

Fenômenos Térmicos - 2014: segundo conjunto de problemas

Velocidade quadrática média, livre caminho médio, distribuição de velocidades.

1. Num periodo de 1.00 s, 5.00×10^{23} moléculas de nitrogênio atingem uma parede com área de 8.00 cm^2 . Se as moléculas se movem com velocidade de 300 m/s e atingem frontalmente a parede em colisões elásticas qual a pressão exercida sobre a parede? A massa de uma molécula de N_2 é $4.68 \times 10^{-26} \text{ kg}$.
2. A velocidade média quadrática de um átomo de hélio numa certa temperatura é 1350 m/s. Nessa mesma temperatura qual é a velocidade média quadrática das moléculas de oxigênio? A massa molar do O_2 é 32.0 g/mol.
3. Em um dado experimento um certo gás é mantido em uma câmara numa pressão de $2 \times 10^{-6} \text{ mmHg}$ e temperatura de 290 K. (a) Calcule o número de moléculas por centímetro cúbico dentro da câmara supondo que o gás seja ideal. (b) Qual é o livre caminho médio das moléculas do gás sob essas condições, quando o diâmetro molecular for de aproximadamente 10^{-8} cm .
4. Um conjunto de quinze partículas estão divididas em grupos de velocidade conforme segue: uma tem velocidade de 2 m/s; duas têm velocidade de 3 m/s; três têm velocidade de 5 m/s; quatro têm velocidade 7 m/s; três têm velocidade de 9 m/s; e duas têm velocidade de 12 m/s. Determine: (a) a velocidade média; (b) a velocidade quadrática média; (c) a velocidade mais provável.
5. Considere um gás hipotético com N partículas e que tem uma distribuição de módulos das velocidades $p(v)$ dada por

$$p(v) = \begin{cases} \frac{c}{v_0}v, & \text{para } 0 \leq v \leq v_0, \\ c, & \text{para } v_0 \leq v \leq 2v_0, \\ \frac{c}{v_0}(3v_0 - v), & \text{para } 2v_0 \leq v \leq 3v_0, \\ 0, & \text{para } v \geq 3v_0. \end{cases}$$

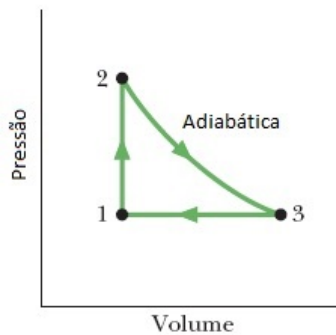
onde c e v_0 são constantes. (a) Expresse a constante c em termos de N e v_0 . (b) Quantas moléculas do gás têm velocidades entre $1,5v_0$ e $2v_0$? (c) Expresse a velocidade média das moléculas em termos de v_0 . (d) Encontre a velocidade média quadrática, v_{mq} , isto é o valor médio do módulo das velocidades ao quadrado.

