

084213 – תרמודינמיקה

גיא בן-יוסף

שם

313580805

תעודת זהות

02

מספר תרגיל

15/11/2020

תאריך הגשה

1. נתונים מים תחת התנאים הבאים:

$$T = 21 [^{\circ}\text{C}] ; v = 16.35 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

א. בעזרת טבלה B.1.1 נבצע אינטרפולציה לינארית לערכי v_f, v_g עבור $T = 21 [^{\circ}\text{C}]$:

$$v_f(T) - v_{f,20^{\circ}\text{C}} = \frac{v_{f,25^{\circ}\text{C}} - v_{f,20^{\circ}\text{C}}}{25 - 20} (T - 20)$$

$$v_f(T) - 0.001002 = \frac{0.001003 - 0.001002}{25 - 20} (T - 20)$$

$$v_f(T) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot T + 9.98 \cdot 10^{-4}$$

$$v_g(T) - v_{g,20^{\circ}\text{C}} = \frac{v_{g,25^{\circ}\text{C}} - v_{g,20^{\circ}\text{C}}}{25 - 20} (T - 20)$$

$$v_g(T) - 57.7897 = \frac{43.3593 - 57.7897}{25 - 20} (T - 20)$$

$$v_g(T) = -2.89 \cdot T + 115.51$$

$$\Rightarrow \begin{cases} v_f(T = 21^{\circ}\text{C}) = 0.0010022 \\ v_g(T = 21^{\circ}\text{C}) = 54.90362 \end{cases}$$

נשים לב ש- $v_g(T = 21^{\circ}\text{C}) > v_{\text{נתון}} > v_f(T = 21^{\circ}\text{C})$ ומכך נסיק שהמים נמצאים בפאזה נוזל רווי.

ב. לחישוב איכות התערובת x , נשתמש בנוסחה $x = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$:

$$x = \frac{16.35 - 0.0010022}{54.9036}$$

$$\boxed{x = 29.77\%}$$

2. נתונים מים תחת התנאים הבאים:

$$T = 100 [^{\circ}\text{C}] ; M = 1 [\text{kg}] ; V = 12.032 [\text{m}^3]$$

א. נחשב תחילה את הנפח הסגולי של החומר תחת הנחה כי המערכת נמצאת בשיווי משקל:

$$v = \frac{V}{M} = \frac{12.032}{1} = 12.032 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

נבדוק האם ערך ה- v שחישובנו מתאים לערכים בטבלה B.1.1 ונראה כי לא מתקיים $v_f < v < v_g$ עבור $T = 100 [^{\circ}\text{C}]$. לכן, נשולל את הימצאות המים בפאזה נוזל רווי. כיוון ש- $v_g < v$ נקבע כי המים נמצאים בפאזה אד שחון.

ב. בעזרת טבלה B.1.3 נבצע אינטרפולציה לינארית ללחץ:

$$\begin{cases} P_1 = 10 ; v_1 = 17.19561 \\ P_2 = 50 ; v_2 = 3.41833 \end{cases}$$

$$P(v) - P_1 = \frac{P_2 - P_1}{v_2 - v_1} (v - v_1)$$

$$P(v) - 10 = \frac{50 - 10}{3.42 - 17.2} (v - 17.2)$$

$$P(v) = -2.9 \cdot v + 59.9$$

$$\Rightarrow \boxed{P(v = 12.032) = 24 [\text{kPa}]}$$

ג. משום שמדובר במערכת סגורה בה הלחץ קבוע, נסיק שמתקיים שימור נפח ושימור מסה ולכן הנפח הסגולי קבוע. כלומר $v = 12.032 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] = \text{Const}$. נשאלת השאלה באיזו טמפרטורה מתחיל הזורם להתעבות ולכן עלינו להביט בטבלה המתארת נוזל רווי (B.1.1), ולחפש את השורה המתאימה בה:

