

סטודנטים יקרים

לפניכם ספר תרגילים בקורס תרמודינמיקה הספר הוא חלק מקורס חדשני וראשון מסוגו בארץ בנושא זה, המועבר ברשת האינטרנט On-line.

הקורס באתר כולל פתרונות מלאים לספר התרגילים, וכן את התיאוריה הרלוונטית לכל נושא ונושא.

הקורס כולו מוגש בסרטוני וידאו המלווים בהסבר קולי, כך שאתם רואים את התהליכים בצורה מובנית, שיטתית ופשוטה, ממש כפי שנעשה בשיעור פרטי, לדוגמה [לחצו כאן](#).

את הקורס בנתה פרופ' תמר רז נחום, מומחית בתחום הכימיה הפיסיקלית. בעלת תואר שלישי (בכימיה פיסיקלית תיאורטית) מהאוניברסיטה העברית.

אז אם אתם עסוקים מידי בעבודה, סובלים מלקויות למידה, רוצים להצטיין או פשוט אוהבים ללמוד בשקט בבית, אנחנו מזמינים אתכם לחוויית לימודים יוצאת דופן וחדשה לחלוטין, היכנסו עכשיו לאתר www.gool.co.il.

GOOL
בשביל התירגול

אנו מאחלים לכם הצלחה מלאה בבחינות

צוות האתר GooL

גול זה בול. בשבילך!

תוכן העיניים

פרק 1 - החוק הראשון של התרמודינמיקה - יישומים עבור גז אידיאלי.....3

שאלות: 3.....

תשובות סופיות: 7.....

פרק 2 - החוק הראשון והחוק השני של התרמודינמיקה - יישומים עבור גז

אידיאלי 9

שאלות: 9.....

תשובות סופיות: 14.....

פרק 3- מכונות חום של גזים אידיאליים.....17

שאלות: 17.....

תשובות סופיות: 22.....

פרק 4 – חומרים טהורים.....27

שאלות: 27.....

תשובות סופיות: 30.....

פרק 5- נפח ובקרה.....32

שאלות: 32.....

תשובות סופיות: 36.....

פרק 6- מחזור רנקין.....38

שאלות: 38.....

תשובות סופיות: 42.....

פרק 7- מחזורי אוויר.....43

שאלות: 43.....

תשובות סופיות: 44.....

פרק 8- שאלות מסכמות ברמת בחינה.....45

שאלות: 45.....

תשובות סופיות: 54.....

נספחים.....58-100

טבלאות נתונים תרמודינמיים

פרק 1 - החוק הראשון של התרמודינמיקה -

יישומים עבור גז אידיאלי

שאלות:

1. מול אחד של גז אידיאלי מונו-אטומי הליום He , הנמצא בכלי בנפח V_1 ובטמפרטורה T_1 , עובר שני תהליכים עוקבים:
כתוצאה מהתהליך הראשון המתרחש בנפח קבוע V_1 , הלחץ של הגז עולה פי שלוש בהשוואה ללחץ ההתחלתי בתהליך השני הגז נדחס בלחץ קבוע עד לנפח החדש: $\frac{1}{3}V_1$.
- חשבו את השינוי באנרגיה הפנימית ΔU , את העבודה W ואת החום Q בכל אחד משני התהליכים בנפרד וביחד.
2. מולים של גז אידיאלי נמצאים בכלי בטמפרטורה T_1 , בלחץ P_1 ותופסים נפח V_1 .
הגז עובר שלושה תהליכים הפיכים (קוויסטטים) עוקבים:
הגז מתפשט בטמפרטורה קבועה T_1 מנפח V_1 עד לנפח $V_2 = 2V_1$;
הגז נדחס בתנאים של לחץ קבוע עד לנפח V_1 ;
בנפח קבוע V_1 , הלחץ של הגז עולה עד ללחץ ההתחלתי P_1 .

3. כלי בעל בוכנה ניידת מכיל 3.75 mol של גז אידיאלי מונואטומי. על הבוכנה מפעילות לחץ חיצוני 4 משקולות זהות, כל אחת מפעילה לחץ של 0.3 atm . מסירים 3 משקולות, אחת בכל פעם. לאחר כל הסרה, נותנים לגז להגיע למצב שיווי משקל. התהליך מתבצע בטמפרטורה קבועה של 300 K .
- מהו הנפח והלחץ לאחר הסרת כל אחת מהמשקולות.
 - מהי העבודה הכללית?
 - מהי העבודה המקסימאלית האפשרית הנעשית על ידי המערכת כתוצאה מתהליך התפשטות זה? מבצעים את התהליך ההפוך:
 - מוסיפים 3 משקולות, אחת בכל פעם. לאחר כל הוספה, נותנים לגז להגיע למצב שיווי משקל.
 - מהי העבודה הכללית?
 - מהי העבודה המינימאלית האפשרית הנעשית על ידי הסביבה כתוצאה מתהליך דחיסה זה?

4. גז אידיאלי מונואטומי עובר 3 תהליכים שונים. מטרת כל אחד מהתהליכים לספק חום בכמות של 5 kJ . תנאי ההתחלה בכל אחד מהתהליכים זהים: 5 מול גז בטמפרטורה של 300 K ובלחץ של 5 atm . התהליכים הם:
- תהליך איזותרמי הפיך.
 - תהליך איזוכורי (בנפח קבוע).
 - תהליך איזוברי (בלחץ קבוע).
- מצאו את המצב הסופי של המערכת עבור כל אחד מהתהליכים.

5. בכלי בנפח קבוע נמצאים 12.0 mol של אוויר בלחץ 1 atm ובטמפרטורה של 300 K . כמות החום, הנדרשת לחימום האוויר ב- 20.0 K היא 5.00 kJ .

- א. מהם קיבולי החום של האוויר \bar{C}_V ו- \bar{C}_P ביחידות של $\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$?
(בהנחה שהאוויר מתנהג כגז אידיאלי וקיבולי החום אינם תלויים בטמפרטורה).
- ב. לאחר החימום, האוויר שבכלי נדחס בצורה אדיאבטית הפיכה עד לנפח של 1.200 L . מהי הטמפרטורה לאחר תהליך הדחיסה?
- ג. חשב את העבודה, החום, השינוי באנרגיה הפנימית והשינוי באנטלפיה בתהליך הכולל.

6. כלי בעל מחיצה ניידת חסרת חיכוך נמצא בטמפרטורה קבועה של 25°C . בחלקו התחתון של הכלי (מתחת למחיצה) נמצאים 2 mol של גז A. החלק העליון והפתוח של הכלי מייצג את הסביבה ומכיל אוויר בלחץ של 1 atm . על המחיצה נמצאת משקולת המפעילה לחץ של 1 atm בנוסף ללחץ שמפעיל האוויר. הגז A נמצא בשיווי המשקל עם הסביבה. מנקבים את המחיצה כך שהיא הופכת לחצי חדירה ומאפשרת מעבר של האוויר (לשני הכיוונים) ואינה מאפשרת מעבר של הגז A. יש להניח שהגזים מתנהגים כאידיאליים.

- א. מהו הלחץ הסופי של הגז A?
ב. כמה מולים של האוויר עברו דרך נקבוביות לחלקו התחתון של הכלי?
ג. מהי העבודה W שנעשתה ע"י המערכת הנמצאת בכלי מתחת למחיצה.

7. n מולים של גז אידיאלי מונו-אטומי נמצאים בכלי מבודד תרמית בלחץ התחלתי P_1 ובטמפרטורה התחלתית T_1 . הגז מתפשט אדיאבטית מלחץ P_1 עד ללחץ P_2 :
א. בתהליך הפיך.
ב. כנגד לחץ חיצוני קבוע השווה ל- P_2 .
קבל ביטוי לטמפרטורה הסופית עבור שני התהליכים.

8. כלי בעל נפח קבוע המבודד תרמית מהסביבה מחולק באמצעות מחיצה אדיאבטית
ניידת (ללא חיכוך) לשני חלקים, A ו-B. חלק A מכיל 1.0 mol של גז אידיאלי
מונואטומי. חלק B מכיל 2.0 mol של גז אידיאלי מונואטומי.
במצב ההתחלתי, הלחץ בשני חלקי הכלי הוא 1 atm ובטמפרטורה היא 278 K .
הגז בחלק A מחומם באופן הפיך עד אשר הטמפרטורה של הגז בחלק B מגיעה
לטמפרטורה של 340 K .

- א. מהי הטמפרטורה הסופית של הגז בחלק A?
- ב. כמה חום סופק לגז בחלק A?

תשובות סופיות:

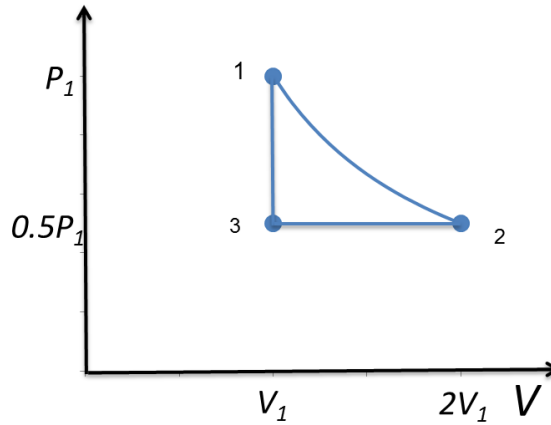
(1)

$$*\Delta U_{1 \rightarrow 2} = 3n\bar{R}T_1 ; W_{1 \rightarrow 2} = 0 ; Q_{1 \rightarrow 2} = 3n\bar{R}T_1$$

$$*\Delta U_{2 \rightarrow 3} = -3n\bar{R}T_1 ; W_{2 \rightarrow 3} = -2n\bar{R}T_1 ; Q_{2 \rightarrow 3} = -5n\bar{R}T_1$$

$$*\Delta U_{total} = 0 ; W_{total} = -2n\bar{R}T_1 ; Q_{total} = -2n\bar{R}T_1$$

2. א.



0. ב.

0.193n\bar{R}T_1 . ג.

0. ד.

3. א.

$$P_0 = 1.2 \text{ atm} ; V_0 = 76.8 \text{ L}$$

$$P_1 = 0.9 \text{ atm} ; V_1 = 102.53$$

$$P_2 = 0.6 \text{ atm} ; V_2 = 153.8 \text{ L}$$

$$P_3 = 0.3 \text{ atm} ; V_3 = 307.6 \text{ L}$$

$$W_{total} = 10.15 \text{ kJ} . ב.$$

$$W_{max} = 1.3 \times 10^4 \text{ J} . ג.$$

$$W_{total} = -1.71 \times 10^4 \text{ J} . ד.$$

$$W_{min} = -1.30 \times 10^4 \text{ J} . ה.$$

$$T_f = T_i ; V_f = 16.47 \text{ L} ; P_f = 7.47 \text{ atm} . א. 4$$

$$V_f = V_i ; T_f = 219.8 \text{ K} ; P_f = 3.66 \text{ atm} . ב.$$

$$P_f = P_i ; T_f = 251.9 \text{ K} ; V_f = 20.65 \text{ L} . ג.$$

$$\bar{C}_V = 20.8 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} ; \bar{C}_P = 29.1 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} . א. 5$$

$$T_f = 380.1K \quad \text{ב.}$$

$$W_{total} = -15.0kJ ; Q_{total} = 5.0kJ ; \Delta U_{total} = 20.0kJ ; \Delta H_{total} = 28.0kJ \quad \text{ג.}$$

$$P_A = 1atm \quad \text{ד. 6}$$

$$n_{air} = 2mol \quad \text{ה. ב.}$$

$$W = 4955J \quad \text{ו. ג.}$$

$$T_2(a) = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{5}} ; T_2(b) = T_1 \left(\frac{2}{5} \frac{P_2}{P_1} + \frac{3}{5} \right) \quad \text{ז. 7}$$

$$T_{f,A} = 678K \quad \text{ח. ד. 8}$$

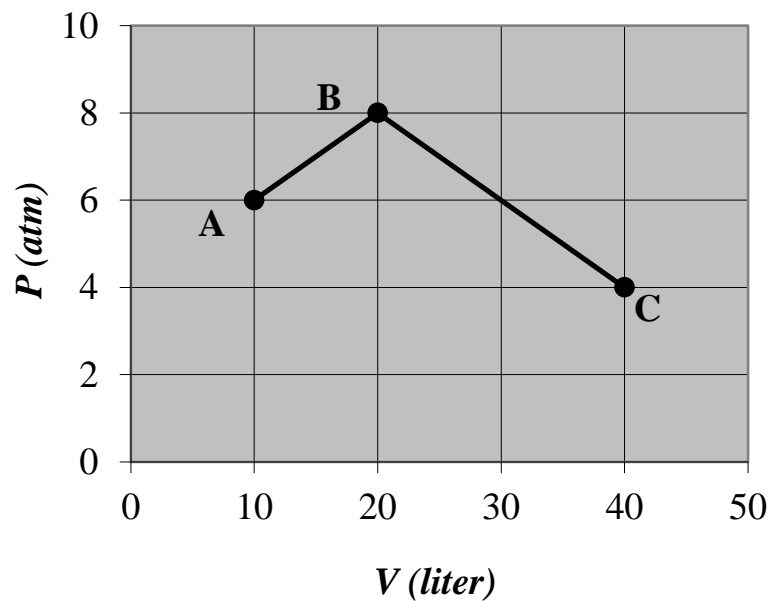
$$Q = 6.8 \times 10^3 J \quad \text{ט. ב.}$$

פרק 2 - החוק הראשון והחוק השני של התרמודינמיקה - יישומים עבור גז אידיאלי

שאלות:

1. לגז אידיאלי דו-אטומי אנרגיה פנימית השווה ל- $\bar{U} = \frac{5}{2}RT$.

