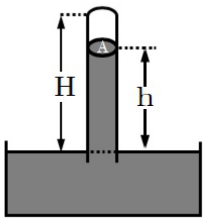
Lista de Exercícios T2

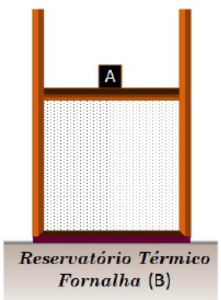
Termodinâmica: gases, primeira e segunda leis

T2.1 O tubo de vidro de um barômetro de mercúrio tem seção reta de área $A = 1\ \text{cm}^2$ e altura $H = 90\ \text{cm}$ acima da superfície livre do reservatório de mercúrio. A altura da coluna barométrica é $h = 735\ \text{mm}$, num dia em que a temperatura ambiente é de $20\ ^\circ\text{C}$ e a pressão atmosférica é de $750\ \text{mmHg}$. Sabendo que $\rho_{\text{Hg}} = 13{,}6\times10^3\ \text{kg/m}^3$, calcule a quantidade de ar (em mols) aprisionada no espaço acima da coluna de mercúrio.



R.: $n = 1{,}3\times10^{-5}\ \text{mol}$

T2.2 Uma caldeira de uma máquina (figura abaixo), com paredes adiabáticas, contém uma certa quantidade de gás aprisionada entre um êmbolo adiabático, sem atrito e de massa desprezível, sustentando um bloco de chumbo (A) na parte superior, e um fundo diatérmico em contato com uma fornalha (B). A fornalha comporta-se como um reservatório térmico e é, inicialmente, mantida a uma temperatura constante.



Explique a relação entre temperatura (T), pressão (P), volume (V) e energia interna (U) iniciais e finais nas seguintes circunstâncias:

a) o bloco é trocado por um mais pesado;

b) retira-se o bloco;

c) aumenta-se a temperatura da fornalha;

d) diminui-se a temperatura da fornalha.

T2.3 Um mol de um gás ideal ($c_V = \frac{3}{2}R$) se expande lentamente até ocupar um volume igual ao dobro do volume inicial, realizando um trabalho igual a 300 J neste processo. Calcule o calor fornecido ao gás e a variação da energia interna do gás, supondo que o processo seja:

a) isotérmico;

b) adiabático;

c) isobárico.

R.: (a) $\Delta U = 0$ e $Q = 300$ J, (b) $\Delta U = -300$ J e $Q = 0$, (c) $\Delta U = 450$ J e $Q = 750$ J.

T2.4 Dois recipientes fechados estão ligados um ao outro por um tubo capilar de volume desprezível. Os recipientes, de mesma capacidade de 1 L, contêm gás oxigênio (massa molar $32\ \text{g/mol}$), inicialmente à temperatura de $25\ ^\circ\text{C}$ e pressão de $1\ \text{atm}$.

a) Calcule a massa, em gramas, de O_2 contida nos recipientes.

b) Determine o novo valor da pressão na situação em que o gás de um dos recipientes é aquecido até a temperatura de $100\ ^\circ\text{C}$, enquanto a temperatura do gás do outro recipiente permanece inalterada.

c) Considerando a situação descrita em (b) e desprezando a condução de calor através do capilar, determine quantas gramas de O_2 passam de um lado para o outro.

R.: (a) $m = 2{,}62$ g, (b) $P = 1{,}1$ atm, (c) $\Delta m = 0{,}15$ g.

T2.5 Um mol de um gás ideal, com $\gamma = 7/5$, está contido num recipiente, inicialmente a $1\ \text{atm}$ e $27\ ^\circ\text{C}$. A partir deste estado inicial, o gás é, sucessivamente:
(i) comprimido isobaricamente até $3/4$ do volume inicial V_0; (ii) aquecido, a volume constante, até voltar à temperatura inicial; (iii) expandido a pressão constante até voltar ao volume inicial; (iv) resfriado, a volume constante, até voltar à pressão normal (inicial).

a) Desenhe o diagrama $P{-}V$ associado ao ciclo.

b) Calcule o trabalho total realizado pelo gás.

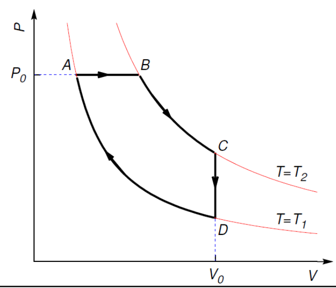
c) Calcule o calor total fornecido ao gás nas etapas (i) e (ii).

d) Calcule as temperaturas máxima e mínima atingidas.

e) Calcule a variação da energia interna no processo (i) + (ii).