$$v_f + v_g = v = 12.032$$

$$T = 50 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

מן הטבלה נסיק שהטמפרטורה בה האד יתחיל להתעבות היא

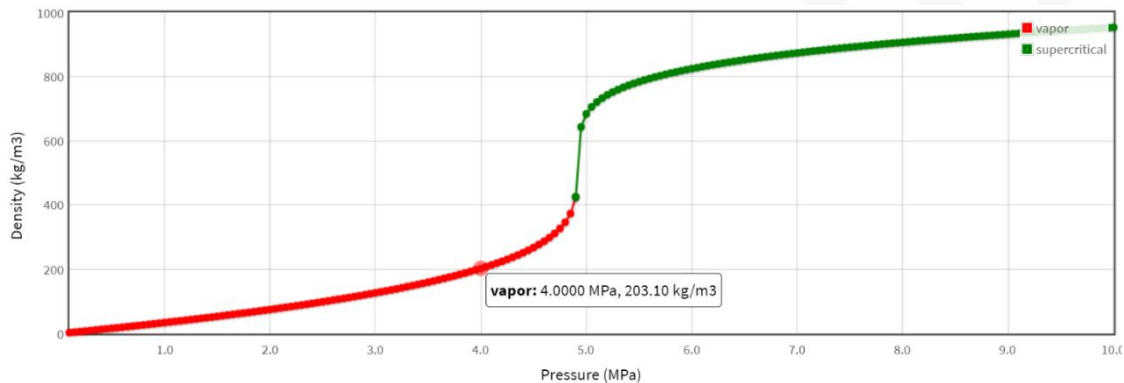
ד. בהמשך לסעיף קודם, נסיק מן הטבלה שהלחץ ברגע תחילת התעבות יהיה $P = 12.350 \text{ [kPa]}$

3. נתון גז ארגון תחת התנאים הבאים:

$$T = 151 \text{ [K]} ; P = 1 \text{ [MPa]}$$

א. נשתמש במסד הנתונים NIST ונפיק את הדיאגרמה הבאה:

מהדיאגרמה נסיק כי תחת תנאים אלו, החומר נמצא במצב אד שחון.

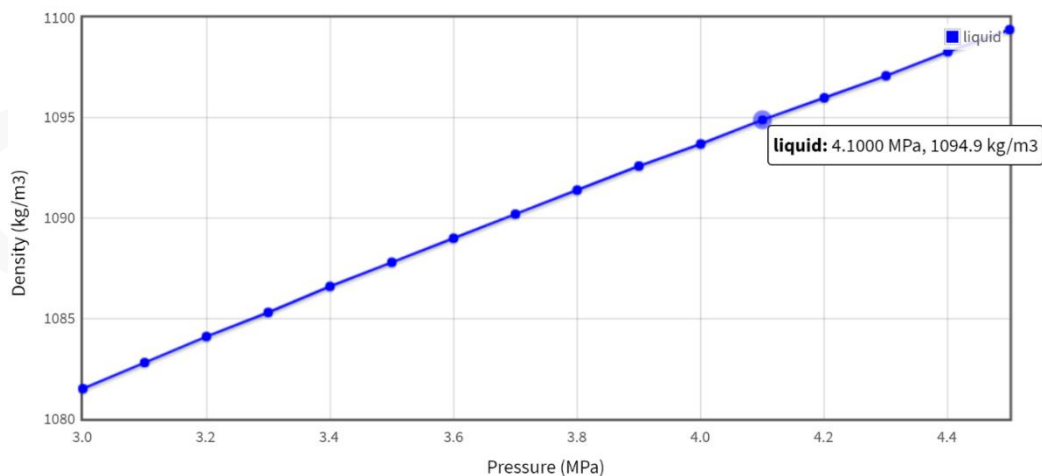


ציור 1 דיאגרמת $P - v$ עבור ארגון בטמפרטורה $T = 151 \text{ [K]}$

ב. בהמשך לנתונים שהוצגו בסעיף קודם, נסיק כי בהעלאת לחץ איזותרמית לכדי $P = 4.1 \text{ [MPa]}$ תגדל צפיפות החומר (יקטן הנפח הסגולי) והפאזה תשאר אד שחון.

ג. בהעלאת הלחץ לכדי $P = 8 \text{ [MPa]}$ תמשיך לגדול צפיפות החומר, כאשר ב- $P = 4.9 \text{ [MPa]}$ יעבור החומר את הנקודה הקריטית ויהפוך להיות זורם סופר קריטי. במצב זה לא ניתן להבחין בין הנוזל והגז.

ד. נשתמש פעם נוספת במסד הנתונים NIST ונפיק את הדיאגרמה הבאה:



ציור 2 דיאגרמת $P - v$ עבור ארגון בטמפרטורה $T = 130 \text{ [K]}$

מהדיאגרמה נסיק כי תחת תנאים אלו, החומר נמצא במצב נוזל.