מול של גז זה הועבר ממצב A למצב C לאורך המסילה המתוארת בדיאגרמה P כנגד V:



- א. חשבי את העבודה שבוצעה בתהליך $A \rightarrow B \rightarrow C$.
- ב. חשבי את החום שהועבר בתהליך.
- ג. חשבי את שינוי האנטרופיה בתהליך.

2. 1.0mol של גז אידיאלי מונו-אטומי הנמצא בטמפרטורה התחלתית של 365K מתפשט מנפח של 8.5L עד לנפח של 21.0L בשתי דרכים שונות:
i. התפשטות איזותרמית הפיכה;

ii. התפשטות איזותרמית כנגד לחץ חיצוני קבוע של 1atm ($P_{f,gas} \neq P_{ex}$);

(א) חשב את השינוי באנטרופיה ΔS_{sys} של הגז עבור כל אחד מהתהליכים.

(ב) חשבי את השינוי הכללי באנטרופיה עבור כל אחד מהתהליכים.

3. 1.0mol של גז אידיאלי מונו-אטומי הנמצא בטמפרטורה התחלתית של 365K מתפשט מנפח של 8.5L עד לנפח של 21.0L בשלוש דרכים שונות:
i. התפשטות אדיאבטית הפיכה.

ii. התפשטות אדיאבטית כנגד לחץ חיצוני קבוע של 1atm ($P_{f,gas} \neq P_{ex}$);

iii. התפשטות אדיאבטית לתוך ריק.

(א) חשב את הטמפרטורות הסופיות של כל אחד מהתהליכים.

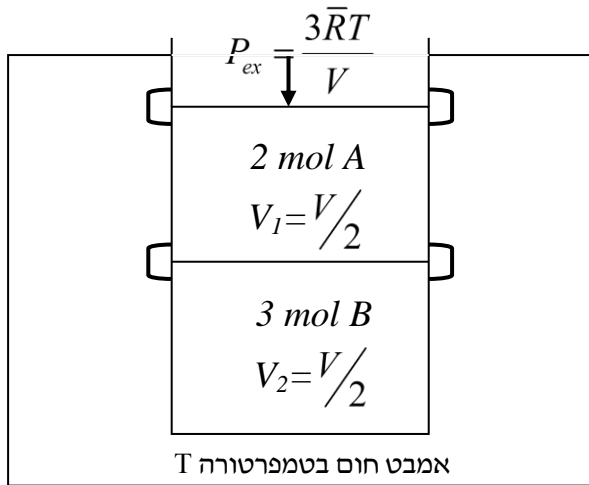
(ב) חשב את השינוי באנטרופיה ΔS_{sys} של הגז עבור כל אחד מהתהליכים.

(ג) חשבי את השינוי הכללי באנטרופיה עבור כל אחד מהתהליכים.

4. נתון כלי המחולק לשני חלקים על ידי מחיצה. הכלי נמצא בתוך אמבט חום בטמפרטורה T . בחלקו הראשון נתון גז אידיאלי מסוג A בלחץ P ובחלקו השני נתון גז אידיאלי מסוג B באותו לחץ P . מסירים את המחיצה והגזים מתפשטים ומתערבבים.

(א) מהו הלחץ הסופי של תערובת הגזים?

(ב) מצאי ביטוי לשינוי באנטרופיה כתוצאה מתהליך זה



5. כלי בנפח V מחולק על ידי מחיצה ניידת לשני

חלקים שווים. בחלקו העליון של הכלי ישנה מחיצה ניידת עליה פועל לחץ חיצוני של

$$P_{ex} = \frac{3\bar{R}T}{V}$$

שתי המחיצות מוחזקות באמצעות מעצורים.

הכלי מצוי באמבט חום בטמפרטורה T .

במחצית העליונה של הכלי יש 2 מול גז

אידיאלי מונואטומי מסוג A . במחצית

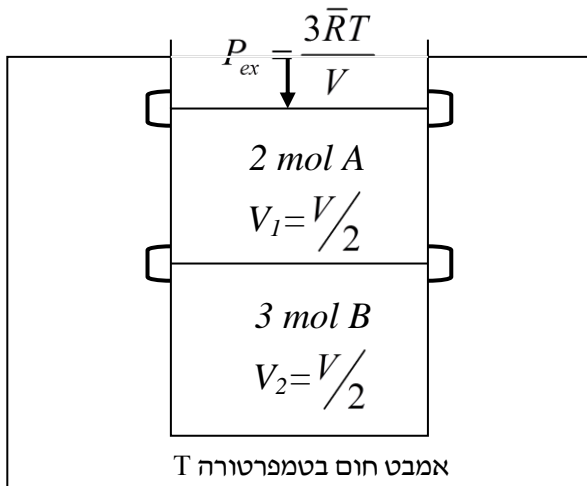
התחתונה של הכלי יש 3 מול גז אידיאלי מונואטומי מסוג B .

משחררים את המעצורים המחזיקים את המחיצה בין שני התאים (אך לא משחררים את המחיצה העליונה).

(א) מהו המצב הסופי של המערכת לאחר שהמערכת מגיעה למצב שווי משקל?

(ב) חשבי את העבודה נטו.

(ג) חשבי את שינוי האנטרופיה של המערכת בתהליך זה.



6. כלי בנפח V מחולק על ידי מחיצה ניידת לשני חלקים שווים. בחלקו העליון של הכלי ישנה מחיצה ניידת עליה פועל לחץ

$$P_{ex} = \frac{3\bar{R}T}{V}$$

חיצוני של $P_{ex} = \frac{3\bar{R}T}{V}$. שתי המחיצות מוחזקות באמצעות מעצורים. הכלי מצוי באמבט חום בטמפרטורה T .

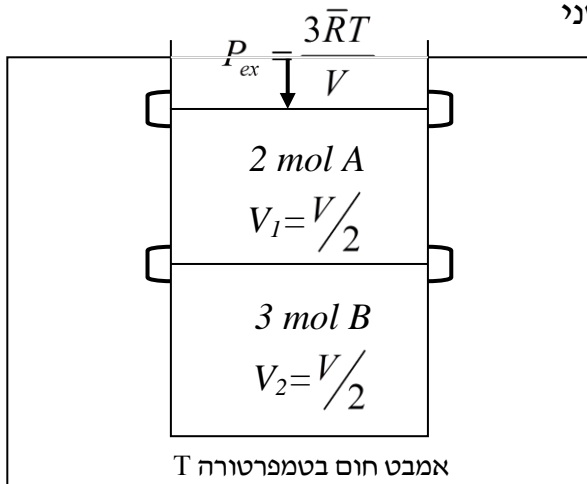
במחצית העליונה של הכלי יש 2 מול גז אידיאלי מונואטומי מסוג A . במחצית התחתונה של הכלי יש 3 מול גז אידיאלי מונואטומי מסוג B .

משחררים את המעצורים המחזיקים את שתי המחיצות (גם את המחיצה בין שני התאים וגם את המחיצה העליונה).

(א) מהו המצב הסופי של המערכת לאחר שהמערכת מגיעה למצב שווי משקל?

(ב) חשבי את העבודה נטו.

(ג) חשבי את שינוי האנטרופיה של המערכת בתהליך זה.



7. כלי בנפח V מחולק על ידי מחיצה ניידת לשני חלקים שווים. בחלקו העליון של הכלי ישנה מחיצה ניידת עליה פועל לחץ חיצוני

$$P_{ex} = \frac{3\bar{R}T}{V}$$

שתי המחיצות מוחזקות באמצעות מעצורים. הכלי מצוי באמבט חום בטמפרטורה T .

במחצית העליונה של הכלי יש 2 מול גז אידיאלי מונואטומי מסוג A . במחצית

התחתונה של הכלי יש 3 מול גז אידיאלי מונואטומי מסוג B .

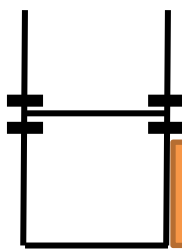
מחליפים את הקירות החיצוניים של הכלי לקירות מבודדים אשר אינם מאפשרים העברת חום בין הסביבה למערכת. משחררים את המעצורים המחזיקים את המחיצה בין שני התאים (אך לא משחררים את המחיצה העליונה).

(א) חשבי את העבודה נטו.

(ב) מהו המצב הסופי של המערכת לאחר שהמערכת מגיעה למצב שווי משקל?

(ג) חשבי את שינוי האנטרופיה של המערכת בתהליך זה.

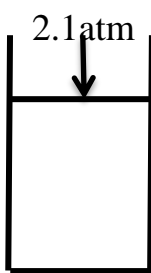
8. מול אחד של גז אידיאלי מונואטומי עובר את התהליכים הבאים:
 במצב ההתחלתי (מצב A) לחץ הגז 2.0 atm והטמפרטורה היא 300 K .



שלב א'

שלב א': מחממים את המערכת על ידי הצמדתה לכלי נוסף בנפח קבוע המכיל מול אחד של גז אידיאלי מונואטומי בטמפרטורה 360 K עד קבלת שווי משקל (מצב B). בשלב זה המעצורים מקובעים.

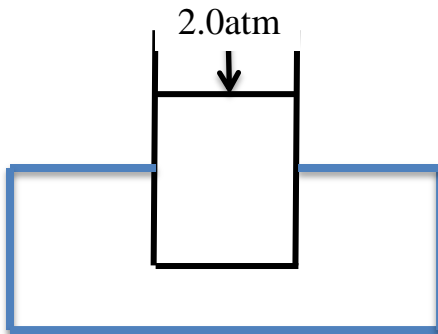
(א) מצא/י את הלחץ, הנפח והטמפרטורה בנקודה B.



שלב ב'

שלב ב': מפעילים על הבוכנה לחץ חיצוני קבוע של 2.1 atm ומשחררים את המעצורים. הגז עובר תהליך של התפשטות אדיאבטית עד לנפח V_C (מצב C)

(ב) מצא/י את הלחץ, הנפח והטמפרטורה בנקודה C.



שלב ג'

שלב ג': מכניסים את המערכת לאמבט חום בטמפרטורה 300 K . מפעילים על הבוכנה לחץ חיצוני קבוע של 2.0 atm עד קבלת מצב שווי משקל (מצב D).

(ג) מצא/י את הלחץ, הנפח והטמפרטורה בנקודה D.

(ד) ציין/י את מיקום הנקודות A, B, C, D על גרף במישור P-V.

(ה) חשבו/י את עבודה, החום והשינוי באנרגיה הפנימית בכל אחד מהשלבים.

(ו) חשבו/י את השינוי באנטרופיה של המערכת בכל אחד מהשלבים.

(ז) ציין/י את מיקום הנקודות A, B, C, D על גרף במישור T-S.

(ח) חשבו/י את השינוי באנטרופיה של הסביבה בכל אחד מהשלבים. פרטי חישוביך.

(ט) הראה/י כי חישוביך מקיימים את החוק הראשון והחוק השני של התרמודינמיקה.

