

2 בדצמבר 2003

פתרון בוחן תרמודינאמיקה 0555-2401

1. נסמן את החלל התחתון באות A והעליון באות B.

א. נגדיר את החלל העליון כמערכת. המערכת מכילה גז אידיאלי, התהליך בשלב א' הוא בלחץ קבוע, ואין מעבר חום. משוואת החוק הראשון:

$$E_{B2} - E_{B1} = -{}_1W_2$$

$$\Delta E_B = U_{B2} - U_{B1} = m_B C_v (T_{B2} - T_{B1}) = -P_1 (V_{B2} - V_{B1}) = -m_B R (T_{B2} - T_{B1})$$

שוויון זה יכול להתקיים רק אם $T_{B2} = T_{B1} = 300\text{K}$. הטמפרטורה והאנרגיה הפנימית בחלל העליון נשארות לכן קבועות, נפח החלל העליון נשאר קבוע, ולכן אין עבודה נטו לתוך המערכת. העבודה שנעשית ע"י החלל התחתון מועברת כולה להרמת הבוכנה העליונה.

ב. נגדיר את החלל התחתון כמערכת. המערכת מכילה גז אידיאלי, והתהליך בשלב א' הוא בלחץ קבוע. הנפח

ההתחלתי הוא: $V_{A1} = 0.3\text{m} \cdot 0.1\text{m}^2 = 0.03\text{m}^3$. מכיוון שנפח החלל העליון נשאר קבוע, תנועת הבוכנה

העליונה מגדילה רק את הנפח הסופי של החלל התחתון: $V_{A2} = (0.3 + 0.1)\text{m} \cdot 0.1\text{m}^2 = 0.04\text{m}^3$.

הטמפרטורה הסופית מחושבת ממשוואת הגז האידיאלי:

$$T_{A2} = T_{A1} \frac{V_{A2}}{V_{A1}} = 300\text{K} \frac{0.04}{0.03} = 400\text{K}$$

ג. בחלל התחתון מתקיים מעבר חום ונעשית עבודה על הבוכנה הפנימית, אך הלחץ נשאר קבוע. משוואת החוק הראשון:

$$E_{A2} - E_{A1} = U_{A2} - U_{A1} = {}_1Q_2^{(A)} - {}_1W_2^{(A)}$$

המסה של האוויר בתוך החלל התחתון: (מסה זהה יש גם בחלל העליון)

$$m_A = \frac{P_1 V_{A1}}{R T_{A1}} = \frac{150\text{kPa} \cdot 0.03\text{m}^3}{0.287\text{kJ/kgK} \cdot 300\text{K}} = 0.0523\text{kg}$$

הלחץ בשני החללים מתאים למשקל הבוכנה העליונה m_p , מכיוון שמשקל האוויר בתוך הצילינדר והבוכנה הפנימית זניחים יחסית לבוכנה העליונה:

$$P_1 = P_0 + \frac{m_p g}{A} = 101,325\text{Pa} + \frac{500\text{kg} \cdot 9.8\text{m/s}^2}{0.1\text{m}^2} = 150\text{kPa}$$

העבודה שביצע האוויר בחלל התחתון מתבצעת כשינוי נפח בלחץ קבוע. נציב את העבודה ואת השינוי באנרגיה הפנימית (לפי החום הסגולי של האוויר) במשוואת החוק הראשון:

$$m_A C_v (T_{A2} - T_{A1}) = {}_1Q_2^{(A)} - P_1 (V_{A2} - V_{A1})$$

כמות החום שסופקה למערכת בחלל התחתון היא:

$${}_1Q_2^{(A)} = 0.0523\text{kg} \cdot 0.717 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (400 - 300)\text{K} + 150\text{kPa} \cdot (0.04 - 0.03)\text{m}^3$$

