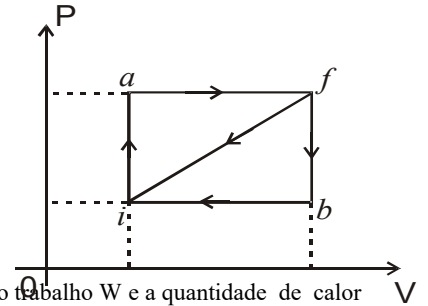


LISTA DE EXERCÍCIOS - TERMODINÂMICA

- 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 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 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/m²):
- 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/m², para uma incidência perpendicular dos raios solares. Para um elemento de área tem uma normal que faz um ângulo θ 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 á 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 quantidade de calor Q associado ao caminho ibf . **Resp: 150 J**
- o trabalho associado ao caminho af . **Resp: 300 J**
- a quantidade de calor Q associada ao caminho iaf . **Resp: 350 J**
- 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 representação do processo em um diagrama PV, indicando $P(\text{atm})$, $V(\text{litro})$ e $T(\text{K})$ para cada vértice.
- o cálculo do trabalho total realizado;
- 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.

Resp: $7.03 \times 10^3\text{ m/s}$

Qual é a velocidade que a molécula de hidrogênio passa pelo furo?

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 Kg/m^3 , mostre que velocidade do som no ar a 1 atm e 0°C vale 332 m/s.

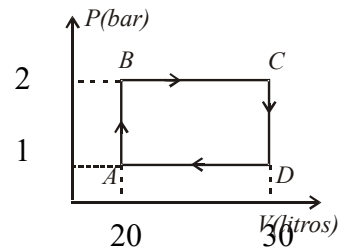
16) Um feixe molecular de oxigênio contendo 10^{10} moléculas/cm³ de velocidade média 500 m/s incide sobre uma placa segundo um ângulo de 30° com a normal à placa. Calcule a pressão exercida pelo feixe sobre a placa. Resp. $2 \times 10^{-4}\text{ N/m}^2$.

17) Um dos vácuos mais elevados que podem ser produzidos corresponde a uma pressão de 10^{-12} mm/Hg . Nesta pressão, a 27 C, quantas moléculas de ar por cm³ ainda permanecem? Resp. $3,22 \times 10^4$

4

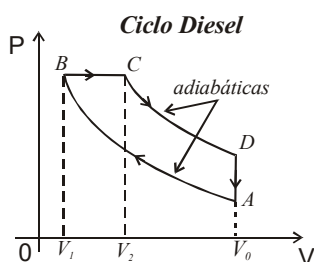
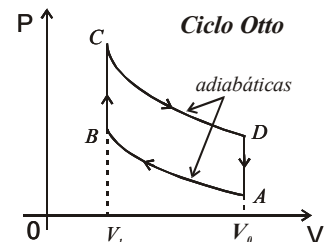
mol/cm³. 18) Um mol de um gás ideal diatômico ($\gamma = 7/5$) descreve o ciclo ABCDA, onde P é medido em bar e V em l.

- Calcule as temperaturas nos vértices. **Resp: $T_A=240.6\text{ K}$; $T_B=481\text{ K}$; $T_C=722\text{ K}$; $T_D=361\text{ K}$;**
- 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°C enquanto a temperatura externa é de 25°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.

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

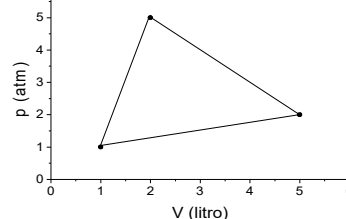
23) Um cubo de gelo de 10 g a -10°C é colocado em um lago cuja temperatura é de 15°C . Calcule a variação de entropia do sistema (cubo de gelo) quando entra em equilíbrio com o reservatório (lago), sendo o calor específico da água e do gelo, respectivamente, $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $0,5 \text{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

- a) a entropia da água da chaleira? **Resp: -241 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 σ (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}N/m^2

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

