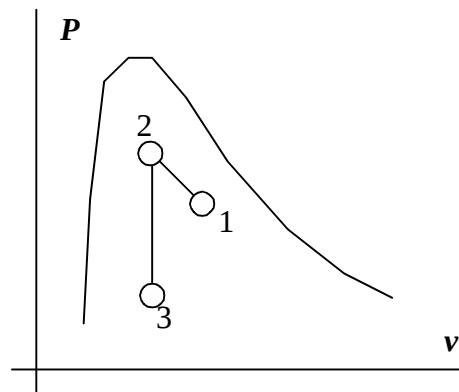


1 בדצמבר 2003

פתרון בוחן תהליכי חום וזרימה 0542-2612

1. הגדרת המערכת: המים בתוך הצילינדר.

א.



ב. תכונות המערכת בתחילת התהליך, לפי הטבלאות ברוויה בלחץ של 150 kPa:

$$m = \frac{V}{v_1} = \frac{V}{v_{f1} + x v_{fg1}} = \frac{0.01 \text{ m}^3}{(0.001053 + 0.6 \cdot 1.15828) \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.0144 \text{ kg}$$

$$u_1 = u_{f1} + x \cdot u_{fg1} = 466.92 + 0.6 \cdot 1205.272 = 1698.55 \text{ kJ/kg}$$

$$U_1 = m u_1 = 24.46 \text{ kJ}$$

התהליך בשלב הראשון הוא ללא מעבר חום וללא שינוי באנרגיה קינטית ופוטנציאלית. העבודה שלילית (עבודה מתבצעת על המערכת). החוק הראשון:

$$U_2 - U_1 = -{}_1W_2$$

$$U_2 = U_1 - {}_1W_2 = 24.46 \text{ kJ} - (-1 \text{ kJ}) = 25.46 \text{ kJ}$$

נמצא את האיכות בסיום התהליך הראשון בעזרת האנרגיה הפנימית הסגולית. התכונות הן ברוויה בלחץ של 300 kPa:

$$x_2 = \frac{u_2 - u_{f2}}{u_{fg2}} = \frac{U_2/m - u_{f2}}{u_{fg2}} = \frac{25.46 \text{ kJ}/0.0144 \text{ kg} - 561.3 \text{ kJ/kg}}{1982.43 \text{ kJ/kg}} = 0.609$$

ג. התהליך השני מתבצע בנפח קבוע. הנפח הסגולי בסוף התהליך שווה לזה בתחילתו, ובעזרתו נמצא את האיכות הסופית. התכונות במצב הסופי מתאימות לרוויה בטמפרטורה של 25°C.

$$v_3 = v_2 = v_{f2} + x_2 v_{fg2} = (0.001053 + 0.609 \cdot 0.60475) \text{ m}^3/\text{kg} = 0.36937 \text{ m}^3/\text{kg}$$

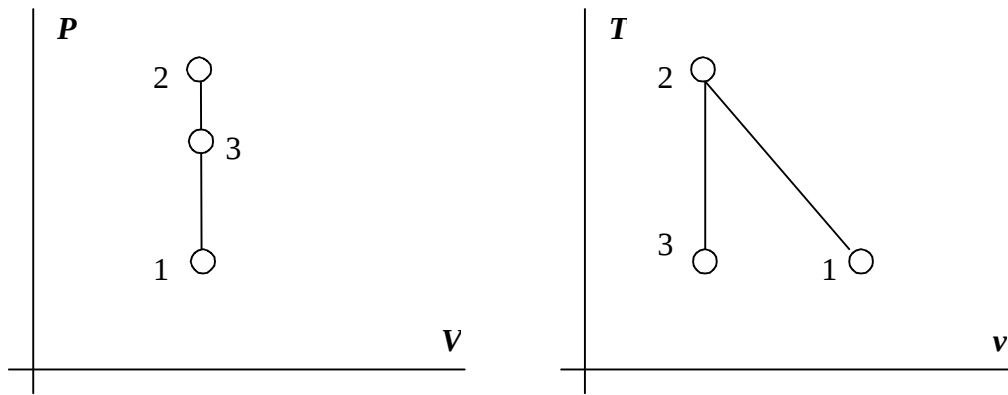
$$x_3 = \frac{v_3 - v_{fg3}}{v_{fg3}} = \frac{0.36937 \text{ m}^3/\text{kg} - 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg}}{43.3583 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.08496$$

ד. במשך התהליך הראשון הצילינדר מבודד, ולכן מעבר החום הוא אפס. בתהליך השני נפעיל את החוק הראשון, כאשר העבודה היא אפס (אין תנועה של הבוכנה), ואין שינוי באנרגיה הקינטית והפוטנציאלית.

$$\begin{aligned} {}_1Q_2 &= U_3 - U_2 = m u_3 - U_2 = m(u_{f3} + x_3 u_{fg3}) - U_2 \\ &= 0.0144 \text{ kg} \cdot (104.86 + 0.08496 \cdot 2304.9) \text{ kJ/kg} - 25.46 \text{ kJ} \\ &= -21.1 \text{ kJ} \end{aligned}$$

2. הגדרת המערכת: האוויר בתוך הכדור.