6. Mostre que a velocidade mais provável de uma molécula de um gás obedecendo a distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzman é dada por $v_{mp} = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$. Observe que a velocidade mais provável corresponde ao ponto em que a inclinação da curva da distribuição de velocidades é nula.
7. Moléculas de hidrogênio, de 10^{-8} cm de diâmetro, escapam de um forno a uma temperatura de 4000 K e entram numa câmara contendo átomos de argônio, com diâmetro de $3 \times 10^{-8} \text{ cm}$ e densidade de $4 \times 10^{19} \text{ átomos/cm}^3$. (a) Qual a velocidade típica das moléculas de hidrogênio que saem do forno? (b) Qual a distância mínima de aproximação dos átomos de hidrogênio e de argônio (que podem ser considerados como esferas rígidas)? (c) Qual o número inicial de colisões por unidade de tempo sofridas pelas moléculas de hidrogênio?
8. A velocidade de escape na superfície de um planeta de raio r é $v_e = \sqrt{2g_p r}$, onde g_p é a aceleração da gravidade na superfície desse planeta. Se a velocidade média quadrática de um gás for, aproximadamente, maior do que 15% da velocidade de escape, virtualmente todas as moléculas desse gás escaparão da atmosfera do planeta. (a) Qual a temperatura do gás oxigênio para que a velocidade média quadrática de suas moléculas seja $v_{mq} = 0.15v_e$ na Terra? E qual seria essa temperatura para o hidrogênio? (o raio médio da Terra é de cerca de 6371 km). (b) Calcule as temperaturas para as quais as velocidades médias quadráticas das moléculas do oxigênio e do hidrogênio seriam iguais a 15% da velocidade de escape na superfície da Lua (a constante gravitacional da Lua, g_{Lua} , é cerca de um sexto do valor da gravidade na superfície da Terra; o raio da Lua é de cerca de 1738 km). Isso explicaria a ausência desses gases na Lua?
9. Suponha que 6 mols de um gás ideal diatômico, com rotação molecular mas sem oscilações, experimentem um aumento de temperatura de 120 K em condições de pressão constante. (a) Qual a quantidade de energia em forma de calor que é transferida ao gás? (b) Qual o aumento da energia interna do gás? (c) Quanto trabalho é realizado pelo gás? (d) Calcule o aumento da energia cinética translacional desse gás.
10. À pressão constante de 1 atm , o volume de $0,002 \text{ mol}$ de certo gás ideal varia de 50 cm^3 a 100 cm^3 quando se adicionam $20,9 \text{ J}$ de energia na forma de calor. (a) Qual a variação da energia interna desse gás? (b) Qual o valor do calor específico a volume constante? E do calor específico a pressão constante?

11. Num gás diatômico ideal $C_V = 5R/2$. Um mol desse gás tem pressão P e volume V . Quando o gás é aquecido, sua pressão triplica e o volume duplica. Se esse processo de aquecimento incluir dois passos, um deles a pressão constante e o outro a volume constante, determine a quantidade de calor transferido para o gás.
12. Um gás ideal inicialmente à pressão p_0 realiza uma expansão livre (adiabática, sem trabalho externo) até um volume final que é três vezes o valor do volume inicial. (a) Qual é a pressão do gás depois da expansão livre? (b) Suponha que o gás seja então comprimido de forma lenta e adiabática de volta ao seu volume inicial. A pressão depois da compressão é $\sqrt{3}p_0$. Esse gás é monoatômico, diatômico ou poliatômico?

Expansão adiabática do gás ideal.

13. No processo adiabático tem-se que $pV^\gamma = \text{constante}$ para o gás ideal. Considere um gás ideal diatômico que se expande adiabaticamente até um volume 1.35 vezes maior que seu volume inicial. A temperatura inicial é de 18°C . Encontre a temperatura final. Suponha que as moléculas têm rotação, mas não oscilam.
14. A figura mostra um ciclo realizado por um mol de um gás ideal monotômico. As temperaturas são $T_1 = 300\text{ K}$, $T_2 = 600\text{ K}$, e $T_3 = 450\text{ K}$.



- Para os processos $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$, e $3 \rightarrow 1$ determine: a) A energia transferida por calor ao sistema. b) A variação da energia interna. c) O trabalho realizado. Considerando agora o ciclo completo obtenha o que é pedido nos itens a), b), e c). A pressão inicial $p_1 = 1\text{ atm}$ ($= 1.013 \times 10^5\text{ Pa}$). d) Obtenha os valores do volume e pressão para os estados 2 e 3.
15. O volume de um gás ideal é reduzido adiabaticamente de 200 litros para 74.3 litros. A pressão inicial é de 1.00 atm e a temperatura de 300 K. A pressão final é de 4.00 atm. a) Esse gás é monotômico, diatômico ou poliatômico? b) Qual a temperatura final do gás? c) Quantas moléculas têm o gás?

16. Uma câmara termicamente isolada contém n_1 mols do gás hélio a uma alta pressão P_1 e a temperatura T_1 . A partir de determinado instante, aciona-se uma pequena válvula e o gás começa a escapar muito lentamente para o ambiente da atmosfera, cuja pressão é P_0 . Mostre que a temperatura final dos n_2 moles restantes na câmara é dada por $T_2 = T_1 \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{1-\frac{1}{\gamma}}$ com $n_2 = n_1 \left(\frac{P_0}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$. Quais as hipóteses adicionais que estão sendo feitas para obter esse resultado?

