Examen de Física 2
Solución

10 de febrero 2012

Pregunta 1

El aire permanece a presión y temperatua ambiente durante el proceso, no hay cambio de estado. Por la primera ley $Q_{aire} = -W_{aire} = -(W_A + W_B)$. La variación de entropía del universo es

$$\Delta S_{univ} = \Delta S_{aire} + \Delta S_{amb} = \Delta S_{amb} = \frac{Q_0}{T_0} = -\frac{Q_{aire}}{T_0} = \frac{W_A + W_B}{T_0} > 0$$

donde $Q_0 = -Q_{aire}$ es el calor que recibe el ambiente.

Pregunta 2

Sea $f = 1800\,\mathrm{Hz}$ la frecuencia emitida, $f' = 2150\,\mathrm{Hz}$ la recibida en suelo y f'' la recibida por la paracaidista, reflejada del suelo. Sea $v = 343\,\mathrm{m/s}$ la velocidad del sonido en el aire y v_t la velocidad terminal de la paracaidista. Por efecto Doppler,

$$\begin{aligned} f' = f\left(\frac{v}{v - v_t}\right) \quad &\Rightarrow \quad v_t = v(1 - f/f') = 55.8\,\mathrm{m/s} \\ f'' = f'\left(\frac{v + v_t}{v}\right) \quad &= \quad 2f' - f = 2500\,\mathrm{Hz} \end{aligned}$$

Pregunta 3

La variación (hidrostática) de presión entre el fondo y la superficie es $\Delta P = P_0 - P_h = -\rho g h$. Si la burbuja tiene radios r_0 en la superficie y $r_h = 1\,\mathrm{cm}$ en el fondo, la variación de volumen es

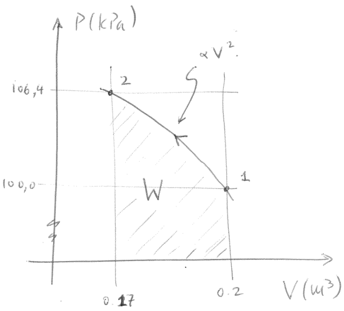
$$\Delta V = V_0 - V_h = \frac{4\pi}{3}\left(r_0^3 - r_h^3\right) = -\kappa V \Delta P = \kappa \times \frac{4\pi r_h^3}{3} \times \rho g h$$

de donde

$$r_0 = r_h(1 + \kappa\rho g h)^{\frac{1}{3}} = 1.33\,\mathrm{cm}$$

Ejercicio 1

(a) Balance mecánico al pistón: $PA + F(V) = P_0 A$, de donde $P(V) = P_0 - \frac{\alpha}{A}\left(V^2 - V_1^2\right)$.



(b) **Estado 1:** $P_1 = P_0 = 100\,\mathrm{kPa}$, $T_1 = T_0 = 293\,\mathrm{K}$ y $V_1 = 0.20\,\mathrm{m}^3$, de donde $m = PV/R_m T = 0.238\,\mathrm{kg}$.
Estado 2: $V_2 = 0.17\,\mathrm{m}^3$, $P_2 = P_0 - \frac{\alpha}{A}\left(V_2^2 - V_1^2\right) = 106.4\,\mathrm{kPa}$ y

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{m R_m} = 264.8\,\mathrm{K} \simeq -8.2\,^{\circ}\mathrm{C}.$$

(c) $\Delta S_{univ} = \Delta S_{univ} = \Delta S_{aire} + Q_{amb}/T_0$, donde Q_{amb} es el calor recibido por el ambiente a T_0. La variación de entropía en el aire es

$$\Delta S_{aire} = m\left[c_V \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R_m \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\right] = -28.4\,\mathrm{J/K}.$$