תשובות סופיות:

$$W_{total} = 190L \times atm \quad \text{א.1}$$

$$Q = 440L \times atm \quad \text{ב.}$$

$$\Delta S = 0.09 \frac{L \times atm}{K} \quad \text{ג.}$$

$$\Delta S_{sys} (i) = 7.52 \frac{J}{K} ; \Delta S_{sys} (ii) = 7.52 \frac{J}{K} \quad \text{א.2}$$

$$\Delta S_{total} (i) = 0 ; \Delta S_{total} (ii) = 4.05 \frac{J}{K} \quad \text{ב.}$$

$$T_f (i) = 200K ; T_f (ii) = 263.4K ; T_f (iii) = 365K \quad \text{א.3}$$

$$\Delta S_{sys} (i) = 0 ; \Delta S (ii) = 3.43 \frac{J}{K} ; \Delta S_{sys} (iii) = 7.52 \frac{J}{K} \quad \text{ב.}$$

$$\Delta S_{total} (i) = 0 ; \Delta S_{total} (ii) = 3.43 \frac{J}{K} ; \Delta S_{total} (iii) = 7.52 \frac{J}{K} \quad \text{ג.}$$

$$P_{total} = P \quad \text{א.4}$$

$$\Delta S_{total,sys} = -n_{total} \cdot \bar{R} \cdot (\chi_A \cdot \ln(\chi_A) + \chi_B \cdot \ln(\chi_B)) \quad \text{ב.}$$

	A (final)	B (final)
T	T	T
P	$\frac{10\bar{R}T}{4V}$	$\frac{10\bar{R}T}{4V}$
V	$\frac{2}{5}V$	$\frac{3}{5}V$

א.5

$$W_{total} = 0 \quad \text{ב.}$$

$$\Delta S_{total} = 0.85 \frac{J}{K} \quad \text{ג.}$$

	$A(final)$	$B(final)$
T	T	T
P	$\frac{3\bar{R}T}{V}$	$\frac{3\bar{R}T}{V}$
V	$\frac{2}{3}V$	V

.א.6

$$W_{total} = 2\bar{R}T \quad \text{ב.}$$

$$\Delta S_{total} = 22.08 \frac{J}{K} \quad \text{ג.}$$

$$W_{total} = 0 \quad \text{א.7}$$

	$A(final)$	$B(final)$
T	T	T
P	$\frac{10\bar{R}T}{4V}$	$\frac{10\bar{R}T}{4V}$
V	$\frac{2}{5}V$	$\frac{3}{5}V$

ב.

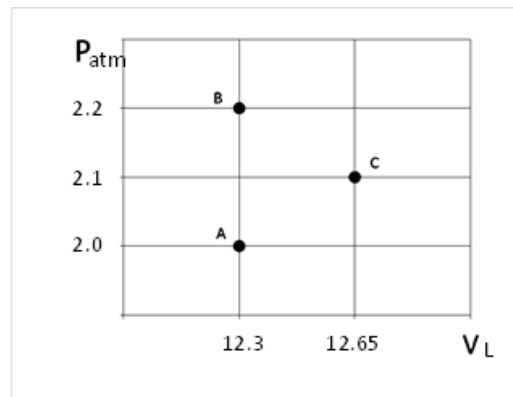
$$\Delta S_{total} = 0.85 \frac{J}{K} \quad \text{ג.}$$

$$T_B = 330K ; P_B = 2.2atm ; V_B = 12.3L \quad .\text{א} .8$$

$$P_C = 2.1atm ; T_C = 324K ; V_C = 12.65L \quad .\text{ב}$$

$$P_D = 2.0atm ; T_D = 300K ; V_D = 12.3L \quad .\text{ג}$$

.ד



$$W_{A \rightarrow B} = 0 ; W_{B \rightarrow C} = 74.83J ; W_{C \rightarrow A} = -70.97J$$

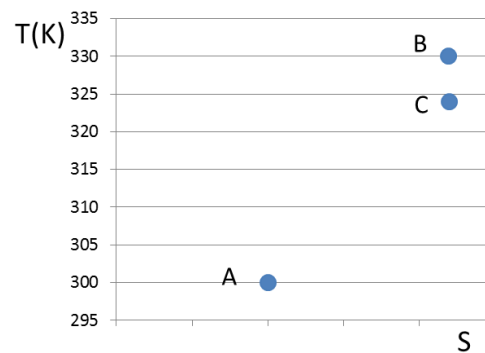
$$\Delta U_{A \rightarrow B} = 374.13J ; \Delta U_{B \rightarrow C} = -74.826J ; \Delta U_{C \rightarrow A} = -299.304J$$

$$Q_{A \rightarrow B} = 374.13J ; Q_{B \rightarrow C} = 0 ; Q_{C \rightarrow A} = -370.274J$$

.ה

$$\Delta S_{A \rightarrow B} = 1.1886 \frac{J}{K} ; \Delta S_{B \rightarrow C} = 4.68 \times 10^{-3} \frac{J}{K} ; \Delta S_{C \rightarrow A} = -1.19207 \frac{J}{K} \quad .\text{ו}$$

.ז



$$\Delta S_{b,A \rightarrow B} = -1.085 \frac{J}{K} ; \Delta S_{b,B \rightarrow C} = 0 ; \Delta S_{b,C \rightarrow A} = 1.234 \frac{J}{K} \quad .\text{ח}$$

$$\Delta U_{total} = 0 \Rightarrow W_{A \rightarrow B} + W_{B \rightarrow C} + W_{C \rightarrow D} = Q_{A \rightarrow B} + Q_{B \rightarrow C} + Q_{C \rightarrow D} \quad .\text{ט}$$

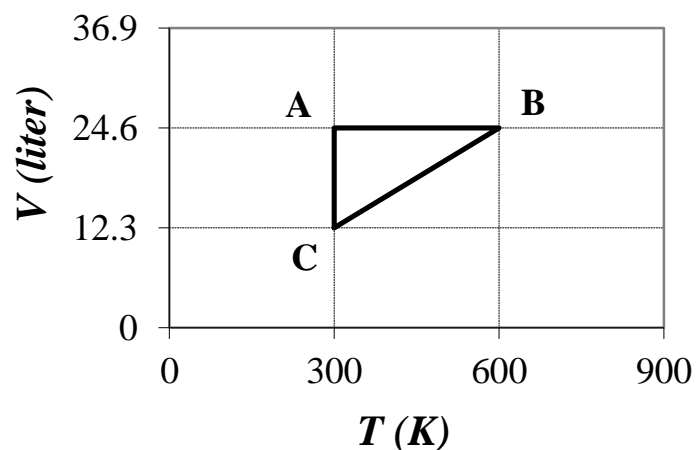
$$\Delta S_{total,A \rightarrow B} ; \Delta S_{total,B \rightarrow C} > 0 ; \Delta S_{C \rightarrow A} > 0$$

פרק 3- מכונות חום של גזים אידיאליים

שאלות:

1. מול אחד של גז אידיאלי מונו-אטומי עובר את התהליך המחזורי ההפוך $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$. התהליך מורכב מהשלבים הבאים:
- תהליך איזותרמי $A \rightarrow B$, תהליך אדיאבטי $B \rightarrow C$, תהליך $C \rightarrow D$ שמתרחש בלחץ קבוע ותהליך אדיאבטי $D \rightarrow A$.
- נתון: $T_A = 223K$; $P_B = 1.73P_A$; $T_D = 1.5T_B$.
- א. שרטטו את הגרף במישור $P-V$ והראו לפי הגרף כי המחזור הנ"ל עובד כמכונת חום.
- ב. חשב את העבודה נטו שעושה המערכת במחזור אחד.
- ג. חשב עבור כל שלב של המחזור את כמות החום שהוכנסה למערכת או הוצאה מהמערכת.
- ד. לכמה מאגרי חום מוצמדת מכונה זו?
- ה. חשב את היעילות של מכונת חום.
- ו. חשב את שינוי האנטרופיה ΔS עבור כל שלב של המחזור;
- ז. צייר איכותית את התהליך $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ בגרף של T כנגד S .

2. שני מול של גז אידיאלי מונואטומי עוברים את התהליך המחזורי $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ המתואר בדיאגרמת $V-T$ הבאה (כל השלבים הפיכים):



- א. תארו את התהליך בכל אחד מהמעברים.
- ב. שרטטו תהליך מחזורי זה במישור $V-P$.
- ג. חשבו את העבודה בכל אחד מהשלבים ואת העבודה הכללית.
- ד. מהם S ו- U במעבר מהנקודה A ל-C?

3. מחזור סטירלינג (*Stirling cycle*) בנוי מהשלבים הבאים:

שלב 1→2: התפשטות איזותרמית בטמפרטורה של T_1 מנפח V_1 לנפח V_2 .

שלב 2→3: קירור בנפח קבוע עד טמפרטורה T_3 .

שלב 3→4: דחיסה איזותרמית לנפח ההתחלתי.

שלב 4→1: חימום בנפח קבוע.

המחזור עובד עם שני מאגרי חום. החום הנדרש לחימום בשלב 4→1 מתקבל

מהחום הנפלט בשלב הקירור 2→3.

נתון מחזור סטירלינג אשר החומר העובד בו הוא גז אידיאלי דו-אטומי עבורו

$$T_1 = 300\text{K} ; V_1 = 12.3\text{L} ; T_2 = 150\text{K} ; V_2 = 24.6\text{L} ; n = 2\text{mol} \quad k = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

כל התהליכים הפיכים.

א. שרטט/י מחזור זה במישור V-P.

ב. חשב את העבודה והחום בכל אחד משלבי המחזור.

ג. חשב/י את יעילות המחזור. השווה ליעילות מחזור קרנו העובד בין אותן

טמפרטורות. פרט/י חישוביך.

ד. חשב את השינוי באנטרופיה של המערכת עבור כל אחד מהשלבים

ה. שרטט/י בצורה איכותית מחזור זה במישור T-S. הבהר/י שרטוטך.

4. מחזור אריקסון (*Ericsson cycle*) בנוי מהשלבים הבאים :

שלב 1→2 : התפשטות איזותרמית מלחץ P_1 ונפח V_1 ללחץ P_2 .

שלב 2→3 : קירור בלחץ קבוע עד נפח V_3 .

שלב 3→4 : דחיסה איזותרמית עד ללחץ ההתחלתי P_1

שלב 4→1 : חימום בלחץ קבוע חזרה לנקודת ההתחלה.

המחזור עובד עם שני מאגרי חום. החום הנדרש לחימום בשלב 4→1 מתקבל מהחום הנפלט בשלב הקירור 2→3.

נתון מחזור אריקסון אשר החומר העובד בו הוא גז אידיאלי דו-אטומי עבורו

$$P_1 = 5\text{bar} ; V_1 = 10\text{L} ; P_2 = 1\text{bar} ; V_3 = 30\text{L} ; n = 2\text{mol} \quad k = \frac{C_P}{C_V} = 1.4$$

כל התהליכים הפיכים.

א. שרטט/י בצורה איכותית מחזור זה במישור V-P.

ב. שרטט/י בצורה איכותית מחזור זה במישור T-S.

ג. קבלי ביטוי לעבודה, לחום, לשינוי באנרגיה הפנימית ולשינוי באנטלפיה

בכל אחד משלבי המחזור. חשב את ערכו של כל אחד מהביטויים.

ד. חשבי את היעילות של מחזור זה.

5. מול אחד של גז אידיאלי דו-אטומי

$$\left(U = \frac{5}{2} n \bar{R} T \right) \text{ עובר תהליך מחזורי}$$

$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$, כפי שמופיע

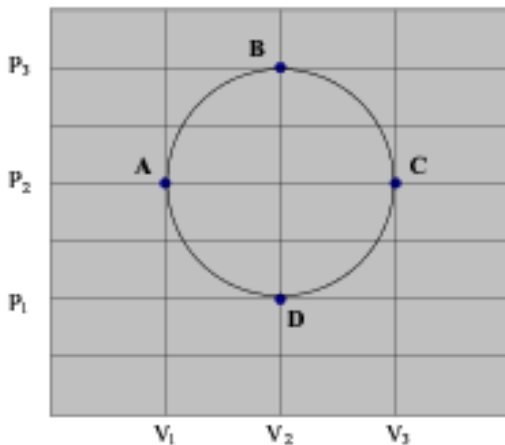
בגרף.