R.: (b) $W = 208$ J, (c) $Q = 624$ J, (d) $T_{\text{máx}} = 400$ K e $T_{\text{mín}} = 225$ K, (e) $\Delta U = 0$.

T2.6 Um mol de um gás ideal descreve o ciclo ABCDA, representado no plano (P,V) na figura abaixo, onde $T = T_1$ e $T = T_2$ são isotermas. Calcule o trabalho total associado ao ciclo, em função de P_0, V_0, T_1 e T_2.



R.: $W = R(T_2 - T_1) + RT_2 \ln\left(\frac{P_0V_0}{RT_2}\right) - RT_1 \ln\left(\frac{P_0V_0}{RT_1}\right)$

T2.7 Gás nitrogênio, contido no interior de um recipiente que pode se expandir, é resfriado de $50\ ^\circ\mathrm{C}$ até $10\ ^\circ\mathrm{C}$, mantendo-se a pressão constante e igual a $3{\times}10^5$ Pa. O calor total liberado pelo gás é igual a $2{,}5{\times}10^4$ J. Suponha que o gás possa ser tratado como um gás ideal. Utilize $R = 8{,}31\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}$ (constante universal dos gases ideais) e considere a capacidade térmica molar do nitrogênio igual a $28{,}98\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}$.

a) Calcule a quantidade molar do gás.

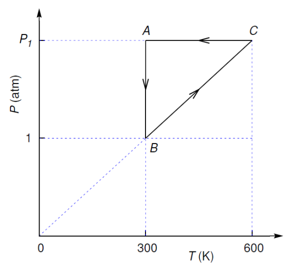
b) Calcule a variação da energia interna do gás.

c) Ache o trabalho realizado pelo gás.

d) Qual seria o calor libertado pelo gás, para a mesma variação de temperatura, caso o volume permanecesse constante?

R.: (a) $n = 21{,}57\ \mathrm{mol}$, (b) $\Delta U = -32{,}17\ \mathrm{kJ}$, (c) $W = 7{,}17\ \mathrm{kJ}$, (d) $Q = 32{,}17\ \mathrm{kJ}$.

T2.8 $0{,}1\ \mathrm{mol}$ de um gás ideal, com $c_V = \frac{3}{2}R$, descreve o ciclo representado na figura abaixo, no plano (P,T).



a) Represente o ciclo no plano (P,V), indicando P (em atm) e V (em L), associados aos pontos A, B e C.

b) Calcule ΔW, ΔQ e ΔU para cada uma das etapas AB, BC e CA e para o ciclo.

R.: (b)

Processo	ΔW/J	ΔQ/J	ΔU/J
AB	173	173	0
BC	0	374	374
CA	-249	-623	-374
Ciclo	-76	-76	0

T2.9 Um mol de um gás ideal, com $c_V = \frac{3}{2}R$, a $17\ ^\circ\mathrm{C}$, tem sua pressão reduzida à metade por um dos quatro processos seguintes: (i) a volume constante; (ii) isotermicamente; (iii) adiabaticamente; (iv) por expansão livre. Para um volume inicial V_i, calcule, para cada um dos quatro processos, o volume e a temperatura finais, ΔW e ΔU. Utilize $R = 8{,}31\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}$.

R.:

Processo	$V_\mathrm{f}/V_\mathrm{i}$	T_f/K	ΔW/J	ΔU/J
(i)	1	145	0	-1807
(ii)	2	290	1671	0
(iii)	1,52	219	-885	-885
(iv)	2	290	0	0

T2.10 1 L de H_2 (para o qual $\gamma = 7/5$), à pressão de $1\ \mathrm{atm}$ e temperatura de $27\ ^\circ\mathrm{C}$, é comprimido adiabaticamente até o volume de $0{,}5$ L e depois resfriado, a volume constante, até voltar a pressão inicial. Finalmente, por expansão isobárica, volta à situação inicial.

a) Represente o processo no plano (P,V), indicando P (atm), V (L) e T (K) para cada vértice do diagrama.

b) Calcule o trabalho total realizado.

c) Calcule ΔU e ΔQ para cada etapa.