La Primera Ley al aire da el calor intercambiado $Q = \Delta U - W$ con $\Delta U = mc_V(T_2 - T_1) = -4.8\,\mathrm{kJ}$ y el trabajo es (proceso cuasiestático)

$$W = -\int_1^2 P(V)\,dV = -\left(P_0 + \frac{\alpha}{A}V_1^2\right)(V_2 - V_1) + \frac{\alpha}{3A}(V_2^3 - V_1^3) \simeq 3.1\,\mathrm{kJ}.$$

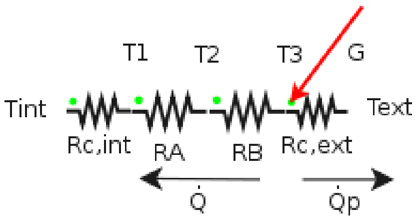
Por tanto $Q = -7.9\,\mathrm{kJ}$ y el ambiente recibe $Q_{amb} = -Q = 7.9\,\mathrm{kJ}$. Finalmente,

$$\Delta S_{univ} = \Delta S_{aire} + \frac{Q_{amb}}{T_L} = 4.1\,\mathrm{J/K}.$$

Ejercicio 2

La figura muestra el circuito equivalente para el problema. Las resistencias térmicas relevantes son (para una área $A = 1\,\mathrm{m}^2$)

$$\begin{aligned}
R_{c,int} &= \frac{1}{h_{int}A} = 0.200\,\mathrm{K/W}\\
R_{c,ext} &= \frac{1}{h_{ext}A} = 0.100\,\mathrm{K/W}\\
R_A &= \frac{e_A}{k_A A} = 0.308\,\mathrm{K/W}\\
R_B &= \frac{e_B}{k_B A} = 0.833\,\mathrm{K/W}.
\end{aligned}$$



(a) Del circuito equivalente se obtienen las ecuaciones

$$\begin{aligned}
G &= \dot{Q} + \dot{Q}_p && (1)\\
T_3 - T_{int} &= R\dot{Q} && (2)\\
T_3 - T_{ext} &= R_{c,ext}\dot{Q}_p && (3)
\end{aligned}$$

donde $R = R_{c,int} + R_A + R_B = 1.341\,\mathrm{W/K}$ es la resistencia térmica de la rama que conduce al interior. Resolviendo para $\dot{Q}$ se obtiene

$$\dot{Q} = \frac{T_{ext} - T_{int} + R_{c,ext}G}{R + R_{c,ext}} \simeq 34.7\,\mathrm{W/m^2}.$$

(b) Las temperaturas intermedias se obtienen del circuito serie,

$$\begin{aligned}
T_3 &= T_{int} + R\dot{Q} = 66.5\,^\circ\mathrm{C}\\
T_2 &= T_3 - R_B\dot{Q} = 37.6\,^\circ\mathrm{C}\\
T_1 &= T_2 - R_A\dot{Q} = 26.9\,^\circ\mathrm{C}
\end{aligned}$$

(c) En régimen estacionario, no hay transferencia de calor a través de diferenicas de temperatura finitas, en el muro. La contribución al aumento de entropía se debe a las transferencias de calor fuera del muro:

$$\begin{aligned}
\dot{S}_{univ} &= \dot{Q}\left(\frac{1}{T_{int}} - \frac{1}{T_3}\right) + G\left(\frac{1}{T_3} - \frac{1}{T_S}\right) + \dot{Q}_p\left(\frac{1}{T_{ext}} - \frac{1}{T_3}\right)\\
&= \dot{Q}\left(\frac{1}{T_{int}} - \frac{1}{T_S}\right) + \dot{Q}_p\left(\frac{1}{T_{ext}} - \frac{1}{T_S}\right) = \frac{\dot{Q}}{T_{int}} - \frac{G}{T_S} + \frac{\dot{Q}}{T_{ext}} \simeq 0.90\,\mathrm{W/K}
\end{aligned}$$

donde $\dot{Q}_p = G - \dot{Q} = 265.3\,\mathrm{W/m^2}$ es el flujo de calor por convección al ambiente exterior.