נתון :

$$V_1 = 13.0\text{L}; P_1 = 0.5\text{atm}$$

$$V_2 = 22.0\text{L}; P_2 = 0.6\text{atm}$$

$$V_3 = 31.0\text{L}; P_3 = 0.7\text{atm};$$



א. חשב את העבודה נטו

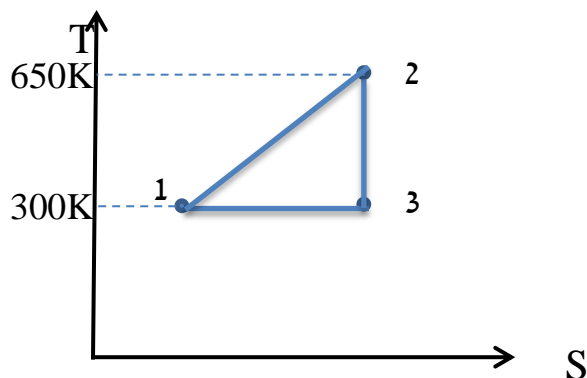
ב. חשב את השינוי באנרגיה הפנימית במעבר מ-A ל-C

ג. חשב את החום במעבר מ-A ל-C

ד. חשב את החום במעבר מ-C ל-A

ה. חשב את יעילות המחזור

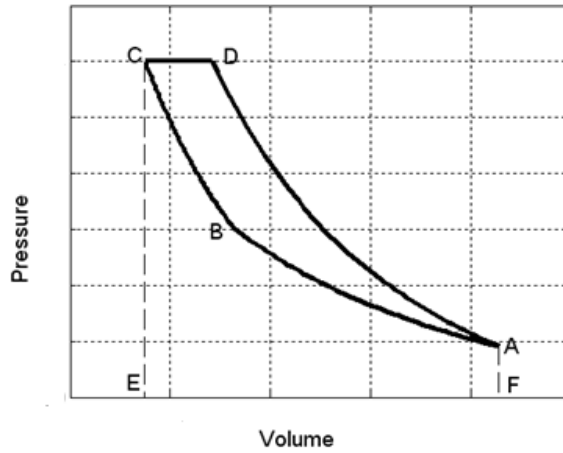
6. מול אחד גז אידיאלי מונו-אטומי עובר את התהליך המחזורי הבא המוצג במישור $T-S$ (כל התהליכים הפיכים):



- קבלי ביטוי לחום בכל אחד מהשלבים במחזור. הפרמטר היחידי שניתן להשתמש בו הוא הנפח בנקודות השונות (כלומר V_1, V_2, V_3).
- קבלי ביטוי לעבודה נטו במחזור אחד. הפרמטר היחידי שניתן להשתמש בו הוא הנפח בנקודות השונות (כלומר V_1, V_2, V_3).
- מהי יעילות מכונת חום זו? פרטי תשובתך.

תשובות סופיות:

1. א.



$$W_{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A} = (\text{שטח } ECDAF) - (\text{שטח } ECBAF) = (\text{שטח } ABCDA)$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A} > 0$$

ב. $W_{net} = 353.3J$

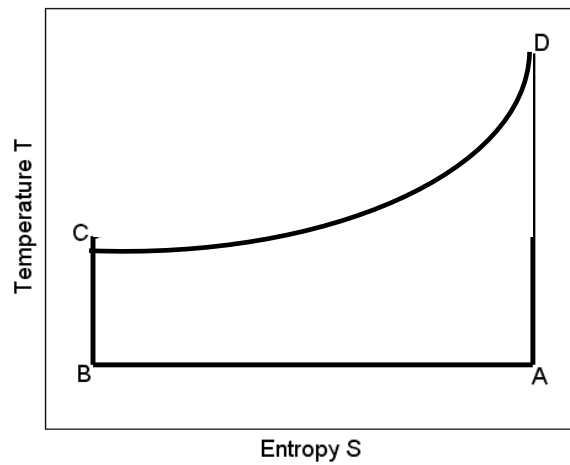
ג. $Q_{A \rightarrow B} = -1016.2J$; $Q_{B \rightarrow C} = 0$; $Q_{C \rightarrow D} = 1369.7J$; $Q_{D \rightarrow A} = 0$

ד. אין סוף.

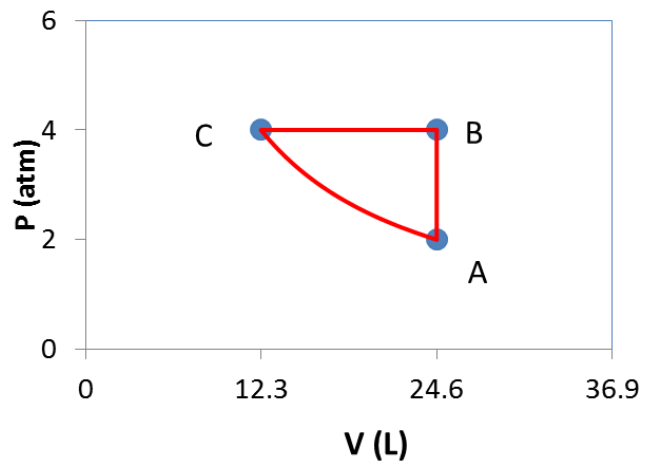
ה. 0.26

ו. $\Delta S_{A \rightarrow B} = -4.6 \frac{J}{K}$; $\Delta S_{B \rightarrow C} = 0$; $\Delta S_{C \rightarrow D} = 4.6 \frac{J}{K}$; $\Delta S_{D \rightarrow A} = 0$

ז.



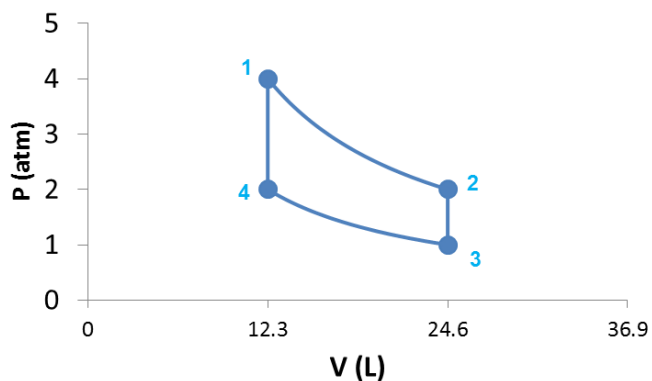
2. א. $A \rightarrow B$ חימום בנפח קבוע; $B \rightarrow C$ הוא קירור בלחץ קבוע; $C \rightarrow A$ התפשטות איזותרמית.
 ב.



ג. $W_{A \rightarrow B} = 0$; $W_{B \rightarrow C} = -4988.4 J$; $W_{C \rightarrow A} = 3457.7 J$; $W_{net} = -1530.7 J$

ד. $\Delta U_{A \rightarrow C} = 0$; $\Delta S_{A \rightarrow C} = -11.53 \frac{J}{K}$

3. א.



$$W_{1 \rightarrow 2} = 3457.7 J ; Q_{1 \rightarrow 2} = 3457.7 J$$

$$W_{2 \rightarrow 3} = 0 ; Q_{2 \rightarrow 3} = -6235.5 J$$

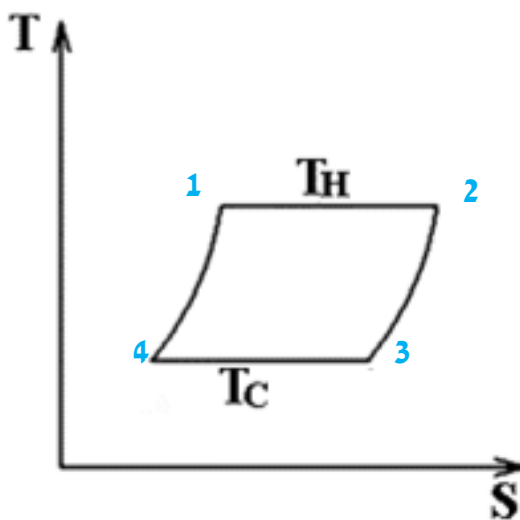
$$W_{3 \rightarrow 4} = -1728.85 J ; Q_{3 \rightarrow 4} = -1728.85 J$$

$$W_{4 \rightarrow 1} = 0 ; Q_{4 \rightarrow 1} = 6235.5 J$$

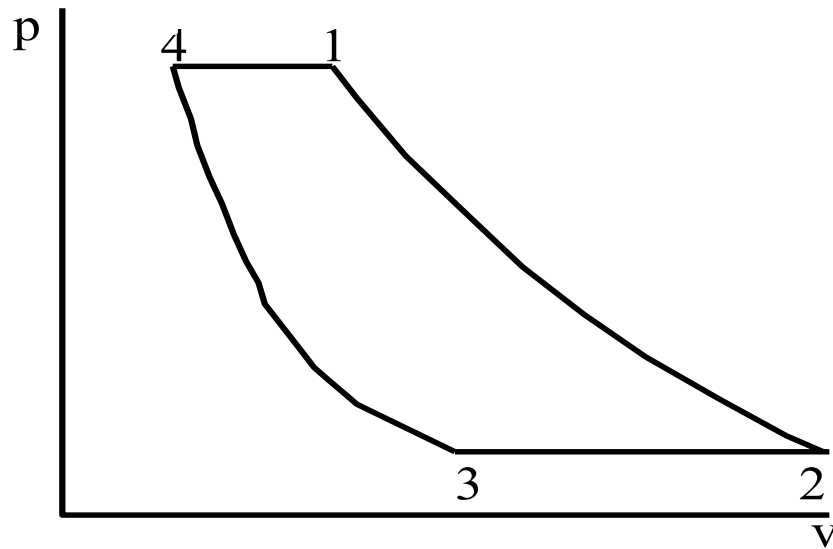
ג. 0.5

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = 11.53 \frac{J}{K} ; \Delta S_{2 \rightarrow 3} = -28.8 \frac{J}{K} ; \Delta S_{3 \rightarrow 4} = -11.53 \frac{J}{K} ; \Delta S_{4 \rightarrow 1} = 28.8 \frac{J}{K} . \text{ד}$$

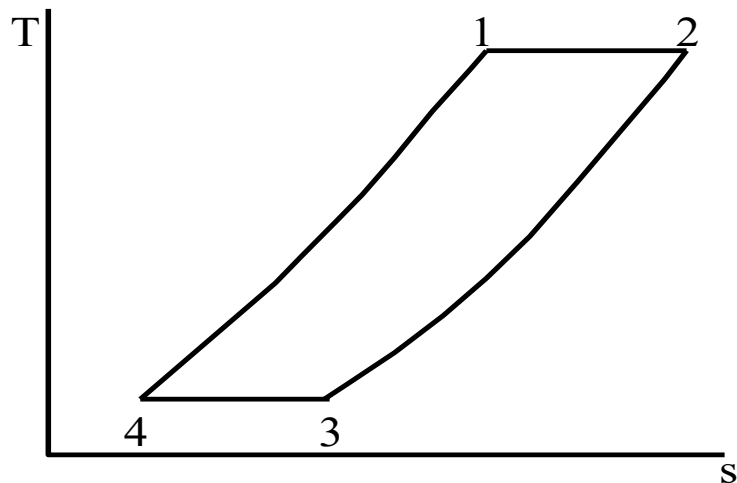
ה.



4. א.



ב.



$$\begin{aligned}
 W_{1 \rightarrow 2} &= 8047.3J ; Q_{1 \rightarrow 2} = 8047.3J ; \Delta U_{1 \rightarrow 2} = 0 ; \Delta H_{1 \rightarrow 2} = 0 \\
 W_{2 \rightarrow 3} &= -2000J ; Q_{2 \rightarrow 3} = -7000J ; \Delta U_{2 \rightarrow 3} = -5000J ; \Delta H_{2 \rightarrow 3} = -7000J \\
 W_{3 \rightarrow 4} &= -4827.8J ; Q_{3 \rightarrow 4} = -4827.8J ; \Delta U_{3 \rightarrow 4} = 0 ; \Delta H_{3 \rightarrow 4} = 0 \\
 W_{4 \rightarrow 1} &= 2000J ; Q_{4 \rightarrow 1} = 7000J ; \Delta U_{4 \rightarrow 1} = 5000J ; \Delta H_{4 \rightarrow 1} = 7000J
 \end{aligned}$$

0.4. ד

$$W_{net} = 286.7J \quad \text{א. 5}$$

$$\Delta U_{A \rightarrow C} = 2737.5J \quad \text{ב.}$$

$$Q_{A \rightarrow C} = 3975.9J \quad \text{ג.}$$

$$Q_{C \rightarrow A} = -3689.2J \quad \text{ד.}$$

$$0.072 \quad \text{ה.}$$

$$Q_{1 \rightarrow 2} = -475R \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right)$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = 0 \quad \text{א. 6}$$

$$Q_{3 \rightarrow 1} = 300\bar{R} \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right)$$

$$W_{net} = -175R \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) \quad \text{ב.}$$

$$0.368 \quad \text{ג.}$$

פרק 4 - חומרים טהורים

שאלות:

1. נתון H_2O בלחץ $P = 2MPa$. מצאו את התכונות התרמודינמיות האחרות עבור:

א. $v = 0.15 \frac{m^3}{kg}$

ב. $v = 0.05 \frac{m^3}{kg}$

2. כלי בנפח של $0.5m^3$ מכיל $1.5kmol$ של אדי מים בטמפי של $350^\circ C$. הנתונים

לגבי האדים: $R = 0.4614 \frac{kJ}{kgK}$; $M = 18.02 \frac{kg}{kmol}$.