Entropia.

17. Determine a variação total de entropia quando um cubo de gelo de 27 g, a -12°C , é transformado a pressão constante em vapor d'água a temperatura de 115°C .
18. A temperaturas muito baixas o calor específico molar de muitos sólidos é dado aproximadamente por $C_V = AT^3$, onde A depende da substância. Para o alumínio $A = 3.15 \times 10^{-5} \text{ J/mol} \cdot \text{K}^4$. Determine a variação na entropia em 2 mols de alumínio cuja temperatura é aumentada de 5 K para 15 K.
19. 1,00 kg é tirado de uma forja a 900°C e inserida em 4,00 kg de água a $10,0^\circ\text{C}$. Supondo que nenhum calor é perdido para o ambiente, qual a variação total na entropia do sistema ferro-água.
20. Uma barra de 200 g de alumínio, a 100°C , com calor específico de $900 \text{ J/kg} \times \text{K}$, é mergulhada num recipiente termicamente isolado, contendo 50 g de água a 20°C (o calor específico da água é de $4200 \text{ J/kg} \times \text{K}$). (a) Qual a temperatura de equilíbrio? (b) Quais as variações de entropia da água, do alumínio e do sistema água-alumínio?
21. Um mol do gás H_2 é mantido no lado esquerdo de um recipiente isolado termicamente, constituído por dois compartimentos iguais ligados por uma válvula. Inicialmente o compartimento do lado direito está totalmente vazio. Liga-se então a válvula permitindo que o gás possa fluir para o lado direito. Qual a variação total da entropia quando o sistema atinge o estado de equilíbrio? Há alguma variação de temperatura?
22. Duas quantidades iguais de água, de mesma massa m mas a temperaturas diferentes, T_1 e T_2 , são misturadas adiabaticamente, a pressão constante. Mostre que a variação de entropia no Universo é dada por $\Delta S_U = 2mC_P \ln \left(\frac{T_1+T_2}{2\sqrt{T_1T_2}} \right)$, onde C_P é o calor específico da água a pressão constante. Mostre também que $\Delta S_U > 0$.
23. Um mol de um gás monoatômico ideal, inicialmente à pressão de 1 atm e com um volume de $0,025 \text{ m}^3$, é aquecido até um estado final com pressão de 2 atm e volume de $0,04 \text{ m}^3$. Determine a variação da entropia do gás neste processo.

Máquinas térmicas.

24. Um mol de um gás ideal monoatômico é submetido ao seguinte ciclo reversível: transformação isocórica (volume constante), com volume $V_b = 10^{-3} \text{ m}^3$, de um ponto a até o ponto b , onde a pressão é $p_b = 10 \text{ atm}$; expansão adiabática do ponto b até o ponto c , onde o volume é $V_c = 8V_b$; transformação isobárica, de c até a , fechando o ciclo. Calcule: (a) a energia adicionada ao gás como calor no processo; (b) a energia que o gás libera como calor no meio ambiente durante processo; (c) o trabalho líquido realizado pelo gás e a eficiência do ciclo.
25. Uma das máquinas mais eficientes já construídas opera entre 430°C e 1870°C . (a) Qual é seu rendimento teórico máximo? (b) O rendimento real da máquina é de 42%. Quanta potência útil o motor produz se absorver $1.40 \times 10^5 \text{ J}$ de calor a cada segundo de seu reservatório quente?
26. Uma máquina térmica que opera entre 200°C e $80,0^\circ\text{C}$ consegue 20.0% do maior rendimento possível. Qual entrada de calor permitirá que a máquina realize 10,0 kJ de trabalho?
27. No ponto A de um ciclo de Carnot, 2,34 mols de um gás ideal monoatômico têm uma pressão de 1400 kPa , volume de 10 litros e temperatura de 720 K . Esse sistema expande-se isotermicamente até o ponto B, e depois continua se expandindo adiabaticamente até o ponto C, onde o seu volume é de 24 litros. Uma compressão isotérmica leva o sistema ao ponto D, onde o volume passa a ser de 15 litros. Finalmente o gás volta ao ponto A através de um processo adiabático. (a) Determine todas as pressões, volumes e temperaturas desconhecidos na tabela

