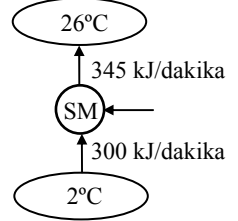


MAK 212 - TERMODİNAMİK
CRN: 21688, 21689, 21690, 21691, 21692
2010-2011 BAHAR YARIYILI

ÖDEV 6a-ÇÖZÜM

- 1) Bir buzdolabı 2°C sıcaklığındaki soğutulan bir ortamdan 300 kJ/dakika ısı çekmekte ve 26°C sıcaklığındaki mutfığa 345 kJ/dakika ısı vermektedir. Bu buzdolabının termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olup olmadığını, (a) Clausius eşitsizliği, (b) Carnot ilkeleri ışığında belirleyin. (*Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, Problem 6-5*).



(a) Clausius eşitsizliği : $\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right) \leq 0$

Soğutma makinesine ısı geçişinin olduğu sınırlarda sıcaklığın ısı enerji depolarının sıcaklığına eşit olduğu kabul edilirse $\delta Q/T$ 'nin çevrim üzerinde integrali hesaplanabilir:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{\dot{Q}_L}{T_L} - \frac{\dot{Q}_H}{T_H} = \frac{300}{275} - \frac{345}{299} = -0.063 \text{ kJ/dakika-K} < 0$$

$\delta Q/T$ 'nin çevrim boyunca integrali sıfırdan küçük olduğu için, bu çevrim Clausius eşitsizliğine ve termodinamiğin ikinci yasasına aykırı değildir.

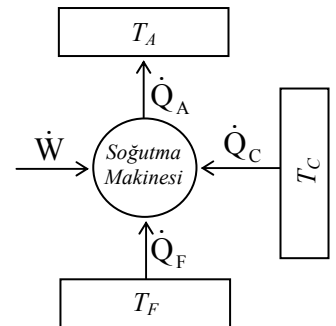
- (b) Carnot ilkelerinin sağlanıp sağlanmadığını sınamak için, söz konusu soğutma makinesinin etkinlik katsayısını, aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir bir makinenin, örneğin Carnot soğutma makinesinin etkinlik katsayısıyla karşılaştırmak gerekir:

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{net,giren}}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{300}{345 - 300} = 6.67$$

$$\text{COP}_{\text{SM,tr}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{275}{299 - 275} = 11.5$$

$\text{COP}_{\text{SM}} < \text{COP}_{\text{SM,tr}}$ olduğundan bu buzdolabı termodinamiğin ikinci yasasına aykırı değildir.

- 2) Bir ev buzdolabının dondurucu bölümünün sıcaklığı T_F ve soğutucu bölümünün sıcaklığı T_C 'dir. Isının atıldığı ortamın sıcaklığı ise T_A 'dır. Soğutucu bölümünden birim zamanda çekilen ısı $(\dot{Q}_C)$, dondurucu bölümünden birim zamanda çekilen ısıyla $(\dot{Q}_F)$ aynı olduğunu kabul ederek bu soğutma makinesini çalıştırmak için gerekli minimum gücü veren bağıntıyı bulunuz. Eğer $T_A = 20^\circ\text{C}$, $T_C = 5^\circ\text{C}$, $T_F = -10^\circ\text{C}$ ve $\dot{Q}_C = \dot{Q}_F = 3 \text{ kW}$ ise soğutma makinesini çalıştırmak için gerekli minimum gücü hesaplayınız. (İpucu: Clausius eşitsizliğini kullanınız.) (*Fundamentals of Thermodynamics, 1998, R. E. Sonntag, C. Borgnakke, G. J. Van Wylen, Problem 10.5*)



Clausius eşitsizliği : $\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right) \leq 0$

Soğutma makinesini çalıştırmak için gerekli minimum güç, aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tersinir soğutma

makinesini çalıştırmak için gerekli güçtür.