א. מצאו את מסת האדים:

ב. מצאו את הנפח הסגולי:

ג. מצאו את לחץ האדים בהנחה שהם גז אידיאלי.

ד. מצאו את לחץ הגז באמצעות הטבלאות. השוו לערך שהתקבל בסעיף הקודם.

3. קיטור ב- $8MPa; 350^\circ C$ נמצא בגליל הסגור באמצעות בוכנה ניידת עליה פועל לחץ חיצוני. במצב ההתחלתי הבוכנה מוחזקת באמצעות מעצורים. הגליל נמצא באמבט חום ב- $350^\circ C$. הנפח ההתחלתי של הקיטור הוא $0.2m^3$. משחררים את המעצורים והקיטור מתפשט תוך העלאת הבוכנה. כאשר המערכת מגיעה למצב שווי משקל, לחץ הקיטור הוא $4MPa$.

א. חשב את השינוי באנרגיה הפנימית ובאנטלפיה.

ב. חשב את העבודה והחום.

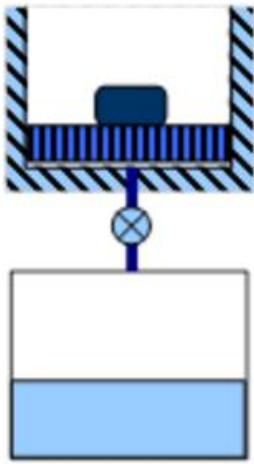
4. מיכל שנפחו $0.7m^3$ מכיל אמוניה בטמפרטורה של $60^{\circ}C$ ו- $x=0.8$. המיכל מחובר באמצעות ברז לצילינדר אנכי ובו בוכנה. המיכל והצילינדר טבולים באמבט מים בטמפרטורה קבועה של $60^{\circ}C$ (אמבט חום). פותחים את הברז ואמוניה זורמת לאט לאט לצילינדר. הלחץ הדרוש להרמת הבוכנה הוא $500kPa$. הנפח הכלוא מתחת למעצורים בצילינדר הוא $0.2m^3$. הזרימה נפסקת כאשר הלחץ במיכל ובצילינדר משתווים.

עבור אמוניה נתון:

$T (^{\circ}C)$	$p (kPa)$	$v_f (m^3/kg)$	$v_{fg} (m^3/kg)$	
60	2614.4	0.001834	0.04697	Saturated ammonia

$T (^{\circ}C)$	$p (kPa)$	$v_g (m^3/kg)$	
60	500	0.3144	Superheated ammonia
60	2000	0.0688	

- א. מהו נפח הנוזל במיכל בתחילת התהליך?
- ב. האם הבוכנה מגיעה למעצורים ואם כן, האם יש נוזל במיכל ברגע זה? האם בעת ההגעה למעצורים התהליך ממשיך או מסתיים?
- ג. מהו בקירוב הלחץ הסופי?
- ד. מהי העבודה המבוצעת לאורך התהליך?



5. מיכל בנפח $0.5m^3$ מכיל $20kg$ מים בלחץ של $400kPa$ ובטמפרטורה T_1 . זהו מצב 1.

המיכל מחובר לצילינדר עם בוכנה ניידת עליה פועל לחץ חיצוני של $100kPa$. במצב ההתחלתי הבוכנה בתחתית הצילינדר.

השסתום בקצה המיכל מונע מהלחץ בתוך המיכל לעלות מעל $4MPa$.

א. מצא את הטמפרטורה ההתחלתית.

ב. חשב את שבר מסת האדים במצב ההתחלתי.

המיכל מובא במגע עם אמבט חום בטמפרטורה של $300^\circ C$. כאשר הלחץ במיכל מגיע ל- $4MPa$ (מצב 2), השסתום נפתח ואדים זורמים לצילינדר. התהליך מסתיים כאשר המיכל מכיל אדים בלבד (מצב 3).

ג. מצא את הטמפרטורה ברגע שהשסתום נפתח (מצב 2).

ד. מצא את שבר מסת האדים במצב 2.

ה. מצא את החום במעבר ממצב 1 למצב 2.

ו. מצא את מסת המים במיכל במצב 3.

תשובות סופיות:

1. א.

State	p	T	v	u	h	s
Given	<u>2</u>	395.3	<u>0.15</u>	2937	3237.1	7.1108

ב.

p	T	x	v	u	h	s
<u>2</u>	212.42	0.4959	<u>0.05</u>	1746.4	1846.4	4.3782

2. א. $27.03kg$

ב. $0.0185 \frac{m^3}{kg}$

ג. $15542kPa$

ד. $11.558MPa$

3. א. $\Delta U = 527.6 kJ$; $\Delta H = 702.5 kJ$

ב. $W = 975kJ$; $Q = 1502.6kJ$

4. א. $V_{f,1} = 6.51L$

ב. ברגע הגעת הבוכנה למעצורים יש קיטור רווי בטמפרטורה. התהליך ימשך.

ג. $2061.4kPa$

ד. $W = 100kJ$

143.63°C .א. 5

0.0518 .ב.

250.4°C .ג.

0.4894 .ד.

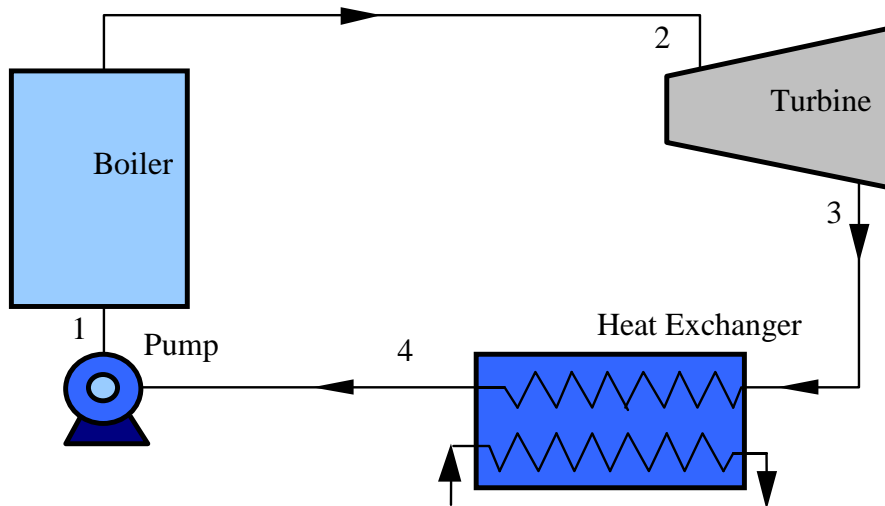
22416kJ .ה.

10.044kg .ו.

פרק 5- נפח ובקרה

שאלות:

1. מערכת המספקת חשמל וקיטור מורכבת מ-4 המרכיבים הבאים: משאבה, דוד חימום, טורבינה ומחליף חום. הטורבינה והמשאבה הן אדיאבטיות הפיכות.



קצב הזרימה של הקיטור הוא $2.5 \frac{kg}{s}$ דרך כל אחד ממרכיבי המערכת.

התנאים בפתחי היציאה של כל אחד מהמרכיבים מרוכזים בטבלה הבאה:

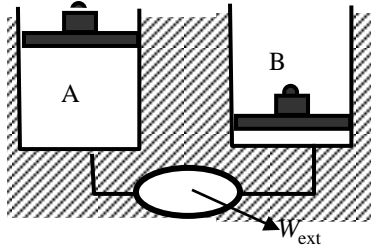
Exit of element	state	P (MPa)	T (°C)	v (m/s)	z (m)
Pump	1	10	102	5	0
Boiler	2	8	450	20	20
Turbine	3	0.2		100	10
Heat Exchanger	4	0.18	100	5	0

חשבו את:

- הספק של המשאבה
- קצב מעבר החום בדוד חימום
- הספק של הטורבינה
- קצב מעבר החום במחליף חום
- חתך הפעולה של הצינור ביציאה של כל מרכיב

2. מיכל קשיח ואדיאבטי מכיל 0.03kg של He ב-300°C ובלחץ של 120kPa. המיכל מתמלא מצינור המכיל He בלחץ של 0.6MPa וטמפרטורה של 300°C. המילוי מפסיק כאשר הלחצים משתווים.

- א. מצא/י את המסה והטמפרטורה הסופית של ההליום, תחת ההנחה כי הוא מתנהג כגז אידיאלי מונואטומי שמסתו $M(\text{He}) = 4 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$.
- ב. כיצד הייתה משתנה תשובתך אילו במקום He המיכל והצינור היו מכילים קיטור?



3. צילינדר אנכי A מכוסה בבוכנה צפה ששומרת על לחץ $P_A = 2000 \text{ kPa}$. הצילינדר מחובר דרך מתקן עבודה לצילינדר אנכי B שמכוסה בבוכנה צפה השומרת על לחץ $P_B = 150 \text{ kPa}$ (ראה ציור). המערכת על כל חלקיה מבודדת היטב. נתון עבור אוויר:

$$k = 1.4 ; M = 28.985 \frac{\text{g}}{\text{mol}} ; c_v = 0.71712 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

במצב ההתחלתי הצילינדר A מכיל 4.0 kg אוויר ב-350°C וצילינדר B ריק. השסתום נפתח והאוויר זורם מ-A ל-B. כשהזרימה נפסקה, הטמפרטורה ב-B הייתה 150°C.

- א. מהו התנאי שמכתיב את הפסקת הזרימה?
- ב. מצא את המצב ההתחלתי והמצב הסופי בצילינדרים A ו-B.
- ג. מצא את אינטראקציות החום והעבודה של האוויר.
- ד. מצא את העבודה של מתקן העבודה.

4. קיטור ב- 150°C , 200 kPa נכנס למחליף חום בקצב 900 kg/hr ויוצא ממנו כנוזל רווי ב- 110°C . קוטר צינור הכניסה למחליף החום הוא 8.0 cm וקוטר צינור היציאה 2.0 cm .

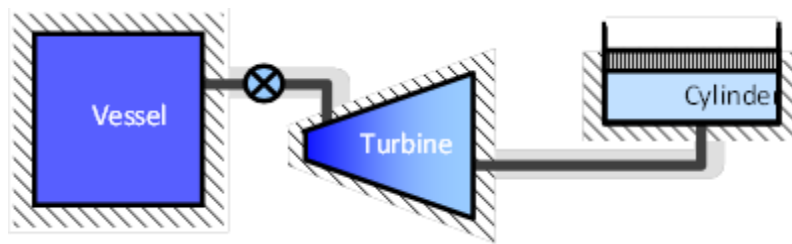
- א. מצא את מהירות הכניסה ומהירות היציאה.
ב. מצא את גודל אינטראקציות החום והעבודה של מחליף החום.

5. קיטור ב- 350°C , 1200 kPa נכנס לטורבינה אדיאבטית בקצב 900 kg/hr ויוצא ממנו כאד רווי ב- 40°C . קוטר צינור הכניסה לטורבינה הוא 8.0 cm וקוטר צינור היציאה 30 cm .

- א. מצא את מהירות הכניסה ומהירות היציאה.
ב. מצא את הספק הטורבינה.