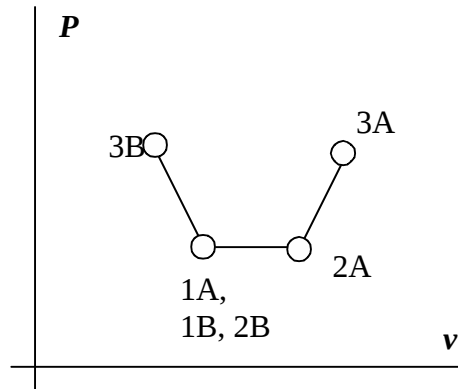
$$= 5.25\text{kJ}$$

ד. גם בשלב השני אין מעבר חום לחלל העליון. לכן, העבודה משתווה לשינוי באנרגיה הפנימית:

$$m_B C_v (T_{B3} - T_{B2}) = -{}_2W_3^{(B)}$$

$$T_{B3} = 300\text{K} + \frac{2.5\text{kJ}}{0.0523\text{kg} \cdot 0.717\text{kJ/kgK}} = 366.7\text{K}$$

ה. דיאגרמת לחץ-נפח סגולה:



2. כל המערכת פועלת במצב יציב.

א. נקודות 3 ו-4 שתייה בתחום של אד שחון. האנטלפיה מטבלה B.1.3:

$$h_3 = 3433.8\text{kJ/kg}$$

$$h_4 = 2592.6\text{kJ/kg}$$

מניחים כי השינויים באנרגיה קינטית ופוטנציאלית זניחים. משוואת החוק הראשון על הטורבינה:

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}(h_3 - h_4)$$

$$\dot{W} = -100\text{kW} + 20\frac{\text{kg}}{\text{s}}(3433.8 - 2592.6)\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 16.7\text{MW}$$

ב. משוואת החוק הראשון על תא ההרתחה:

$$0 = \dot{Q} + \dot{m}(h_2 - h_3)$$

$$h_2 = h_3 - \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} = 3433.8\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - \frac{45,500\text{kW}}{20\text{kg/s}} = 1158.8\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

בדיקה בטבלה B.1.2 בשורה של לחץ 5 MPa מראה כי נקודה 2 קרובה מאד לנוזל רווי:

$$x_2 = \frac{h_2 - h_{f2}}{h_{fg2}} = \frac{1158.8 - 1154.2}{1640.1} = 0.0028$$

מכיוון שנקודה 2 נמצאת ברוויה, הטמפרטורה היא טמפרטורת הרוויה בלחץ המתאים: $T_2 = 264\text{K}$.

ג. נקודה 1 נמצאת בתחום של נוזל דחוס, ולפי טבלה B.1.4 האנטלפיה היא:

$$h_1 = 88.6\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

אין עבודה במחליף החום. מעבר החום החיצוני הוא שלילי (הפסד לסביבה). משוואת החוק הראשון על מחליף החום:

$$0 = \dot{Q} + \dot{m}(h_4 - h_5) + \dot{m}(h_1 - h_2)$$

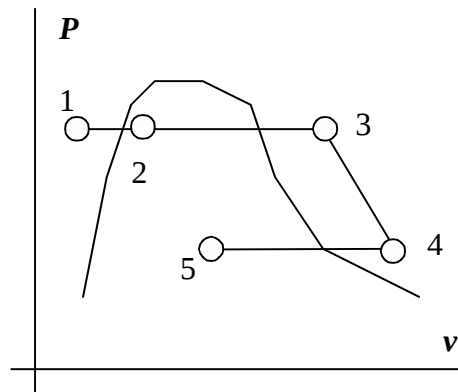
$$h_5 = h_4 + h_1 - h_2 + \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$$

$$= 25926 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 88.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 11588 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{-200 \text{ kW}}{20 \text{ kg/s}} = 15124 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

ערך זה נמצא בתוך תחום הרוויה עבור הלחץ של 10 kPa. הטמפרטורה היא לכן 45.8°C . נחשב את האיכות:

$$x_5 = \frac{h_5 - h_{f5}}{h_{fg5}} = \frac{15124 - 191.8}{23928} = 0.552$$

ד. ציור



ה. נדרש מחליף חום נוסף על מנת לסיים את עיבוי האדים ולספק למשאבה נוזל. במחליף החום יימסר חום לסביבה, לא תתבצע עבודה, האנטלפיה של המים תרד, האיכות תרד, הלחץ יישאר קבוע, והטמפרטורה תישאר קבועה (אם היציאה עדיין בתחום הרוויה) או תרד (אם היציאה בתחום של נוזל דחוס).