א.



ב. במשך התהליך הראשון הנפח קבוע אך המסה משתנה. מכיוון שהתהליך מהיר נניח שאין מעבר חום. הכדור הוא בגודל קבוע (בניגוד לבלון המשנה את נפחו בהתאם ללחץ), ולכן אין גם עבודה. כמו כן אין שינוי באנרגיה קינטית ופוטנציאלית של המערכת. החוק הראשון:

$$U_2 - U_1 = m_2 u_2 - m_1 u_1 = m_{in} h_{in}$$

שימור מסה מחייב: $m_2 = m_1 + m_{in}$. כמו כן, האנרגיה הפנימית והאנטלפיה תלויות בטמפרטורה בלבד, ולכן

$$u_{in} = u_1; \quad h_{in} = h_1$$

$$m_2 u_2 - (m_2 - m_{in}) u_1 = m_{in} (u_1 + P_1 v_1)$$

$$m_2 (u_2 - u_1) = m_{in} R T_1$$

$$m_2 C_v (T_2 - T_1) = m_{in} R T_1$$

$$T_2 = T_1 + \frac{m_{in}}{m_2} \cdot \frac{R}{C_v} \cdot T_1$$

את המסה ההתחלתית ניתן למצוא בעזרת משוואת הגז האידיאלי:

$$m_1 = \frac{P_1 V}{R T_1} = \frac{P_1}{R T_1} \cdot \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{101 \text{ kPa}}{0.287 \text{ kJ/kg K} \cdot 293 \text{ K}} \cdot \frac{4\pi (0.2 \text{ m})^3}{3} = 0.0402 \text{ kg}$$

$$m_2 = 1.7 \cdot m_1 = 0.0684 \text{ kg}$$

$$m_{in} = 0.7 \cdot m_1 = 0.0281 \text{ kg}$$

מציבים את המסה:

$$T_2 = 20^\circ\text{C} + \frac{0.0281}{0.0684} \cdot \frac{0.287}{0.717} \cdot 293\text{K} = 68.18^\circ\text{C}$$

ג. לפי משוואת הגז האידיאלי:

$$P_2 = \frac{m_2 R T_2}{V} = m_2 R T_2 \cdot \left(\frac{m_1 R T_1}{P_1} \right)^{-1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot P_1$$

$$= \frac{0.0684}{0.0402} \cdot \frac{68.18 + 273.15}{293} \cdot 101\text{kPa} = 200.2\text{kPa} \approx 2\text{atm}$$

ד. הכדור הוא בגודל קבוע, ולכן אין עבודה הקשורה לתזוזה של גבולות המערכת. העבודה היחידה היא זו שמבצעת המסה של האוויר הנכנסת לכדור, כאשר היא דוחפת את האוויר שכבר נמצא בתוך הכדור על מנת לפנות מקום. עבודה זו היא חלק מתוך האנרגיה הנכנסת, אך אפשר לחשב אותה בנפרד:

$$W_{in} = m_{in} \cdot P_{in} v_{in} = m_{in} \cdot R T_1 = 0.0281\text{kg} \cdot 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 293\text{K} = 2.36\text{kJ}$$

ה. בתהליך השני אין שינוי בנפח ובמסה. כמו כן, יש לשים לב כי: $T_3 = T_1$. לפי משוואת הגז האידיאלי:

$$P_3 = \frac{m_2 R T_3}{V} = m_2 R T_3 \cdot \left(\frac{m_1 R T_1}{P_1} \right)^{-1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot P_1$$

$$= \frac{0.0684}{0.0402} \cdot 101\text{kPa} = 171.9\text{kPa} \approx 1.7\text{atm}$$

ו. התהליך הראשון התרחש במהירות ולכן ניתן להזניח את מעבר החום בדפנות המערכת. בתהליך השני יש מעבר חום אל הסביבה, אך אין עבודה, אין שינויים באנרגיה קינטית ופוטנציאלית, ואין מעבר מסה דרך גבולות המערכת. החוק הראשון:

$$U_2 - U_1 = m_2 (u_3 - u_2) = {}_2Q_3$$

$${}_2Q_3 = m_2 C_v (T_3 - T_2) = 0.0684\text{kg} \cdot 0.717 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot (20 - 68.18)\text{K}$$

$$= -2.36\text{kJ}$$

החום שנפלט לסביבה שווה בדיוק לעבודה שהושקעה בדחיסת האוויר לכדור. הסיבה היא שהטמפרטורה של האוויר המשתתף בתהליך (בכדור, ובתוך הצינור מהמדחס לפני הכניסה לכדור) שווה בתחילת ובסוף התהליך. האנרגיה הפנימית בגז אידיאלי תלויה רק בטמפרטורה, ולכן גם האנרגיה הפנימית שווה בתחילת ובסוף התהליך. כתוצאה מכך כל תוספת האנרגיה ע"י עבודה משתחררת לסביבה בצורת חום.