6. מנוע חום הפיך עושה אינטראקציות חום עם מאגר ב- $T_b=700^{\circ}\text{C}$ ועם צילינדר מכוסה בבוכנה ששומרת על לחץ קבוע של 100 kPa . המצב ההתחלתי הצילינדר מכיל $10\text{ kg H}_2\text{O}$ במצב נוזל רווי ($x=0$). פעולת המנוע מופסקת כאשר הטמפרטורה בצילינדר מגיעה ל- 400°C . מצאו את עבודת המנוע והשינוי באנטרופיה.

7. כלי מבודד בנפח של $2m^3$ מכיל קיטור בלחץ של $50bar$ וטמפי של $300^{\circ}C$. הכלי מחובר דרך צינור מבודד לטורבינה אדיאבטית הפיכה המחוברת לצילינדר שעליו בוכנה, המפעילה לחץ של $10bar$ (ראו שרטוט).



במצב ההתחלתי הצילינדר ריק. פותחים את השסתום ומאפשרים לקיטור לזרום אל הצילינדר דרך הטורבינה, עד הפסקת הזרימה. הניחו כי אין נפילת לחץ בצינורות ובטורבינה וכי מסת הקיטור שבהם זניחה. מצאו את כמות המסה הנשארת בכלי בסוף התהליך, את עבודת הטורבינה ואת השנוי באנטרופיה בתהליך.

8. מדחס הוא רכיב אדיאבטי המעלה לחץ של זורם ע"י צריכת עבודה. קיטור ב- $150^{\circ}C; 0.1MPa$ נכנס למדחס בעל יעילות איזנטרופית של 0.9 במהירות של $60 \frac{m}{s}$. שטח החתך בכניסה למדחס הוא $300cm^2$. מהירות הזורם ביציאה מהמדחס היא $60 \frac{m}{s}$ והספק המדחס הוא $1MW$. מצאו את הלחץ והטמפי של הקיטור ביציאה.

9. גזי פליטה של מנוע סילון ב- $0.19MPa; 725^{\circ}C$ (הניחו גז אידיאלי, $M = 29; k = 1.4$) נכנסים לנחיר אדיאבטי בקצב של $200 \frac{kg}{s}$, במהירות $60 \frac{m}{s}$. לחץ הסביבה הוא $0.06MPa$.

א. מהי המהירות היציאה המקסימאלית האפשרית?
 ב. מהי מהירות היציאה המקסימלית אם לנחיר יעילות איזנטרופית של 0.9?
 ג. מהו השינוי באנטרופיה של הגזים בעוברם בנחיר בתנאים של הסעיפים הקודמים?

תשובות סופיות:

1. א. $-39.8kW$

ב. $7094.66kW$

ג. $1965.32kW$

ד. $-5169.01kW$

ה. $A_1 = 5.20 \text{ cm}^2; A_2 = 47.71 \text{ cm}^2; A_3 = 198.75 \text{ cm}^2; A_4 = 5.22 \text{ cm}^2$

2. א. $0.102kg$; $842.8K$

ב. $0.1336kg$; $425^\circ C$

3. א. כל הגז יעבור לצינדר B.

ב.

state	$P(kPa)$	$T(^{\circ}C)$	$T(K)$	$v(m^3/kg)$	$u(kJ/kg)$	$h(kJ/kg)$	$m(kg)$	$V(m^3)$
1	<u>2000</u>	<u>350</u>	623.15	0.08938	446.87	625.64	<u>4.0</u>	0.358
2	<u>150</u>	<u>150</u>	423.15	0.8093	303.45	424.84	4.0	3.237

ג. $573.7kJ$

ד. $803.2kJ$

4. א. $v_{in} = 47.727 \frac{m}{s}$; $v_{out} = 0.837 \frac{m}{s}$

ב. $-577.16kW$

5. א. $v_{in} = 11.66 \frac{m}{s}$; $v_{out} = 69.04 \frac{m}{s}$

ב. $144.27kW$

6. $W = 41857.42kJ$; $\Delta S_b = -\Delta S_c = -72.4090 \text{ kJ/K}$

7. $m = 11.234kg$; $W_t = 6023.97kJ$; $\Delta S = 0$

8. $T = 727.64^\circ C$; $P = 3.64MPa$

$$9. \text{א. } 752.1 \frac{m}{s}$$

$$\text{ב. } 713.5 \frac{m}{s}$$

$$\text{ג. עבור א } \Delta S = 0, \text{ עבור ב } \Delta S = 0.039 \frac{kJ}{kgK}$$

פרק 6 - מחזור רנקין

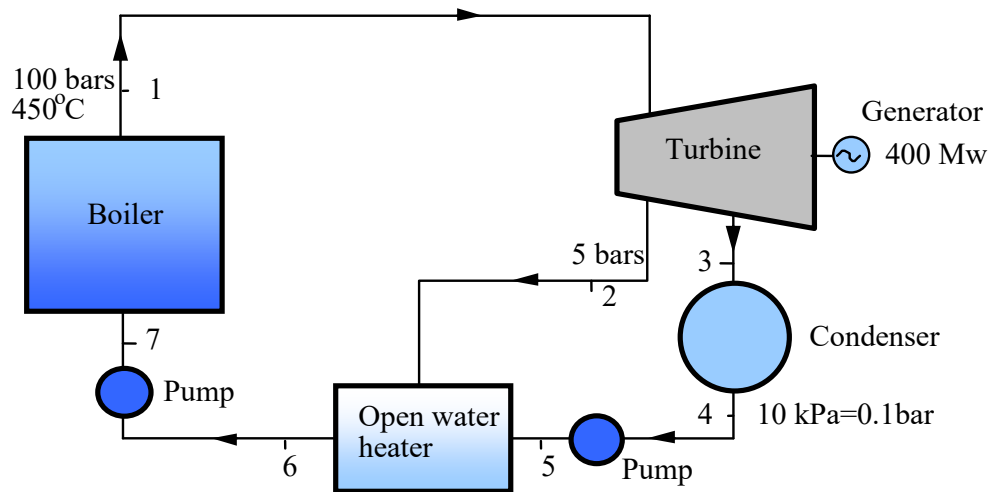
שאלות:

1. במחזור רנקין סטנדרטי קיטור נכנס לטורבינה בלחץ של 2MPa וטמפרטורה של 400°C . הלחץ במעבה הוא 20kPa . תחת ההנחה כי כל התהליכים הפיכים והטורבינה והמשאבה אדיאבטיות, מהם האפיונים של הנקודות השונות במעגל? חשבי את החום, העבודה והיעילות של המחזור.

2. במחזור רנקין ריאלי קיטור נכנס לטורבינה בלחץ של 2MPa וטמפרטורה של 400°C .

הלחץ במעבה הוא 20kPa . הנוזל היוצא מהמעבה הוא נוזל רווי. היעילות האיזנטרופית של הטורבינה היא 0.9 והיעילות האיזנטרופית של המשאבה היא 0.8 . חשבי את היעילות של מחזור רנקין זה.

3. תחנת כוח עובדת לפי מחזור רנקין המוצג בגרף הבא.

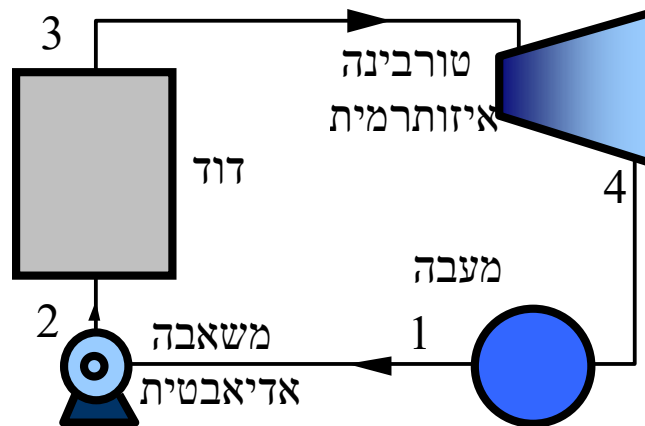


יעילות הטורבינה והמשאבה היא 0.9 .

- שרטטי את התהליך במישור $s-T$.
- מצאי את יעילות המחזור
- מצאי את קצב זרימת הקיטור

4. נתונה תחנת כוח כמתואר בתרשים :

קיטור יוצא מהדוד (נקודה 3) כאד רווי ($x=1$) בלחץ 4 MPa . הקיטור נכנס



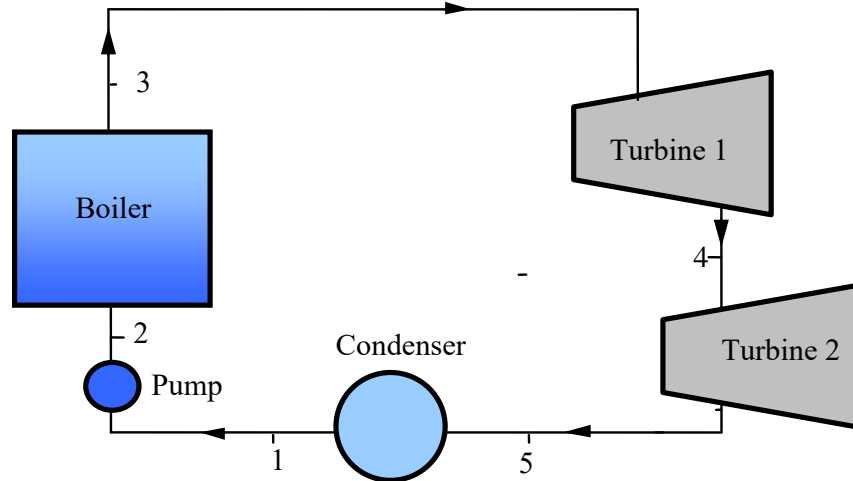
לטורבינה איזותרמית אשר היעילות בה היא 0.8 ביחס לטורבינה איזותרמית הפיכה. בטורבינה הקיטור מתפשט עד ללחץ המעבה שהוא 10 kPa . הנוזל היוצא מהמעבה הוא נוזל רווי $x=0$. המשאבה אדיאבטית עם יעילות 1.0 .

- א. שרטט/י את המחזור במישור $T-s$?
- ב. מהי עבודת המשאבה?
- ג. מהי עבודת הטורבינה?
- ד. ההספק נטו במחזור הוא 5000 kW . מהו קצב זרימת הקיטור במחזור?

5. במחזור רנקין סטנדרטי קיטור נכנס לטורבינה בלחץ של 2MPa וטמפרטורה של 400°C . הלחץ במעבה הוא 20kPa . מבצעים שינוי במחזור: לאחר יצאת הקיטור מהדוד, הוא נאגר בצילינדר עם בוכנה השומרת על לחץ קבוע של 2MPa . במהלך זמן האגירה, חום עובר מהאדים לסביבה והטמפרטורה שלהם יורדת ל- 350°C . בתום זמן האגירה, האדים מועברים לטורבינה להשלמת המחזור.

- א. שרטט/י את המחזור הסטנדרטי ואת המחזור עם האגירה על אותו גרף במישור s-T.
- ב. מצא את אפיוני המערכת (לחץ, טמפרטורה, הרכב המערכת, אנתלפיה ואנטרופיה) בכל אחת מהנקודות.
- ג. מהי יעילות המחזור עם האגירה? השווה ליעילות מחזור רנקין סטנדרטי.
- ד. האם מחזור רנקין סטנדרטי בו הקיטור יוצא מהדוד בטמפרטורה של 350°C ובלחץ של 2MPa ועובר מיידית לטורבינה הוא עם יעילות זהה ליעילות המחזור עם האגירה או לא?

6. נתונה תחנת הכוח הבאה :



קיטור יוצא מדוד החימום (נקודה 3) כאד רווי בלחץ של 4MPa .
הקיטור נכנס לטורבינה איזותרמית והפיכה (Turbine 1) ומתפשט עד ללחץ של 1MPa .
לאחר מכן הקיטור נכנס לטורבינה אדיאבטית (Turbine 2) עם יעילות איזנטרופית של 0.8 . הקיטור יוצא מהטורבינה האדיאבטית (נקודה 5) בלחץ המעבה שהוא 15kPa .

ביציאה מהמעבה מתקבל נוזל רווי.

הנוזל נכנס למשאבה אדיאבטית עם יעילות איזנטרופית של 0.85 .