R.: (b) $W = -30{,}2$ J

(c)

Processo	ΔU/J	ΔQ/J
adiabático	80,9	0
isocórico	$-207{,}5$	$-207{,}5$
isobárico	126,6	177,3

T2.11 Uma usina termoelétrica moderna opera com vapor de água superaquecido, a temperaturas da ordem de $500\ ^\circ\mathrm{C}$, e é resfriada com água de rio, tipicamente a $20\ ^\circ\mathrm{C}$. Devido a inúmeros tipos de perdas, a eficiência máxima que se consegue atingir, na prática, é da ordem de $40\ \%$. Que fração da eficiência máxima idealmente possível para esses valores isto representa?

R.: $64{,}4\ \%$

T2.12 Um mol de um gás ideal diatômico ($\gamma = 7/2$) descreve um ciclo quadrado ABCDA no diagrama $P{-}V$. Os valores das pressoes e dos volumes nos vértices do ciclo são: $P_A = P_D = 1$ bar; $V_A = V_B = 20$ L ; $P_B = P_C = 2$ bar; $V_C = V_D = 30$ L. (1 bar $= 10^5$ Pa)

a) Desenhe o ciclo no diagrama $P{-}V$ e calcule o valor da temperatura em seus vértices (pontos A,B,C e D).

b) Calcule a eficiência de um motor térmico operando segundo este ciclo.

c) Compare o resultado (b) com a eficiência máxima ideal associada às temperaturas extremas do ciclo.

R.: (a) $T_A = 244$ K; $T_B = 488$ K; $T_C = 732$ K; $T_D = 366$ K. (b) $\eta = 8{,}3\ \%$. (c) $\eta_{\text{máx}} = 66{,}7\ \% > 8{,}3\ \%$.

T2.13 O ciclo de Otto é uma esquematização idealizada do que ocorre num motor a gasolina de 4 tempos. O ciclo $(ABCDA)$ consiste de: AB - compressão rápida (adiabática) da mistura de ar com vapor de gasolina, de um volume inicial V_0 para um volume final V_0/r (onde r é a taxa de compressão); BC - aquecimento da mistura, a volume constante, devido à ignição; CD - expansão adiabática dos gases aquecidos, movendo o pistão; DA - queda de pressão a volume constante associada à exaustão dos gases da combustão. A mistura pode ser tratada como um gás ideal de coeficiente adiabático γ.

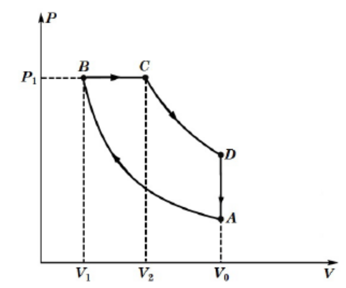
a) Represente o ciclo deste processo no plano (P,V).

b) Mostre que o rendimento do ciclo é dado por

$$\eta = 1 - \frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \left[\frac{1}{r}\right]^{\gamma - 1}$$

c) Calcule η para $\gamma = 1{,}4$ e $r = 10$.

T2.14 O ciclo Diesel, representado na figura abaixo, esquematiza o que ocorre num motor Diesel de 4 tempos, onde os trechoa AB e CD são adiabáticas. A taxa de compressão adiabática $r = V_0/V_1$ é maior que no motor a gasolina (ciclo de Otto), permitindo que o combustível inflame sem necessidade da centelha de ignição. Esta etapa ocorre à pressão constante e está representada pelo trecho BC do ciclo. A chamada razão de corte, da expansão isobárica no trecho BC, é $\alpha = V_C/V_B$.



a) Mostre que o rendimento do ciclo é dado por

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma}\frac{T_D - T_A}{T_C - T_B} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}\frac{\alpha^\gamma - 1}{\gamma\,(\alpha - 1)}$$

b) Calcule η para $\gamma = 1{,}4$, $\alpha = 3$ e $r = 15$.

T2.15 Um quilograma de gelo é removido de um congelador, que estava a $-15\ ^\circ\mathrm{C}$, e é aquecido até converter-se totalmente em vapor, a $100\ ^\circ\mathrm{C}$. Qual é a variação de entropia deste sistema?
Dados: calor especifico do gelo: $0{,}5\ \mathrm{cal/(g\cdot{}^\circ C)}$; calor latente de fusão do gelo: $79{,}6\ \mathrm{cal/g}$; calor latente de vaporização da água: $539{,}6\ \mathrm{cal/g}$.

