

## 084213 – תרמודינמיקה

גיא בן-יוסף

שם

313580805

תעודת זהות

03

מספר תרגיל

22/11/2020

תאריך הגשה

1. נתונים מים במצב אד רווי תחת הנתונים הבאים:

$$P = 400 \text{ [kPa]} = \text{Const}, \quad m = 0.25 \text{ [kg]}, \quad V_{\text{fin}} = \frac{1}{2} V_{\text{init}}$$

א. נניח כי במצב ההתחלתי, הבוכנה כולה מלאה באד רווי. מטבלה B.1.2 נחלץ את ערכי  $T_{\text{init}}, v_g$

המתאימים לתנאים הנתונים ונחשב:

$$T_{\text{init}} = 143.63 \text{ [}^\circ\text{C]}, \quad v_{\text{init}} = v_g = 0.46246 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

$$\Rightarrow V_{\text{init}} = m \cdot v_g = 0.116 \text{ [m}^3] \Rightarrow \begin{cases} V_{\text{init}} = 0.116 \text{ [m}^3] \\ V_{\text{fin}} = 0.058 \text{ [m}^3] \end{cases}$$

נניח כי בתהליך ה"קירור", התעבה חלק מהאד והטמפרטורה נשארה זהה. נבדוק את נכונות ההנחה:

$$v_{\text{fin}} = \frac{V_{\text{fin}}}{m} = 0.231 \Rightarrow X = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.231 - 0.001084}{0.46138} = 0.5$$

איכות התערובת  $0 < X < 1$  אז נסיק שההנחה נכונה. אז:

$$\boxed{T_{\text{init}} = T_{\text{fin}} = 143.63 \text{ [}^\circ\text{C]}}; \quad \boxed{X = 0.5}$$

ב. ראינו שהתהליך נעשה בתנאי לחץ קבועים, אז:

$${}_{\text{init}}W_{\text{fin}} = \int_{\text{init}}^{\text{fin}} \delta W = \int_{V_{\text{init}}}^{V_{\text{fin}}} \underbrace{P}_{\text{Const}} dV = P \int_{V_{\text{init}}}^{V_{\text{fin}}} dV = P(V_{\text{fin}} - V_{\text{init}}) = 400 \cdot 10^3 (0.058 - 0.116)$$

$$\Rightarrow \boxed{{}_{\text{init}}W_{\text{fin}} = -23.2 \text{ [kJ]}}$$

**הסביבה ביצעה עבודה על המערכת.**

2. נתון מימן הכלוא בבלון תחת התנאים הבאים:

$$V = 11.2 \text{ [ft}^3] = 0.317 \text{ [m}^3], \quad T = 73 \text{ [}^\circ\text{F]} = 295.93 \text{ [}^\circ\text{K]}, \quad P = 1984 \left[ \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \right] = 95 \text{ [kPa]}$$

א. תחת ההנחה כי המימן הוא גז אידיאלי, נשתמש במשוואה  $PV = mR_sT$  ובטבלה A.5 ונחשב:

$$\underbrace{95 \cdot 10^3}_{P} \cdot \underbrace{0.317}_{V} = m \cdot \underbrace{4.12 \cdot 10^3}_{R_{\text{shydro}} \text{ [J/kg}^\circ\text{K]}} \cdot \underbrace{295.93}_{T} \Rightarrow \boxed{m = 0.0247 \text{ [kg]}}$$

ב. נתון שהבלון נמצא תחת התנאים החיצוניים הבאים:

$$P_{\text{out}} = 90 \text{ [kPa]}, \quad T_{\text{out}} = 65 \text{ [}^\circ\text{F]} = 291.5 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

$$PV = mR_sT \Rightarrow \frac{m}{V} = \rho = \frac{P}{R_{s_{\text{air}}} \cdot T} = \frac{90 \cdot 10^3}{0.287 \cdot 10^3 \cdot 291.5} \Rightarrow \rho = 1.076 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$V_{\text{balloon}} = \frac{m \cdot R_{s_{\text{hydro}}} \cdot \overbrace{T_{\text{out}}}^{=T_{\text{in}}}}{\underbrace{P_{\text{out}}}_{=P_{\text{in}}}} = \frac{0.025 \cdot 4.12 \cdot 10^3 \cdot 291.5}{90 \cdot 10^3} = 0.33 \text{ [m}^3]$$

$$\Rightarrow F_B = \rho \cdot V \cdot g = 1.076 \cdot 0.33 \cdot 9.81 \Rightarrow \boxed{F_B = 3.48 \text{ [N]}}$$

ג.

$$m_{\text{tot}} = \underbrace{0.1}_{m_{\text{balloon}}} + \underbrace{0.025}_{m_{\text{hydro}}} = 0.125 \Rightarrow F_{\text{gravirty}} = 1.227 \text{ [N]} < 3.48 \text{ [N]} = F_B \Rightarrow \boxed{\text{הבלון ינוע מעלה}}$$

ד. כעת נתון המימן בבלון תחת התנאים הבאים:

$$P = 295 \left[ \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \right] = 14.124 \text{ [kPa]}, \quad T = -63 \text{ [}^\circ\text{F]} = 220.4 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

$$V_{\text{balloon}} = \frac{m \cdot R_{\text{hydro}} \cdot T}{P} = \frac{0.025 \cdot 4.12 \cdot 10^3 \cdot 220.4}{14,124} \Rightarrow \boxed{V_{\text{balloon}} = 1.61 [\text{m}^3]}$$