- שרטט/י את המחזור במישור S-T.
- מהי עבודת המשאבה? מהי עבודת הטורבינות? פרט/י
- מהי ניצולת המחזור? פרט/י
- הספק החום בדוד חימום הוא 2500 kW . מהי הספיקה המסית במחזור? פרט/י

תשובות סופיות:

1. יעילות 0.299

2. יעילות 0.2692

3. יעילות 0.345 ; $\dot{m} = 441.3 \frac{kg}{s}$

4. $\dot{m} = 4.46 \frac{kg}{s}$; $w_{x,3 \rightarrow 4} = 1127.9 \frac{kJ}{kg}$; $w_{x,1 \rightarrow 2} = -4.03 \frac{kJ}{kg}$

5. יעילות 0.28

6. $\dot{m} = 0.97 \frac{kg}{s}$; $\eta = 0.33$; $w_{x,3 \rightarrow 4} = 306.1 \frac{kJ}{kg}$

פרק 7 - מחזורי אוויר

שאלות:

1. במחזור Brayton אידיאלי אוויר נכנס למדחס ב- 15°C , 0.1MPa ונדחס עד 0.5MPa . הטמפ' המכסימלית היא 900°C . מצאו:

- לחץ וטמפרטורה בכל נקודות המחזור.
- עבודת המדחס.
- עבודת הטורבינה.
- יעילות המחזור.

2. תחנת כוח בהספק 150 kW מבוססת טורבינת גז. אוויר מהסביבה ב- $T_1=30^{\circ}\text{C}$, $p_1=100\text{ kPa}$ נכנס למדחס. יחס הלחצים $r=p_2/p_1=15$ טמפרטורה מכסימלית $T_{max}=1450^{\circ}\text{C}$. דרגו הטיב של המדחס היא 0.88 ודרגת הטיב של הטורבינה היא 0.92 .

- מצאו את הטמפרטורה והלחץ בכל נקודות המחזור.
- חשבו את העבודה והחום בכל שלב של המחזור.
- מצא את יעילות המחזור.
- מצא את ספיקת האוויר למדחס.

3. נתון מחזור דיזל אשר החומר העובד בו הוא אוויר. במחזור זה יחס הדחיסה הוא 18 . התנאים התחלתיים הם לחץ של 0.1MPa , טמפרטורה של 15°C . הטמפרטורה המקסימאלית בתהליך היא 2500K . מהי יעילות המחזור?

4. מנוע בעירה פנימית עובד כמחזור אוטו אידיאלי. ב תחילת הדחיסה התנאים הם 27°C ; 0.1MPa , ונפח הבוכנה הוא 0.002m^3 . הלחץ בסוף הדחיסה הוא 1.2MPa . חום נכנס בקצב של 4.2kJ למחזור. מהי יעילות המחזור?

תשובות סופיות

	P (MPa)	T (K)
1	0.1	288.2
2	0.5	456.6
3	0.5	1173.2
4	0.1	740.4

.א.1

ב. -169.0 kJ/kg

ג. 434.3 kJ/kg

ד. 0.369

.א.2 $P_1 = 100 \text{ kPa}$; $T_1 = 303.15 \text{ K}$

$P_2 = 1500 \text{ kPa}$; $T_2 = 705.46 \text{ K}$

$P_3 = 1500 \text{ kPa}$; $T_3 = 1723.15 \text{ K}$

$P_4 = 100 \text{ kPa}$; $T_4 = 869.13 \text{ K}$

$$q_{1 \rightarrow 2} = 0 ; q_{2 \rightarrow 3} = 1020.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} ; q_{3 \rightarrow 4} = 0$$

$$w_{1 \rightarrow 2} = -403.51 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} ; w_{2 \rightarrow 3} = 0 ; w_{3 \rightarrow 4} = 856.58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

ג. 0.44

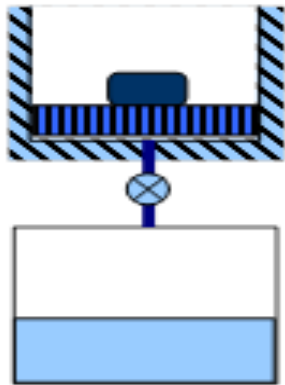
ד. $0.033 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

.3 0.6

.4 0.51

פרק 8 - שאלות מסכמות ברמת בחינה

שאלות:



1. מיכל בנפח 0.5m^3 מכיל 20kg מים בלחץ של 400kPa ובטמפרטורה T_1 . זהו מצב 1. המיכל מחובר לצילינדר אדיאבטי המכוסה בבוכנה השומרת על לחץ קבוע של 100kPa . ססתום בחלק העליון של המיכל מונע מהלחץ לעלות מעל 4MPa . ובמצב ההתחלתי הבוכנה נמצאת בתחתית הצילינדר.

מהי הטמפרטורה במצב ההתחלתי. חשבי את שבר מסת האדים במצב ההתחלתי.

מכניסים את המיכל לאמבט חום בטמפרטורה של 300°C . כאשר הלחץ במיכל מגיע ל- 4MPa (מצב 2), השסתום נפתח וקיטור זורם לצילינדר. התהליך מסתיים כאשר במיכל יש אדים בלבד (מצב 3).

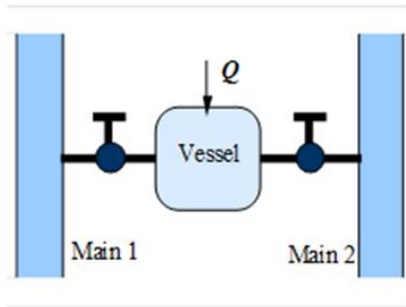
מהי הטמפרטורה ברגע שהשסתום נפתח (מצב 2)?
מצא/י את שבר מסת האדים במיכל ברגע שהשסתום נפתח.
מהי אינטראקצית החום של המיכל עד פתיחת השסתום?
מצא/י את מסת המים במיכל במצב 3.
מצא/י את החום מרגע פתיחת השסתום ועד סיום התהליך.

2. קיטור בלחץ של 1200kPa וטמפרטורה של 350°C נכנס לנחיר אדיאבטי בקצב של $900 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$ ויוצא כגז רווי בטמפרטורה של 40°C . שטח החתך בכניסה הוא $5.027 \times 10^{-3} \text{m}^2$

א. מצא/י את המהירות ביציאה.
ב. מצא את שטח החתך ביציאה.

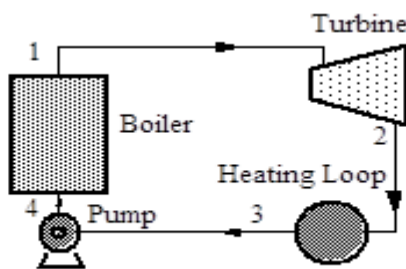
3. אוויר (גז אידיאלי, $k=1.4$; $M=29 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$) בלחץ של 10bars ($1\text{bar} = 10^5 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$) נכנס לטורבינה אדיאבטית בקצב של $1.2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ ובמהירות של $9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. שטח חתך הכניסה לטורבינה הוא 300cm^2 . האוויר יוצא מהטורבינה בלחץ של 1bar , בטמפרטורה של 30°C ובמהירות של $35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

א. חשבי את הספק הטורבינה.
ב. חשבי את שטח חתך היציאה מהטורבינה.



4. 1 kg של מים הוכנסו מצינור מים (מסומן כ- Main1) בלחץ של 20 MPa וטמפרטורה של 300°C לתוך מיכל ריק שנפחו 60 L .

- א. במקביל, קיטור בלחץ של 7 MPa וטמפרטורה של 850°C הוכנסו מצינור אחר (מסומן כ-Main2) לאותו מיכל. במצב הסופי המיכל הכיל אדים רוויים בלחץ של 7 MPa .
 מצא/י את מסת הקיטור שנכנסה למיכל מהצינור השני.
 ב. חשבי את סך החום שהועבר למים במיכל (או הועבר מהמים במיכל).

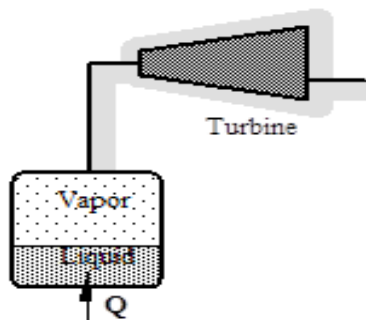


5. למפעל תעשייתי דרוש חום בקצב של 11.5 MW . החום מסופק בשלב העיבוי במחזור רנקין המוצג בתרשים. לולאת החימום (heating loop) היא המעבה.

- א. מצא את קצב זרימה המסה במחזור.
 ב. חשבי את הספק הטורבינה.

6. קיטור יוצא מדוד חימום בלחץ של 17.5 MPa וטמפרטורה של 500°C ומתפשט איזנטרופית בטורבינת לחץ גבוה ללחץ של 3 MPa . הקיטור מחומם שנית בלחץ קבוע לטמפרטורה של 500°C ומתפשט איזנטרופית בטורבינת לחץ נמוך ללחץ של 75 kPa . לאחר היציאה מהטורבינה השנייה, הקיטור מעובה לנוזל רווי בלחץ של 75 kPa ואז נדחס איזנטרופית ללחץ של 17.5 MPa על מנת לבצע שוב את המחזור.

- א. מהו החום שהוכנס למחזור?
 ב. מהו החום שיצא מהמחזור?
 ג. מהי יעילות המחזור?



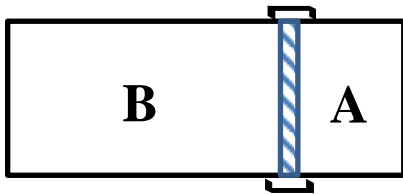
7. מיכל בנפח קבוע של 0.6 m^3 מכיל נפחים שווים של מים נוזלים ואדי מים בלחץ של 100 kPa (מצב 1). מחממים את המיכל בנפח קבוע עד שהלחץ מגיע ל- 8 MPa (מצב 2). ממשיכים בחימום. הלחץ נשמר על ערך של 8 MPa וקיטור מועבר לטורבינה אדיאבטית (ראה שרטוט). התהליך מסתיים כאשר כל הנוזלים במיכל התאדו (מצב 3).

- א. מצא/י את המסה הכללית ההתחלתית במיכל.
- ב. חשבו/י את שבר מסת האדים במצב ההתחלתי.
- ג. מצא/י את טמפרטורת המים במיכל כאשר מגיעים למצב 2.
- ד. מצא/י את מסת האדים שיצאה מהמיכל במהלך התהליך.
- ה. מצא/י את אינטראקציית החום בתהליך.
- ו. מצא/י את העבודה הכללית של הטורבינה, אם נתון כי הקיטור יוצא מהטורבינה בלחץ של 100kPa ו- $x=0.8$.

8. כלי מחולק לשני חלקים על ידי בוכנה חסרת חיכוך ומוליכת חום המוחזקת באמצעות מעצורים. הכלי מצוי באמבט חום בטמפרטורה של 40°C . צידו הימני של הכלי (המסומן ב-A) הוא בנפח 15 ליטר ומכיל אוויר בלחץ של P. צידו השמאלי של הכלי (המסומן ב-B) הוא בנפח 300 ליטר ומכיל אדי מים רוויים. עבור האוויר נניח גז אידיאלי דואטומי:

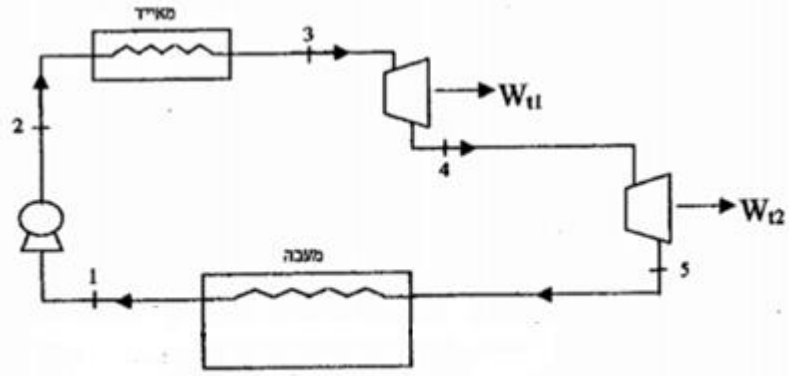
$$M = 29 \frac{\text{g}}{\text{mol}} ; c_v = \frac{5}{2} R ; c_p = \frac{7}{2} R$$

משחררים את המעצורים ונותנים למערכת להגיע למצב שווי משקל. עבור המקרה בו הלחץ ההתחלתי של האוויר הוא $P=100\text{kPa}$:



- א. מהי העבודה הכללית בתהליך? פרט/י
- ב. חשבו/י את החום בתהליך זה. פרט/י חישוביך.
- ג. חשבו/י את שינוי האנטרופיה הכללית בתהליך זה. פרט/י חישוביך.
- ד. עבור המקרה בו הלחץ ההתחלתי של האוויר הוא P: מה צריך להיות ערכו של P כך שבמצב הסופי של המים נקבל מים נוזלים רוויים? פרט/י.

