da constante  $E$  para o aço em questão e expresse suas unidades. Resp:  $10^{10} \text{N/m}^2$

b) Qual a porcentagem de alongamento da barra no ponto em que ela atinge o rompimento? Resp: 20% de  $L_0$