3. נתון גז תחת תהליך בנתונים הבאים:

$$V_i = 0.1 [\text{L}] = 10^{-4} [\text{m}^3], \quad V_f = 0.35 [\text{L}] = 3.5 \cdot 10^{-4} [\text{m}^3]$$

$$P(V) = a \cdot V + b, \quad \begin{cases} a = 4.7 \left[ \frac{\text{atm}}{\text{L}} \right] \\ b = 1.8 [\text{bar}] \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = 4.76 \cdot 10^8 \left[ \frac{\text{Pa}}{\text{m}^3} \right] \\ b = 1.8 \cdot 10^5 [\text{Pa}] \end{cases}$$

תחת ההנחה כי התהליך הוא קוואזי-סטטי, נסכום את העבודות האינפיניטסימליות השוות ל- $\delta W = Pdv$  כך ש:

$$\begin{aligned} {}_iW_f &= \int_{V_i}^{V_f} \delta W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} (aV + b) dv = \frac{1}{2} aV^2 + bV \Big|_{V_i}^{V_f} = 92 - 20.38 \\ &\Rightarrow \boxed{{}_iW_f = 71.62 [\text{J}]} \end{aligned}$$

העבודה נעשתה על ידי המערכת.

4. נתונה מערכת בה אוויר עובר תהליך תחת התנאים הבאים:

$$m = 2.1 [\text{kg}], \quad P_1 = 1 [\text{MPa}], \quad P_2 = 0.2 [\text{MPa}], \quad T_1 = 1500 [^\circ\text{K}]$$

$$V_1 = \frac{mR_sT}{P_1} = 0.9 [\text{m}^3], \quad V_2 = \frac{mR_sT}{P_2} = 4.52 [\text{m}^3]$$

$$\begin{aligned} P(V) = \frac{mR_sT}{\text{Const}} \frac{1}{V} &\Rightarrow {}_1W_2 = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV = mR_sT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = mR_sT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \\ &\Rightarrow \boxed{{}_1W_2 = 1460 [\text{kJ}]} \end{aligned}$$

נשים לב כי  $V_3 = V_1$  ואז נבטא את  $T$  כפונקציה של  $V$ :

$$T(V) = \frac{P_2}{\frac{mR_s}{\text{Const}}} V \Rightarrow \begin{cases} T_2 = T_1 = 1500 [^\circ\text{K}] \\ T_3 = 300 [^\circ\text{K}] \end{cases}$$

$$\begin{aligned} {}_2W_3 &= \int_{V_2}^{V_3} \underbrace{P(V)}_{\text{Const}} dV = \frac{P_2}{\substack{=P_3 \\ =P_1}} \left( V_3 - V_2 \right) = 0.2 \cdot 10^6 (0.9 - 4.52) \\ &\Rightarrow \boxed{{}_2W_3 = -724 [\text{kJ}]} \end{aligned}$$

$$3 \rightarrow 1 \Rightarrow V = \text{Cont} \Rightarrow \int_{V_3}^{V_1} P(V) \underbrace{dv}_{=0} \Big|_{V_3=V_1} \Rightarrow \boxed{{}_3W_1 = 0}$$

5. נתון אוויר בתהליך פולטירופי תחת התנאים הבאים:

$$\begin{aligned} &\begin{cases} T_1 = 52 [^\circ\text{C}] \\ P_1 = 125 [\text{kPa}] \end{cases} \xrightarrow{1 \rightarrow 2} \begin{cases} T_2 = 277 [^\circ\text{C}] \\ P_2 = 300 [\text{kPa}] \end{cases} \\ &\Rightarrow \begin{cases} T_1 = 325 [^\circ\text{K}] \\ P_1 = 1.25 \cdot 10^5 [\text{Pa}] \end{cases} ; \begin{cases} T_2 = 550 [^\circ\text{K}] \\ P_2 = 3 \cdot 10^5 [\text{Pa}] \end{cases} \end{aligned}$$

תחת הנחות גז אידיאלי מתקיים:

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= mR_s T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{mR_s T_1}{P_1} \\ P_2 V_2 &= mR_s T_2 \Rightarrow V_2 = \frac{mR_s T_2}{P_2} \end{aligned}$$

וגם, תחת ההנחה שמדובר בתהליך פוליטרופי ניתן לאמר:

$$\begin{aligned}
 P_1 V_1^n &= P_2 V_2^n \Rightarrow \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = \frac{P_2}{P_1} \\
 \Rightarrow \left(\frac{\frac{mR_s T_1}{P_1}}{\frac{mR_s T_2}{P_2}}\right)^n &= \frac{P_2}{P_1} \\
 \Rightarrow \left(\frac{T_1 P_2}{P_1 T_2}\right)^n &= \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \left(\frac{78}{55}\right)^n = \frac{12}{5} \Rightarrow \boxed{n = 2.5}
 \end{aligned}$$

לפי נוסחה:

$$\begin{aligned}
 {}_1W_2 &= \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} = \frac{P_2 \cdot \frac{mR_s T_2}{P_2} - P_1 \cdot \frac{mR_s T_1}{P_1}}{1 - 2.5} \\
 \Rightarrow \frac{{}_1W_2}{m} &= \frac{R_s T_2 - R_s T_1}{-1.5} = -43.05 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]
 \end{aligned}$$