Tümden veya içten tersinir çevrimler için $\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten, tr}} = 0$ olduğundan:

$$\oint \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{tr}} = \int \frac{\delta Q_F}{T_F} + \int \frac{\delta Q_C}{T_C} - \int \frac{\delta Q_A}{T_A} = \frac{\dot{Q}_F}{T_F} + \frac{\dot{Q}_C}{T_C} - \frac{\dot{Q}_A}{T_A} = 0 \quad (\text{ısı enerjisi depolarının sıcaklıkları sabit})$$

$$\frac{\dot{Q}_F}{T_F} + \frac{\dot{Q}_C}{T_C} - \frac{\dot{Q}_A}{T_A} = 0 \Rightarrow \dot{Q}_A = T_A \left(\frac{\dot{Q}_F}{T_F} + \frac{\dot{Q}_C}{T_C} \right) \quad (1)$$

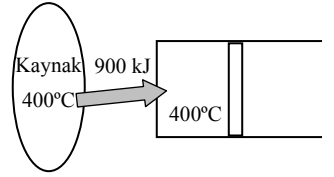
$$\text{Çevrim için } \dot{W}_{\text{net}} = \dot{Q}_{\text{net}} \text{ olduğundan } \Rightarrow -\dot{W} = \dot{Q}_F + \dot{Q}_C - \dot{Q}_A \Rightarrow \dot{W} = \dot{Q}_A - \dot{Q}_F - \dot{Q}_C \quad (2)$$

$$(1) \text{ ve } (2) \text{ den } \Rightarrow \dot{W} = T_A \left(\frac{\dot{Q}_F}{T_F} + \frac{\dot{Q}_C}{T_C} \right) - \dot{Q}_F - \dot{Q}_C \Rightarrow \dot{W} = \left(\frac{T_A}{T_F} - 1 \right) \dot{Q}_F + \left(\frac{T_A}{T_C} - 1 \right) \dot{Q}_C$$

$$\dot{W} = \left(\frac{T_A}{T_F} - 1 \right) \dot{Q}_F + \left(\frac{T_A}{T_C} - 1 \right) \dot{Q}_C = \left(\frac{293}{263} - 1 \right) \times 3 + \left(\frac{293}{278} - 1 \right) \times 3 = 0.5 \text{ kW}$$

$$[\text{Eğer } \dot{Q}_A \text{ değeri bulunmak istenirse } \dot{Q}_A = T_A \left(\frac{\dot{Q}_F}{T_F} + \frac{\dot{Q}_C}{T_C} \right) = 293 \times \left(\frac{3}{263} + \frac{3}{278} \right) = 6.5 \text{ kW}]$$

- 3) Bir Carnot çevriminin aracı akışkanına 400°C sıcaklıktaki bir kaynaktan sabit sıcaklıkta 900 kJ ısı geçişi olmaktadır. Bu hal değişimi sırasında, (a) aracı akışkanın entropi değişimini, (b) kaynağın entropi değişimini, (c) toplam entropi değişimini hesaplayın. (Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, **Problem 6-44**).



(a) Aracı akışkana tersinir, sabit sıcaklıkta ısı geçişi olduğundan, aracı akışkanın entropi değişimi:

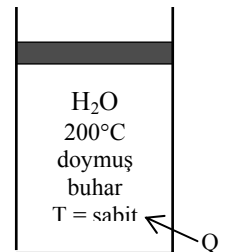
$$\Delta S_{\text{akışkan}} = \frac{Q_{\text{akışkan}}}{T_{\text{akışkan}}} = \frac{+900}{673} = 1.337 \text{ kJ/K}$$

$$(b) \Delta S_{\text{kaynak}} = \frac{Q_{\text{kaynak}}}{T_{\text{kaynak}}} = \frac{-Q_{\text{akışkan}}}{T_{\text{kaynak}}} = \frac{-900}{673} = -1.337 \text{ kJ/K}$$

(c) Toplam entropi değişimi:

$$S_{\text{üretim}} \equiv \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{akışkan}} + \Delta S_{\text{kaynak}} = 1.337 - 1.337 = 0$$

- 4) Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 200°C sıcaklıkta 0.5 kg doymuş su buharı bulunmaktadır. Daha sonra buhara ısı geçişi olmakta ve buhar 800 kPa basınca tersinir olarak ve sabit sıcaklıkta genişlemektedir. Bu hal değişimi sırasında yapılan iş ve ısı geçişini hesaplayın. (Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Çengel ve Boles, çev. T. Derbentli, **Problem 6-61**).