R.: $\Delta S = 2{,}079\ \mathrm{cal/K} = 8{,}702\ \mathrm{J/K}$.

T2.16 Um cilindro contendo $1\ \mathrm{kg}$ de He a $150\ \mathrm{atm}$, em equilíbrio térmico com o ambiente a $17\ ^\circ\mathrm{C}$, tem um pequeno vazamento através do qual o gás escapa para a atmosfera, até que o tanque se esvazia por completo do hélio.

a) Qual é a variação de entropia do gás hélio?

b) Que quantidade de trabalho é desperdiçada por esse processo?

R.: (a) $\Delta S_{\text{gás}} = 1{,}04{\times}10^4\ \mathrm{J/K}$;
(b) $W_{\text{desperdiçado}} = 3{,}02{\times}10^6\ \mathrm{J}$

T2.17 Uma chaleira contém $1\ \mathrm{L}$ de água em ebulição. Despeja-se toda a água numa piscina, que está à temperatura ambiente de $20\ ^\circ\mathrm{C}$.

a) De quanto variou a entropia da água da chaleira?

b) De quanto variou a entropia do universo?

R.: (a) $\Delta S_{\text{chaleira}} = -241{,}4\ \mathrm{cal/}$ (b) $\Delta S_{\text{universo}} = +31{,}9\ \mathrm{cal/K}$

T2.18 Um recipiente de paredes adiabáticas contém $2\ \mathrm{L}$ de água a $30\ ^\circ\mathrm{C}$. Coloca-se nele um bloco de $500\ \mathrm{g}$ de gelo.

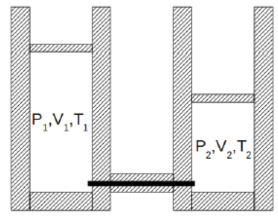
a) Calcule a temperatura final do sistema (use $80\ \mathrm{cal/g}$ para o calor latente de fusão do gelo);

b) Calcule a variação de entropia do sistema.

R.: (a) $T_\mathrm{f} = 8\ ^\circ\mathrm{C}$ (b) $\Delta S = 10{,}2\ \mathrm{cal/K}$

R.: (a) $\tau = \frac{2}{a^2}\sqrt{\frac{mV}{\gamma P}}$, onde $P = p_0 + \frac{mg}{\pi a^2}$ (b) $\gamma = 1{,}4$.

T2.19 Dois recipientes (1 e 2) com paredes adiabáticas contendo cada um $1\ \mathrm{mol}$ de um gás de capacidade térmica molar a volume constante $c_V = \frac{3}{2}R$, estão termicamente ligados por uma barra fina de capacidade térmica desprezível e de condutividade térmica baixa o suficiente para que a transferência de calor entre os recipientes ocorra de forma lenta em comparação com a velocidade com que cada recipiente atinge o equilíbrio térmico interno. Os recipientes são fechados por tampas móveis de massa desprezível e cuja vedação desliza sem atrito com as paredes laterais. O sistema está imerso em um ambiente externo à pressão $P_a = 10^5\ \mathrm{Pa}$.



Sendo as condições iniciais em cada recipiente dadas por P_1, V_1, T_1 e P_2, V_2, T_2, respectivamente, responda:

a) Supondo $T_1 > T_2$, determine o calor Q transferido do recipiente 1 para o 2 através da barra em função da diferença entre as temperaturas final e inicial do recipiente 2 ($\Delta T_2 = T_F - T_2$, onde T_F é a temperatura final, de equilíbrio), e calcule o valor de Q (em joules) para $\Delta T_2 = 20\ \mathrm{K}$.

b) Nas mesmas condições do item (a), determine $\Delta T1$, ΔV_1, ΔV_2; ΔU_1 e ΔU_2.

c) Sempre nas mesmas condições, determine o trabalho total realizado pelo sistema, a variação total da energia interna U, e a da entalpia H do sistema no processo.

d) Classifique o processo como reversível ou irreversível e justifique.

R.: (a) $\Delta W = \frac{1}{b}V_iP_i\left[1 - \mathrm{e}^{b\left(1-\chi_f\right)}\right]$ (b) $T = T_0\mathrm{e}^{b(1-\chi)}$.

