Examen de Física 2

14 de febrero de 2011

Soluciones

Ejercicio 1

(a) la presión hidrostática sobre el pistón depende de una coordenada $y \in [0, L]$ según $P(y) = P_0 + \rho g(h + y)$ de modo que la presión media sobre el pistón es

$$P_1 = \frac{1}{L}\int_0^L P(y)\,dy = P_0 + \rho g\,(h + L/2) \simeq 229 \text{ kPa}$$

con lo cual $T_1 = P_1 V_1/nR \simeq 550$ K. Se asume que h no cambia ya que $L^2 \ll A$.

(b) Enfriamiento isóbaro hasta $T_0 = 293$ K; gas ideal diatómico ($c_P = \frac{7}{2}R \simeq 29,1$ kJ/kmol K)

$$Q = nc_P(T_0 - T_1) \simeq -15{,}0 \text{ MJ}$$

es el calor que entrega el gas al ambiente.

(c) Variación de entropía del gas (proceso isóbaro): $\Delta S_g = nc_P \ln(T_0/T_1) \simeq -36{,}7$ kJ/K. La variación total es $\Delta S_{univ} = \Delta S_g + \Delta S_{amb} = \Delta S_g + |Q|/T_0 \simeq -36{,}7 + 51{,}0 \simeq 14{,}4$ kJ/K.

Ejercicio 2

(a) El tiempo pedido es $\Delta t = Q_l/\dot{Q}$, donde $Q_l = m_h q_l$ es el calor requerido para fundir el hielo y $\dot{Q}$ la tasa de transferencia de calor desde el ambiente.

- masa de hielo: $m_h = \rho_h a^3 \simeq 114{,}6$ kg
- masa de poliestireno (PS): el volumen del PS es $V_p = (a + 2e)^3 - a^3 \simeq 0{,}051$ m^3. Su masa es $m_p = \rho_p V_p \simeq 101{,}2$ kg.
- el calor requerido para derretir el hielo es $Q_l = m_h q_l = 114{,}6 \times 330 \simeq 37{,}8$ MJ.
- el calor se transfiere primero por convección ($R_h = 1/hA_c$) y luego por conducción a través del PS con resistencia térmica $R_k = e/kA$. Se tiene $\dot{Q} = (T_0 - T_h)/R$ con $R = R_h + R_k$.
- área de convección: = área externa = $A_c = 6(a + 2e)^2 \simeq 1{,}88$ m^2.
- área efectiva de conducción: $A = \frac{1}{2}(A_i + A_c) = 1{,}69$ m^2, donde $A_i = 6a^2 \simeq 1{,}50$ m^2 es el área interna.
- resistencia convectiva: $R_h = 1/hA_c \simeq 0{,}05$ K/w.
- resistencia del PS: $R_h = e/kA_c \simeq 0{,}54$ K/w (la contribución dominante).
- resistencia térmica total: $R = R_h + R_k \simeq 0{,}59$ K/w.
- tasa de transferencia de calor al interior de la caja: $\dot{Q} = (T_0 - T_h)/R \simeq 42{,}4$ w, con $T_0 = 25^oC$ y $T_h = 0^oC$.

el tiempo requerido para derretir el hielo es

$$\Delta t = Q_l/\dot{Q} \simeq 248 \text{ horas o más de 10 días.}$$

(b) La caja y el hielo alcanzan el equilibro cuando $T = T_0 = 25^o$ C en todas partes. El calor total transferido desde el ambiente es $Q_{amb} = -(Q_l + Q_h + Q_p)$ donde
$Q_h = m_h c(T_0 - T_h) \simeq 12{,}0$ MJ y $Q_p = m_p c_p(T_0 - T_p) \simeq 2{,}5$ MJ.
Se ha usado $T_p = \frac{1}{2}(T_0 + T_h) \simeq 12{,}5^o$C como temperatura efectiva inicial del PS.
Resulta $Q_{amb} = -(Q_l + Q_h + Q_p) = -(37{,}7 + 12{,}0 + 2{,}5) \simeq -52{,}3$ MJ.

(c) $\Delta S_{univ} = \Delta S_{cf} + \Delta S_a + \Delta S_p + \Delta S_{amb}$ con
$\Delta S_{cf} = Q_l/T_h = 138{,}5$ kJ/K debido al cambio de fase,
$\Delta S_a = m_h c \ln(T_0/T_h) \simeq 41{,}9$ kJ/K debido al calentamiento del agua,
$\Delta S_p = m_p c_{PS} \ln(T_0/T_p) \simeq 8{,}7$ kJ/K debido al calentamiento del PS,
$\Delta S_{amb} = Q_{amb}/T_0 \simeq -175{,}5$ kJ/K debido a la pérdida de calor del ambiente, de modo que
$\Delta S_{univ} = \Delta S_{cf} + \Delta S_a + \Delta S_p + \Delta S_{amb} \simeq 13{,}6$ kJ/K.

Ejercicio 3

(a) Más agudo implica mayor frecuencia (efecto Doppler) cuando la polilla se acerca al murciélago. Al acercarse con rapidez v_p la polilla percibe (y refleja) una frecuencia $f' = f_m(v+v_p)/v > f_m$. El murciélago recibe el sonido desde un emisor que se acerca y percibe una frecuencia aún mayor $f" = f'v/(v - v_p) > f'$. La relación pedida es con respecto a la frecuencia del sonido emitido,

$$f" = f_m \frac{v + v_p}{v - v_p} \qquad \text{(se acerca)}$$

donde $f_m = 40$ kHz, $v = 343$ m/s.

(b) Cuando la polilla se aleja, se cambian los signos en la relación anterior y resulta

$$f" = f_m \frac{v - v_p}{v + v_p} = 40 \times \frac{340}{346} \simeq 39{,}3 \text{ kHz} \qquad \text{(se aleja)}$$

(c) los modos normales en en un tubo con extremos abiertos (o una cuerda con extremos fijos) tienen frecuencia fundamental $f_1 = f_m = v/2L \simeq 40$ kHz, por lo tanto $L = v/2f_m \simeq 4{,}3$ mm. Con v constante, L y f_m están en relación inversa: si L aumenta, resulta un sonido más grave.

Pregunta 1

- Primera ley: $Q_H - Q_L = W$
- rendimiento (bomba de calor): $\beta = \frac{Q_H}{W} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$
- rendimiento máximo (caso reversible): $\beta_c = \frac{T_H}{T_H - T_L} \simeq 3{,}417$
- Segunda ley: $Q_H \leq 3{,}417 \times W$

Caso	Q_H	Q_L	W	Primera ley	Segunda ley	proceso
a	10	10	0	ok	X	imposible
b	30	15	10	X	ok	imposible
c	40	30	10	ok	X	imposible
d	30	0	30	ok	ok	posible

Pregunta 2

Los modos normales en una cuerda con extremos fijos tienen frecuencias $f_n = nf_1$, con frecuencia fundamental $f_1 = v/2L = 3$ kHz y $n = 1, 2, 3\ldots$ De estos, solo aquellos con $n =$ múltiplo de 3 tienen un nodo en $L/3$. Por tanto las frecuencias escuchadas serán $n = 3, 6, 9\ldots$ mientras no superen el límite auditivo (20 kHz). Se escuchan solo dos armónicos: 9 kHz y 18 kHz.

Pregunta 3

Demostración hecha en clase: ver teórico o el texto.