	$P \text{ (kPa)}$	$V \text{ (l)}$	$T \text{ (K)}$
A	1400	10	720
B			
C		24	
D		15	

- (b) Encontre a energia adicionada em forma de calor, o trabalho realizado pela máquina e a mudança na energia interna para cada uma das etapas, $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, e $D \rightarrow A$. (c) Calcule $W_{\text{maq}}/|Q_{\text{abs}}|$ e demonstre que é igual ao rendimento da máquina de Carnot.

28. Considerando um refrigerador ideal de Carnot, mostre que o trabalho realizado pelo motor, W , relaciona-se com o calor absorvido do reservatório frio, Q_f , e as temperaturas dos reservatórios frio e quente, T_f e T_q , respectivamente, da seguinte forma $|W| = |Q_f| \frac{T_q - T_f}{T_f}$. (a) Qual o coeficiente de rendimento para um refrigerador cujas bobinas de refrigeração estejam na temperatura de $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$, e o gás comprimido no condensador tenha a temperatura de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$? (b) Se o motor do refrigerador estiver trabalhando com potência de 200 W , qual é a quantidade máxima de calor que pode ser extraído do congelador em dez minutos, quando a sua temperatura for de 270 K e a do exterior for de 300 K ?
29. Quanto trabalho um refrigerador ideal de Carnot utiliza para transformar $0,500\text{ kg}$ de água de torneira a $10,0^{\circ}\text{C}$ em gelo a $-20,0^{\circ}\text{C}$? Suponha que o congelador é mantido a $-20,0^{\circ}\text{C}$ e o refrigerador libera energia em forma de calor em um cômodo a $20,0^{\circ}\text{C}$.
30. Uma bomba de calor é essencialmente uma máquina térmica funcionando de trás para frente. Ela extrai calor do ar mais frio do lado de fora e deposita-o em um cômodo mais quente. Suponha que a razão entre o calor real que entra no cômodo e o trabalho realizado pelo motor do dispositivo é $10,0\%$ da razão máxima teórica. Determine o calor que entra no cômodo por joule de trabalho realizado pelo motor quando a temperatura interna é de $20,0^{\circ}\text{C}$ e a temperatura externa é de $-5,00^{\circ}\text{C}$.
31. Um congelador ideal (de Carnot) numa cozinha tem uma temperatura constante de 260 K . O ar na cozinha tem temperatura constante de 300 K . Suponha que a isolamento térmica do congelador não é perfeito, mas conduz calor para o congelador a uma taxa de $0,150\text{ W}$. Determine a potência média necessária para que o motor mantenha constante a temperatura no congelador.

Interpretação estatística da entropia.

32. Considere o lançamento de quatro moedas ao ar simultaneamente e o registro do número de caras e o número de coroas que resultam. Faça uma tabela que relaciona cada macroestado e cada um dos microestados incluídos nele. Por exemplo, os microestados CaCaCoCa e CaCoCaCa, junto com mais alguns outros, estão incluídos no macroestado de três caras e uma coroa. (a) Com base na sua tabela, qual é o resultado mais provável registrado para um lançamento de quatro moedas? Em termos de entropia, (b) qual é o macroestado mais ordenado e (c) qual é o mais desordenado?

33. Considere o lançamento de três dados. Construa uma tabela com o número de microestados correspondentes a cada macroestado possível. Quais são os macroestados mais prováveis? Em termos de entropia qual o macroestado mais desordenado? E o mais ordenado?
34. Imagine um recipiente que contém 50 moléculas igualmente divididas entre as suas duas metades. (a) Qual é a multiplicidade W da configuração central? (b) Qual o número total de microestados? (c) Qual a fração de tempo que o sistema gasta na configuração central? (d) Se houvessem 100 moléculas o tempo que o sistema gasta na configuração central seria maior ou menor do que o caso anterior?