

Examen Partiel : Thermodynamique
 Session de Janvier 2019
 Durée totale : 1h45'
 Aucun document n'est autorisé

Exercice 1

Une machine thermique fonctionne de manière à développer une puissance mécanique maximale de $0,65 \text{ kW}$ et de rejeter $0,4 \text{ kJ/s}$ à un réservoir à 27°C . Déterminez,

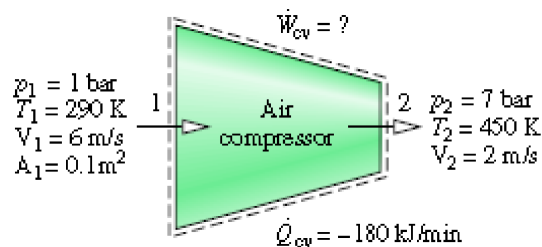
1. Le rendement de la machine
2. La température du réservoir thermique fournissant de la chaleur à la machine.

Exercice 2

On se propose de concevoir un entrepôt frigorifique pour le maintien de certains légumes dans les conditions de congélation de -20°C . La température ambiante en été est de 37°C . La puissance thermique transférée à la chambre froide au travers des murs, portes et toit est de 3 kJ/s . Déterminez la puissance mécanique minimale requise au fonctionnement du réfrigérateur.

Exercice 3

L'air entre à un compresseur opérant en régime permanent à une pression de 1 bar , une température de 290 K , et avec une vitesse de 6 m/s . La section d'entrée est de $0,1 \text{ m}^2$. A la sortie, la pression est 7 bar , la température est 450 K , et la vitesse est de 2 m/s . Les pertes calorifiques sont estimées à 180 kJ/min .



En utilisant le modèle des gaz parfaits, calculez la puissance d'entrée du compresseur. On donne :

- ✓ l'enthalpie à l'entrée : $h_1 = 290,16 \text{ kJ/kg}$.
- ✓ l'enthalpie à la sortie : $h_2 = 451,8 \text{ kJ/kg}$.
- ✓ La constante de l'air : $R_g = 287 \text{ J/(kg.K)}$

Exercice 4

Une résistance électrique chauffante de 1200 W est plongée dans 40 kg d'eau liquide qui se trouve au départ à 20°C . Le réservoir d'eau est adiabatique. Déterminez le temps nécessaire pour élever la température à 50°C . Déterminez également l'entropie produite durant l'évolution en kilojoules par kelvin. On donne :

La chaleur spécifique de l'eau :

$$c = 4180 \text{ J / (kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Correction de l'exercice 1

We know that $W = Q_1 - Q_2$ or $Q_1 = W + Q_2$
or $Q_1 = 0.65 + 0.4 = 1.05 \text{ kJ/s}$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

or $\frac{0.65}{1.05} = 0.619 = 1 - \frac{300}{T_1}$ or $T_1 = 787.4 \text{ K}$

Correction de l'exercice 2

The coefficient of performance of the refrigerator working between two thermal reservoirs at temperatures T_L (-20°C) and T_H (37°C) is given by

$$(\text{COP})_{\text{Ref}} = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

or $(\text{COP})_{\text{Ref}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{253}{310 - 253} = 4.4386$

$$(\text{COP})_{\text{Ref}} = 4.4386 = \frac{Q_L}{W} = \frac{3}{W} \text{ or } W = 0.6759 \text{ kJ/s}$$

The maximum COP of a practical refrigerator is that of a Carnot refrigerator.
Hence, the maximum possible (COP) of the refrigerator = 4.4386

Correction de l'exercice 3

Analysis: To calculate the power input to the compressor, begin with the one-inlet, one-exit form of the energy rate balance for a control volume at steady state, Eq. 4.20a. That is

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right]$$

Solving

$$\dot{W}_{cv} = \dot{Q}_{cv} + \dot{m} \left[(h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} \right]$$

The change in potential energy from inlet to exit drops out by assumption 2.

The mass flow rate $\dot{m}$ can be evaluated with given data at the inlet and the ideal gas equation of state.

$$\dot{m} = \frac{A_1 V_1}{v_1} = \frac{A_1 V_1 p_1}{(\bar{R}/M) T_1} = \frac{(0.1 \text{ m}^2)(6 \text{ m/s})(10^5 \text{ N/m}^2)}{\left(\frac{8314 \text{ N} \cdot \text{m}}{28.97 \text{ kg} \cdot \text{K}} \right) (290 \text{ K})} = 0.72 \text{ kg/s}$$

The specific enthalpies h_1 and h_2 can be found from Table A-22. At 290 K, $h_1 = 290.16 \text{ kJ/kg}$. At 450 K, $h_2 = 451.8 \text{ kJ/kg}$. Substituting values into the expression for $\dot{W}_{cv}$, and applying appropriate unit conversion factors, we get

$$\begin{aligned} \dot{W}_{cv} &= \left(-180 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \right) \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right| + 0.72 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \left[(290.16 - 451.8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{(6)^2 - (2)^2}{2} \right) \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right) \left| \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ N} \cdot \text{m}} \right| \right] \\ &= -3 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} + 0.72 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (-161.64 + 0.02) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= -119.4 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kJ/s}} \right| = -119.4 \text{ kW} \end{aligned}$$

Correction de l'exercice 4

7-188 An electric resistance heater is immersed in water. The time it will take for the electric heater to raise the water temperature to a specified temperature and the entropy generated during this process are to be determined.

Assumptions **1** Water is an incompressible substance with constant specific heats. **2** The energy stored in the container itself and the heater is negligible. **3** Heat loss from the container is negligible.

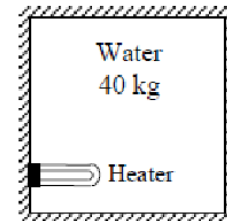
Properties The specific heat of water at room temperature is $c = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ (Table A-3).

Analysis Taking the water in the container as the system, which is a closed system, the energy balance can be expressed as

$$\underbrace{E_{\text{in}} - E_{\text{out}}}_{\substack{\text{Net energy transfer} \\ \text{by heat, work, and mass}}} = \underbrace{\Delta E_{\text{system}}}_{\substack{\text{Change in internal, kinetic,} \\ \text{potential, etc. energies}}}$$

$$\dot{W}_{\text{e,in}} = (\Delta U)_{\text{water}}$$

$$\dot{W}_{\text{e,in}} \Delta t = mc(T_2 - T_1)_{\text{water}}$$



Substituting,

$$(1200 \text{ J/s})\Delta t = (40 \text{ kg})(4180 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(50 - 20)^\circ\text{C}$$

Solving for Δt gives

$$\Delta t = 4180 \text{ s} = 69.7 \text{ min} = 1.16 \text{ h}$$

Again we take the water in the tank to be the system. Noting that no heat or mass crosses the boundaries of this system and the energy and entropy contents of the heater are negligible, the entropy balance for it can be expressed as

$$\underbrace{S_{\text{in}} - S_{\text{out}}}_{\substack{\text{Net entropy transfer} \\ \text{by heat and mass}}} + \underbrace{S_{\text{gen}}}_{\substack{\text{Entropy} \\ \text{generation}}} = \underbrace{\Delta S_{\text{system}}}_{\substack{\text{Change} \\ \text{in entropy}}}$$

$$0 + S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{water}}$$

Therefore, the entropy generated during this process is

$$S_{\text{gen}} = \Delta S_{\text{water}} = mc \ln \frac{T_2}{T_1} = (40 \text{ kg})(4.18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}) \ln \frac{323 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 16.3 \text{ kJ/K}$$