4. נתון גז $R - 134a$ תחת התנאים הבאים:

$$T = 46 [^{\circ}\text{C}] ; x = 0.25$$

א. ידוע כי החומר נמצא במצב של תערובת רוויה, לכן נעזר בטבלה B.5.1 ונבצע אינטרפולציה לינארית לחישוב הלחץ:

$$\begin{aligned} &\begin{cases} P_1 = 1160.2 ; T_1 = 45 \\ P_2 = 1318.1 ; T_2 = 50 \end{cases} \\ &P(T) - 1160.2 = \frac{1318.1 - 1160.2}{50 - 45} (T - 45) \\ &\Rightarrow P(T) = 31.58 \cdot T - 260.9 \\ &\boxed{P(T = 46) = 1191.78 [\text{kPa}]} \end{aligned}$$

ב. באופן דומה, נבצע אינטרפולציה לינארית לחישוב ערכי ה- v_f, v_{fg} :

$$\begin{aligned} &\begin{cases} T_1 = 45 ; v_{f1} = 0.000890 \\ T_2 = 50 ; v_{f2} = 0.000908 \end{cases} \\ &v_f(T) - 0.000890 = \frac{0.000908 - 0.000890}{50 - 45} (T - 45) \\ &\Rightarrow v_f(T) = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot T + 7.28 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &v_f(T = 46) = 0.000894 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \\ &\begin{cases} T_1 = 45 ; v_{fg1} = 0.01650 \\ T_2 = 50 ; v_{fg2} = 0.01422 \end{cases} \\ &v_f(T) - 0.01650 = \frac{0.01422 - 0.01650}{50 - 45} (T - 45) \\ &\Rightarrow v_{fg}(T) = -4.56 \cdot 10^{-4} \cdot T + 3.7 \cdot 10^{-2} \\ &v_{fg}(T = 46) = 0.01604 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \end{aligned}$$

ידוע כי x מחושב באופן הבא:

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$$

אז מן הנתון:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{4} = \frac{v - v_f}{v_{fg}} \\ &\frac{1}{4} \cdot v_{fg} + v_f = v \\ &\boxed{v = 0.0049 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]} \end{aligned}$$

5.

א. נתונים מים תחת התנאים הבאים:

$$x = 0.4 ; P = 3 [\text{MPa}]$$

משום ש- $0 < x < 1$ נסיק שהחומר נמצא במצב של תערובת רוויה ונעזר בטבלה B.1.2 למציאת T, v_f, v_{fg} :

$$\begin{aligned}
 T &= 233.9 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \\
 P = 3 \text{ [MPa]} &\Rightarrow v_f = 0.001216 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \\
 &v_{fg} = 0.06546 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \\
 0.4 = x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} &\Rightarrow v = 0.4 \cdot 0.0655 + 1.22 \cdot 10^{-3} = 0.0274 \\
 \boxed{T = 233.9 \text{ [}^{\circ}\text{C]}} ; &\boxed{v = 0.0274 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]}
 \end{aligned}$$

ב.

$T = 350 \text{ [}^{\circ}\text{C]} ; P = \text{Const} = 3 \text{ [MPa]}$
 נשים לב כי ערכי הטמפרטורה והלחץ לא מתלכדים בטבלאות המים הרוויים. מכך נסיק שבתנאים אלו המים נמצאים במצב של אד שחון. מטבלה B.1.3 נחלץ את הנפח הסגולי:

$$v = 0.09053 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]$$

ג.

$T = \text{Const} = 350 \text{ [}^{\circ}\text{C]} ; P = 20 \text{ [MPa]}$
 מטבלה B.1.2 נסיק שבתנאים הנתונים, המים נמצאים מחוץ לאזור הרוויה ולכן נשתמש בטבלה B.1.4 למציאת הנפח הסגולי נבצע אינטרפולציה לינארית:

$$\begin{aligned}
 &\begin{cases} T_1 = 340 ; v = 0.001568 \\ T_2 = 360 ; v = 0.001823 \end{cases} \\
 v(T) - 0.001568 &= \frac{0.001823 - 0.001568}{360 - 340} (T - 340) \\
 \Rightarrow v(T) &= 1.275 \cdot 10^{-5} \cdot T - 2.767 \cdot 10^{-3} \\
 \boxed{v(T = 350) = 0.0017 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right]}
 \end{aligned}$$

6. נתון גז תחת התנאים הבאים:

$$R = 0.3 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] ; T = 55 \text{ [}^{\circ}\text{C]} ; P = 200 \text{ [kPa]} ; M = 1 \text{ [kg]} ; V = 0.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

נבחן האם ובאיזו סטייה גז זה מקיים את משוואת הגז האידיאלי $PV = \alpha \cdot mRT$ כאשר α יהיה אומדן לשגיאה:

$$\begin{aligned}
 2 \cdot 10^5 \cdot 0.5 &= \alpha \cdot 1 \cdot 0.3 \cdot 10^3 \cdot (55 + 273) \\
 \Rightarrow \alpha &= 1.016
 \end{aligned}$$

מן החישוב עולה שהשגיאה היא בסדר גודל של אחוז אחד (1.6%) ולכן נאמר שהיא זניחה ונתייחס אל הגז כגז אידיאלי.

.7

