



- 1 Com o objetivo de obter água a partir do gelo presente em algumas regiões próximas ao polo norte da lua, fabricou-se um dispositivo que consiste de uma esfera oca negra presa a um tubo metálico de boa condutividade térmica conectado a uma placa furada do mesmo material (vide figura), no fundo de uma cratera cercada de bordas (montanhas) altas. A esfera absorve radiação solar. A emissividade da superfície da esfera é  $e = 0.9$ . Parte do calor absorvido é conduzido pela parede do tubo até o gelo. A superfície externa do metal é espelhada e sua emissividade é próxima de zero. A Lua não possui atmosfera. Suponha que a camada de gelo seja extensa e, juntamente com a placa sobre a sua superfície, funcione como um reservatório térmico a  $T_1 = -123,15^\circ\text{C}$ . O calor transmitido pelo tubo provoca sublimação do gelo, e o vapor produzido é recolhido no interior do tubo e da esfera. Um compressor (não ilustrado) transforma o vapor em líquido.
  - (a) O sistema converte  $n = 10$  moles por hora de gelo em vapor. Determine a potência térmica  $H_c$  conduzida pelo tubo, desprezando a capacidade térmica e a condutividade térmica do vapor. O calor latente de sublimação do gelo a 150 K é  $L_s = 2700 \text{ J/g}$ .
  - (b) A intensidade da radiação solar que atinge a esfera é  $I_s = 1400 \text{ W/m}^2$ . O raio da esfera é  $R = 25,3 \text{ cm}$ . Calcule a área da sombra provocada pela esfera e a potência da radiação solar absorvida por ela.
  - (c) Determine a temperatura da esfera  $T_2$ , em K.
  - (d) Dados o comprimento do tubo  $L = 100 \text{ m}$ , e a condutividade térmica do metal  $k = 400 \text{ J/(mK)}$ , determine a área da seção do tubo.
  - (e) Determine a velocidade quadrática média  $v_{qm} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$  das moléculas de vapor d'água a 150 K.
  - (f) Na verdade a Lua possui uma "atmosfera" com pressão típica de  $4 \times 10^{-11} \text{ Pa}$  (centenas de vezes menor que o ultra-alto vácuo utilizado no acelerador LHC). Determine o caminho livre médio do vapor d'água a essa pressão e a 150 K, dado o diâmetro efetivo da molécula de  $\text{H}_2\text{O}$ :  $D = 4,6 \times 10^{-10} \text{ m}$ .
  - (g) Ao subir pelo tubo, o vapor se aquece gradativamente de  $T_1$  até  $T_2$ , mas a pressão permanece aproximadamente constante e igual à pressão de vapor a 150 K:  $P_1(150\text{K}) = 6 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ . Determine o calor necessário para elevar 10 moles de vapor desde  $T_1$  até  $T_2$ , isobaricamente, supondo que a molécula de água tem graus de liberdade de translação e de rotação em 3 dimensões, e um modo de vibração.
  - (h) Para liquefazer o vapor, este é comprimido isotermicamente a 276 K. Determine o trabalho necessário para comprimir 10 moles de vapor da pressão  $P_1$  até a pressão de vapor  $P_v(276\text{K}) = 755 \text{ Pa}$  a 276 K (supondo comportamento de gás ideal), e depois até o volume de 10 moles de água  $V_3$  (sempre à mesma temperatura de 276 K). Determine o calor total liberado pelo gás neste processo. O calor latente de vaporização da água a essa pressão é:  $L = 710 \text{ J/g}$ .