T2.20 O ciclo de Carnot para um fluido consiste em uma expansão isotérmica AB, uma expansão adiabática BC, uma compressão isotérmica CD e uma compressão adiabática DA. Nas isotermas, as variações nos volumes são tais que $V_B/V_A = \mathrm{e}^x$ e $V_C/VD = \mathrm{e}^y$, onde x e y são números reais positivos.

a) Represente o ciclo no diagrama $P{\times}V$ e obtenha as variações da energia interna, calor e trabalho nos quatro processos acima mencionados.

b) Identifique a quantidade total de calor que entra Q_{entra}, bem como a que sai Q_{sai} do ciclo.

c) Calcule o rendimento deste ciclo. Demonstre que $x = y$ e discuta o resultado do rendimento.

d) Considere agora um outro ciclo, onde as adiabáticas BC e DA são substituídas por isocóricas. Neste caso, obviamente, $x = y$ (reflita/explique!). Repita as contas dos ítens anteriores para este caso, e compare o rendimento deste ciclo com o caso anterior.

R.: (d) $\eta = \frac{xR(T_A - T_C)}{xRT_A + c_V(T_A - T_C)}$.

T2.21 Um fluido é submetido a um ciclo reversível. Se o ciclo é representado por um diagrama no plano (T,S), onde S é a entropia do fluido:

a) Mostre que o trabalho associado ao ciclo é dado por $W = \oint T\mathrm{d}S$, isto é, a área orientada por ele compreendida.

b) Represente um ciclo de Carnot no plano (T,S). Verifique o resultado do item (a) neste caso.

c) Calcule o rendimento do ciclo de Carnot da parte (b) diretamente a partir do diagrama (T,S).

T2.22 Dois litros de ar ($\gamma = 1{,}4$) nas condições normais de temperatura e pressão, sofrem uma expansão isobárica até um volume $50\ \%$ maior, seguida de um resfriamento a volume constante até baixar a pressão a $0{,}75\ \mathrm{atm}$. De quanto varia a entropia deste sistema?

R.: $0{,}52\ \mathrm{J/K}$.

T2.23 Um litro de água, inicialmente a $100\ ^\circ\mathrm{C}$, é totalmente vaporizado: (a) em contato com um reservatório térmico a $100\ ^\circ\mathrm{C}$; (b) em contato com um reservatório térmico a $200\ ^\circ\mathrm{C}$. O calor latente de vaporização da água é $2259\ \mathrm{kJ/kg}$. Calcule a variação total de entropia do universo devida exclusivamente ao processo de vaporização nos casos (a) e (b), e relacione os resultados com a reversibilidade ou não do processo.

R.: zero; $1281\ \mathrm{J/K}$ (Irrev.).

T2.24 A capacidade térmica de um objeto sólido de uma certa substância é dada em função da temperatura absoluta T por $C(T) = a + bT$, onde a e b são constantes. Obtenha a expressão para a variação da entropia do objeto devida a uma variação de sua temperatura de T_i a T_f.

T2.25 Um dos vácuos mais elevados que podem ser produzidos corresponde a uma pressão de $10^{-12}\ \mathrm{mmHg}$. Nesta pressão, a $27\ ^\circ\mathrm{C}$, quantas moléculas de ar por cm^3 ainda permanecem?

R.: $3{,}2{\times}10^4$ moléculas/cm^3

T2.26 Calcule o número médio de moléculas por cm^3 e o espaçamento médio entre as moléculas:

a) em água líquida;

b) em vapor d'água a $1\ \mathrm{atm}$ e $100\ ^\circ\mathrm{C}$ (tratado como gás ideal).

c) No caso (b), calcule a velocidade quadrática média das moléculas.

R.: (a) $n = 3{,}3{\times}10^{22}$ moléculas/cm^3; (b) $\delta = 3{,}72{\times}10^{-7}\ \mathrm{cm}$; (c) $v_\mathrm{qm} = 719\ \mathrm{m/s}$.

T2.27 Considere uma amostra de gás argônio em um recipiente a $35\ ^\circ\mathrm{C}$ e pressão de $1{,}22\ \mathrm{atm}$. Supondo o raio desse átomo igual a $0{,}71{\times}10^{-10}\ \mathrm{m}$, calcule a fração do volume do recipiente que é realmente ocupada pelos átomos.

R.: $4{,}3{\times}10^{-5}$

T2.28 O diâmetro efetivo da molécula de $\mathrm{CO_2}$ é $4{,}59{\times}10^{-8}\ \mathrm{cm}$. Qual é o livre percurso médio de uma molécula de $\mathrm{CO_2}$ para uma densidade de $4{,}91\ \mathrm{kg/m^3}$?