Kapalı Sistem : 0.5 kg doymuş su buharı

İlk Hal : $T_1=200^\circ\text{C}$, $x_1=1.0$

Son Hal : $P_2=800 \text{ kPa}$, $T_2=T_1=200^\circ\text{C}$

Su buharı tablolarından:

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 200^\circ \text{C} \\ x_1 = 1.0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} u_1 = u_{g,200^\circ \text{C}} = 2595.3 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_{g,200^\circ \text{C}} = 6.4323 \text{ kJ/kg-K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ T_2 = T_1 = 200^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} u_2 = 2630.6 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = 6.8158 \text{ kJ/kg-K} \end{array}$$

Kütlenin korunumu $m_2 = m_1 = m$

1-2 Tersinir, sabit sıcaklıkta hal değişimi olduğundan, ısı geçişi (2. yasadan yararlanılarak) aşağıdaki şekilde bulunur:

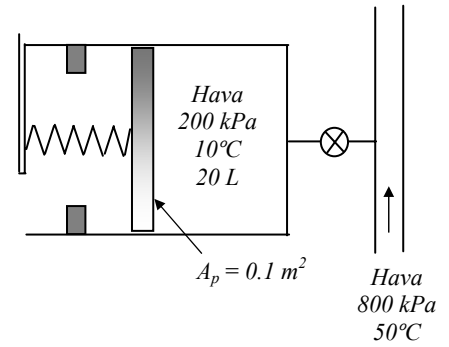
$$Q = T \Delta S = T m (s_2 - s_1) = 473 \times 0.5 \times (6.8158 - 6.4323) = 90.7 \text{ kJ}$$

Enerjinin Korunumu (Kapalı sistem için)

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE^{70} + \Delta PE^{70} \longrightarrow W = Q - m(u_2 - u_1)$$

$$W = 90.7 - 0.5 \times (2630.6 - 2595.3) = 73.1 \text{ kJ}$$

- 5) Şekilde görülen sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 200 kPa basınç, 10°C sıcaklık ve 20 L hacminde hava bulunmaktadır. Piston bu konumdayken katsayısı 100 kN/m olan doğrusal bir yayı sıkıştırmaktadır. Pistonun kesit alanı 0.1 m²'dir. Silindir içindeki durdurucular, hacmin 50 L'yi geçmesini engellemektedir. Silindir 800 kPa basınç ve 50°C sıcaklıkta hava akışının olduğu hatta bir vana ile bağlıdır. Daha sonra vana açılmakta ve son halde silindir içindeki havanın basıncı 800 kPa ve sıcaklığı 80°C olduğunda kapatılmaktadır. Çevre sıcaklığı 10°C'dır. Havayı mükemmel gaz ve özgül ısılarını oda sıcaklığında sabit kabul ediniz. (a) Pistonun durduruculara ulaşip ulaşmadığını tespit ediniz. (b) Isı geçişini, (c) toplam entropi değişimini hesaplayınız. (*Fundamentals of Thermodynamics, 1998, R. E. Sonntag, C. Borgnakke, G. J. Van Wylen, Problem 9.36*)



- (a) Piston durduruculara ulaşmaya kadar basınç değişimi, hacim değişimi ile orantılı ($\Delta P \sim \Delta V$) olacaktır. Piston durduruculara ulaştığı takdirde hacim $V_2=50 \text{ L}$ ve basınç

$$P_2 - P_1 = \frac{k_y}{A_p^2} (V_2 - V_1) \implies P_2 = 200 + \frac{100}{0.1^2} (0.05 - 0.02) = 500 \text{ kPa}$$

olacaktır. Son haldeki basınç bu değerden büyük ($P_{\text{son}}=800 \text{ kPa} > P_2=500 \text{ kPa}$) olduğundan piston durduruculara ulaşmıştır ve piston durduruculara ulaştıktan sonra, hacim sabit kalmak üzere, basınç 800 kPa oluncaya kadar hava girişi devam etmiştir.