R.: $\ell = 1{,}6{\times}10^{-8}\ \mathrm{m}$

R.: (a) $\gamma = (3x + 7)/(x + 5)$ (b) $x = 33\ \%$

T2.29 A massa molecular do hidrogênio é de $2{,}00\ \mathrm{g/mol}$. Se 10^{23} moléculas de hidrogênio atingem $2\ \mathrm{cm}^2$ de uma parede por segundo, a um ângulo de 55° com a normal a essa parede e com velocidade de $105\ \mathrm{cm/s}$, qual a pressão exercida sobre a parede pelo hidrogênio? Considere as colisões perfeitamente elásticas.

R.: $1900\ \mathrm{N/m^2}$.

T2.30 A massa molar do iodo é de $127\ \mathrm{g/mol}$. Uma onda estacionária em um tubo cheio de gás de iodo, tratado aqui com um gás ideal, a $400\ \mathrm{K}$ tem os seus nós $6{,}77\ \mathrm{cm}$ distantes um do outro, quando a frequência é de 1000 Hz. Dado que a velocidade de propagação da onda nesse meio pode ser obtida por $v = \sqrt{\gamma RT/M}$, estando as variáveis representando as grandezas usuais, determine a partir do valor de γ se esse gás é monoatômico ou diatômico.

T2.31 A temperatura na superfície da Lua chega a atingir $127\ ^\circ\mathrm{C}$. Calcule a velocidade quadrática média do hidrogênio molecular a essa temperatura e compare-a com a velocidade de escape da superfície da Lua. Que conclusão pode ser tirada dessa comparação?

R.: $v_{qm} = 2{,}2\ \mathrm{km/s}$; $v_\mathrm{escape} = 2{,}4\ \mathrm{km/s}$.

T2.32 Considere um balão com gás nitrogênio à temperatura ambiente de $27\ ^\circ\mathrm{C}$, submetido a uma pressão de $1{,}5{\times}10^5\ \mathrm{Pa}$ e ocupando um volume de $2\ \mathrm{L}$. Nestas condições, o gás é completamente composto por moléculas diatômicas ($\mathrm{N_2}$). A massa atômica do nitrogênio é $M_\mathrm{N} = 14\ \mathrm{g/mol}$. Desconsidere os modos vibracionais das moléculas.

a) Quantas moléculas de $\mathrm{N_2}$ existem dentro do balão?

b) Obtenha as energias cinéticas médias de translação $\langle E_\mathrm{trans}\rangle$ e total $\langle E_\mathrm{tot}\rangle$ de cada molécula.

c) Encontre a velocidade quadrática média das moléculas de nitrogênio nestas condições.

d) A temperaturas mais elevadas, as moléculas de nitrogênio dissociam-se em átomos. Sendo x a fração de moléculas que se dissociaram em átomos a uma temperatura T, encontre a razão entre as velocidades quadráticas médias das moléculas e dos átomos de nitrogênio em função de x e T.

R.: (a) $7{,}24{\times}10^{22}$; (b) $\langle E_\mathrm{trans}\rangle = 6{,}215{\times}10^{-21}\ \mathrm{J}$ e $\langle E_\mathrm{tot}\rangle = 1{,}036{\times}10^{-20}\ \mathrm{J}$; (c) $\sqrt{\langle v^2_{\mathrm{N}_2}\rangle} = 517\ \mathrm{m/s}$;

T2.33 Considere uma partícula esférica de $0{,}5\ \mu\mathrm{m}$ de raio e densidade $1{,}2\ \mathrm{g/cm^3}$, como as que foram utilizadas por Jean Perrin em experiências para determinação do número de Avogadro. Uma tal partícula, em suspensão num líquido, adquire um movimento de agitação térmica que satisfaz à lei de equipartição da energia. De acordo com esta lei, qual seria a velocidade quadrática média da partícula em suspensão à temperatura de $27\ ^\circ\mathrm{C}$?

R.: $4{,}4\ \mathrm{mm/s}$.

R.: (a) $\langle E_{c1}\rangle = \langle E_{c2}\rangle$, $v_2/v_1 = \sqrt{2}$; (b) $P_1/P_2 = 1$; (c) $C_V = 4R$; (d) 3/8; (e) c e d; (f) $\frac{9\sqrt{3}}{32} \approx 0{,}49$; (g) $\frac{32}{9\sqrt{6}} \approx 1{,}45$.

R.: 0,4375 J; 0,5 J; 0,5625 J; 0,625 J.