- (b) Açık Sistem : Pistonun sağ tarafındaki silindir hacmi ve vana (DADA)

İlk hal : $P_1=200 \text{ kPa}$, $T_1=10^\circ \text{C}$ (283 K), $V_1=0.02 \text{ m}^3$

Ara hal : $P_2=500 \text{ kPa}$, $V_2=0.05 \text{ m}^3$

Son hal : $P_3=800 \text{ kPa}$, $T_3=80^\circ \text{C}$ (353 K), $V_3=V_2=0.05 \text{ m}^3$

Giriş hali : $P_g=800 \text{ kPa}$, $T_g=50^\circ \text{C}$ (323 K)

Kütlenin Korunumu (DADA için): $(m_3 - m_1)_{\text{KH}} = \sum m_g - \sum m_\phi^{70} \implies m_g = m_3 - m_1$

Hava mükemmel gaz kabul edilirse,

$$m_1 = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{200 \times 0.02}{0.287 \times 283} = 0.04925 \text{ kg}$$

$$m_3 = \frac{P_3 V_3}{R T_3} = \frac{800 \times 0.05}{0.287 \times 353} = 0.3948 \text{ kg}$$

$$m_g = m_3 - m_1 = 0.3948 - 0.04925 = 0.3456 \text{ kg}$$

$$\text{İş: } W = \frac{(P_2 + P_1)}{2} (V_2 - V_1) = \frac{(500 + 200)}{2} \times (0.05 - 0.02) = 10.5 \text{ kJ}$$

Enerjinin Korunumu (DADA için),

$$Q - W = (m_3 u_3 - m_1 u_1)_{KH} + \sum m_{\dot{\chi}}^{\infty} h_{\dot{\chi}} - \sum m_g h_g \quad (\text{kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilirse})$$

$$Q = W + (m_3 u_3 - m_1 u_1) - m_g h_g$$

$$Q = W + [m_3 (h_3 - P_3 v_3)] - [m_1 (h_1 - P_1 v_1)] - (m_3 - m_1) h_g$$

$$Q = W + m_3 (h_3 - h_g) - m_1 (h_1 - h_g) - P_3 V_3 + P_1 V_1$$

Özgül ısılar sabit kabul edilir ve oda sıcaklığındaki değerler kullanılırsa,

$$\begin{aligned} Q &= W + m_3 c_{po} (T_3 - T_g) - m_1 c_{po} (T_1 - T_g) - P_3 V_3 + P_1 V_1 \\ &= 10.5 + 0.3948 \times 1.005 \times (353 - 323) - 0.04925 \times 1.005 \times (283 - 323) - 800 \times 0.05 + 200 \times 0.02 \\ &= -11.6 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(c) Toplam entropi değişimi veya entropi üretimi (DADA için)

$$\begin{aligned} S_{\text{üretim}} &= (m_3 s_3 - m_1 s_1)_{KH} + \sum m_{\dot{\chi}}^{\infty} s_{\dot{\chi}} - \sum m_g s_g + \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \\ &= m_3 s_3 - m_1 s_1 - m_g s_g + \frac{-Q}{T_{\text{çevre}}} \\ &= m_3 s_3 - m_1 s_1 - (m_3 - m_1) s_g + \frac{-Q}{T_{\text{çevre}}} \\ &= m_3 (s_3 - s_g) - m_1 (s_1 - s_g) + \frac{-Q}{T_{\text{çevre}}} \end{aligned}$$

Özgül ısılar sabit kabul edildiğinde mükemmel gazın entropi değişimi aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$(s_3 - s_g) = c_{po} \ln \frac{T_3}{T_g} - R \ln \frac{P_3}{P_g} = 1.005 \times \ln \left(\frac{353}{323} \right) - 0.287 \times \ln \left(\frac{800}{800} \right)^{\infty} = 0.08926 \text{ kJ / kg-K}$$

$$(s_1 - s_g) = c_{po} \ln \frac{T_1}{T_g} - R \ln \frac{P_1}{P_g} = 1.005 \times \ln \left(\frac{283}{323} \right) - 0.287 \times \ln \left(\frac{200}{800} \right) = 0.2650 \text{ kJ / kg-K}$$

Bu değerler yerine konulursa,

$$\begin{aligned} S_{\text{üretim}} &= m_3 (s_3 - s_g) - m_1 (s_1 - s_g) + \frac{-Q}{T_{\text{çevre}}} \\ &= 0.3948 \times (0.08926) - 0.04925 \times (0.2650) + \frac{+11.6}{283} \\ &= 0.063 \text{ kJ / K} \end{aligned}$$