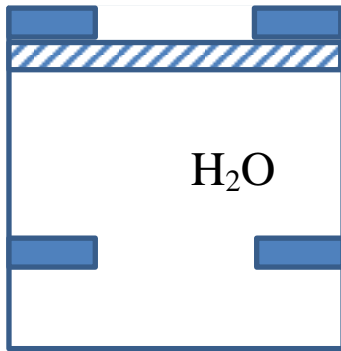
9. נתונה תחנת הכוח הבאה :



- קיטור יוצא מהמאייד (נקודה 3) כאד רווי בלחץ של 4MPa.
- הקיטור נכנס לטורבינה איזותרמית והפיכה (t1) ומתפשט עד ללחץ של 1MPa.
- לאחר מכן הקיטור נכנס לטורבינה אדיאבטית (t2) עם יעילות איזנטרופית של 0.8.
- הקיטור יוצא מהטורבינה האדיאבטית (נקודה 5) בלחץ המעבה שהוא 15kPa.
- ביציאה מהמעבה מתקבל נוזל רווי.
- הנוזל נכנס למשאבה אדיאבטית עם יעילות איזנטרופית של 0.85.

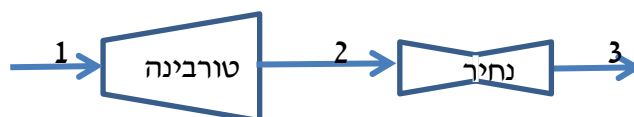
- א. שרטטי את המחזור במישור T-S.
- ב. מהי עבודת המשאבה? מהי עבודת הטורבינות? פרטי
- ג. מהי ניצולת המחזור? פרטי
- ד. הספק החום שנכנס למאייד הוא 2500kW. מהי הספיקה המסית במחזור? פרטי

10. נתון כלי המכיל H_2O . לכלי בוכנה ניידת. בכלי הותקנו שני מעצורים: מעצור עליון ומעצור תחתון (ראה שרטוט). כאשר הבוכנה נוגעת במעצור העליון, נפח הכלי מתחתיה הוא $3m^3$. כאשר הבוכנה נוגעת במעצור התחתון, נפח הכלי מתחתיה הוא $1m^3$. הבוכנה מפעילה לחץ קבוע של $500kPa$. במצב ההתחלתי הבוכנה נוגעת במעצור העליון, המים בכלי בלחץ של $1MPa$ ובטמפרטורה של $500^{\circ}C$. מקררים את המים והבוכנה נעה למטה. התהליך מסתיים כאשר טמפרטורת המים היא $100^{\circ}C$. טמפרטורת הסביבה היא $25^{\circ}C$.



- א. מהו מצב המים בסיום התהליך? יש לציין את ערך של T, P, v, u, h, s . פרטי/חישוביך.
- ב. חשבי כמה עבודה בוצעה בתהליך. פרטי/חישוביך.
- ג. חשבי את מעבר החום בתהליך. פרטי/חישוביך.
- ד. חשבי את שינוי האנטרופיה הכללי. פרטי/חישוביך.

11. בשאלה זו עליך לנתח חלק מפעולת מנוע סילון המותקן במטוס הטס בגובה בו הלחץ האטמוספרי הוא 80kPa. המנוע מורכב מטורבינה אדיאבטית הפיכה ונחיר אדיאבטי הפיך.

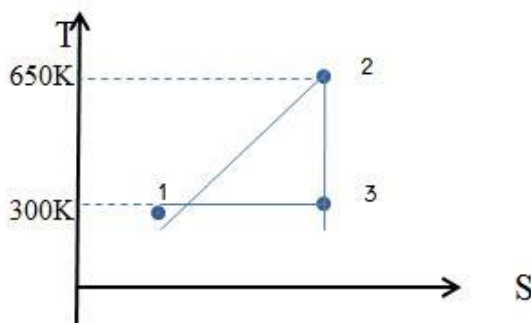


אוויר נכנס לטורבינה בטמפרטורה של 1200°C ולחץ של 800kPa. לאחר ההתפשטות בטורבינה האוויר נכנס לנחיר ונפלט ממנו לאטמוספירה בלחץ האטמוספרי ובמהירות של $800 \frac{m}{s}$. מהירות האוויר בכניסה לנחיר זניחה.

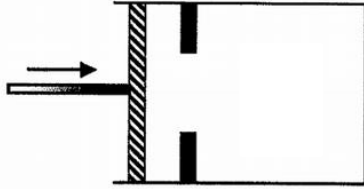
הנחי/עבור אוויר גז אידיאלי דו-אטומי כאשר:

$$M = 29 \frac{g}{mol} ; c_v = \frac{5}{2}R ; c_p = \frac{7}{2}R$$

- שרטט/י את התהליך במישור T-s. הבהר/י שרטוטך.
 - חשב/י את טמפרטורת האוויר ביציאה מהנחיר. פרט/י חישוביך.
 - חשב/י את הטמפרטורה והלחץ ביציאה מהטורבינה. פרט/י חישוביך.
 - חשב/י כמה עבודה סגולית מפיקה הטורבינה. פרט/י חישוביך.
12. מול אחד גז אידיאלי מונו-אטומי עובר את התהליך המחזורי הבא המוצג במישור T-S (כל התהליכים הפיכים):



- קבלי/י ביטוי לחום בכל אחד מהשלבים במחזור. הפרמטר היחיד שניתן להשתמש בו הוא הנפח בנקודות השונות (כלומר V_1, V_2, V_3). רמז: ניתן להסיק את גודל החום מתוך הגרף. פרט/י תשובתך.
- קבלי/י ביטוי לעבודה נטו במחזור אחד. הפרמטר היחיד שניתן להשתמש בו הוא הנפח בנקודות השונות (כלומר V_1, V_2, V_3). פרט/י תשובתך.
- מהי יעילות מכונת חום זו? פרט/י תשובתך.
- השווה יעילות מחזור זה למחזור קרנו העובד בין אותן טמפרטורות: למי משני המחזורים עבודה נטו גדולה יותר? למי משני המחזור Q_{in} גדול יותר? למי משני המחזורים יעילות גדולה יותר? פרט/י תשובתך.



13. מול אחד של גז אידיאלי כלשהו בלחץ של 1atm ובטמפרטורה של 300K כלוא בכלי בעל בוכנה ניידת. זהו מצב A.

בשלב הראשון הגז עובר תהליך דחיסה אדיאבטית הפיכה עד המעצורים. בסוף שלב זה טמפרטורת הגז היא 411K והלחץ 3atm. זהו מצב B.

- מצא/י את ערכו של k עבור גז אידיאלי זה. פרטי חישוביך.
- מהו קיבול החום בנפח קבוע ומהו קיבול החום בלחץ קבוע עבור גז אידיאלי זה? פרטי חישוביך.

בשלב השני הכלי מצוי בסביבה שהטמפרטורה שלה היא 300K ועובר תהליך של קירור עד טמפרטורת הסביבה – 300K. זהו מצב C.

ג. מהו החום בשלב השני? פרטי חישוביך.

בשלב האחרון המערכת עוברת תהליך הפיך חזרה נקודת ההתחלה.

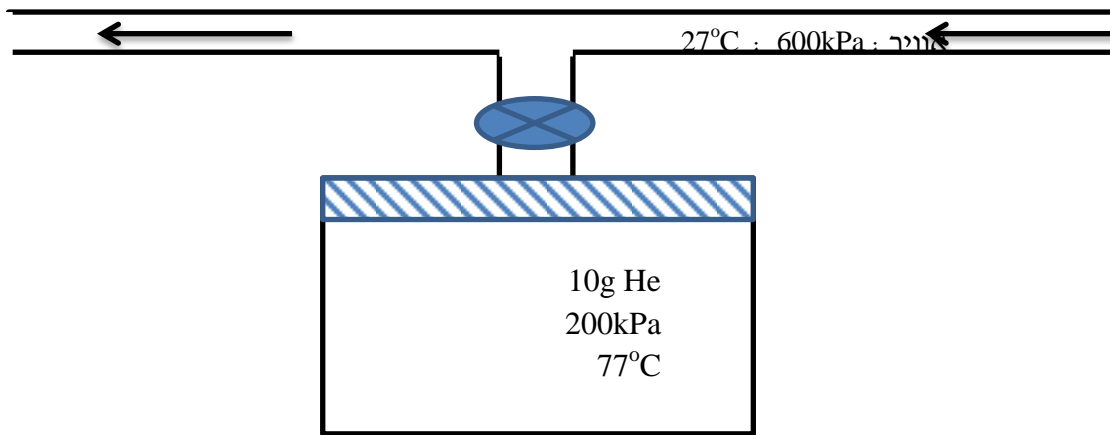
- מהו התהליך ההפיך שהמערכת עוברת בשלב האחרון? הסבר/י בקצרה.
- שרטט/י את כל התהליכים שהתרחשו במישור P-V. הבהר/י שרטוטך.
- חשב את העבודה נטו שנעשתה בתהליך. פרטי חישוביך.
- חשב/י את שינוי האנטרופיה של המערכת בכל אחד משלבי התהליך. פרטי חישוביך.
- שרטט/י את כל התהליכים שהתרחשו במישור T-S. הבהר/י שרטוטך.
- חשב/י את השינוי באנטרופיה של הסביבה בכל אחד משלבי התהליך. הראה כי מתקיים החוק השני של התרמודינמיקה. פרטי תשובתך.
- לכמה מאגרי חום סך הכל מצומדת מערכת זו? פרטי תשובתך.
- אם נבצע את אותם תהליכים אבל בכיוון ההפוך $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$, לכמה מאגרי חום סך הכל תהיה מצומדת המערכת? פרטי תשובתך.
- באיזה משני הכיוונים: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ או $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ נקבל מכונת חום? חשב/י את יעילות מכונת החום המתאימה. הבהר/י תשובתך.

14. כלי מחולק על ידי בוכנה חסרת חיכוך לשני חלקים (ראה שרטוט). בתחילה מכיל הכלי 10g גז He בלחץ של 200kPa וטמפרטורה של 77°C. אוויר המגיע מקו הנמצא בלחץ של 600kPa וטמפרטורה של 27°C מוכנס בצורה הפיכה לכלי דרך ברז. התהליך מסתיים כשהלחץ במיכל משתווה ללחץ בקו והברז נסגר. כל חלקי המערכת מבודדים (הכלי, הקו, הברז, הצינורות והבוכנה).

נתון: $M(air) = 29 \frac{g}{mol}$; $M(He) = 4 \frac{g}{mol}$. ניתן להניח עבור הליום גז אידיאלי

מונואטומי (כלומר $c_{V,He} = \frac{3}{2} R_{He}$) ועבור האוויר גז אידיאלי דו-אטומי (כלומר

$$c_{V,air} = \frac{5}{2} R_{air})$$



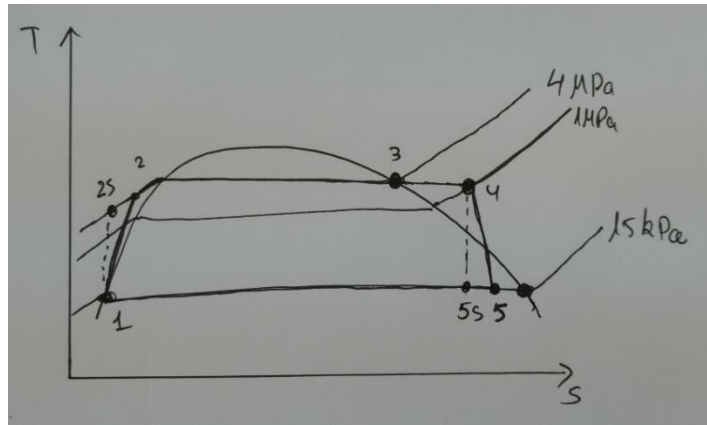
- א. מהי הטמפרטורה הסופית של ההליום? פרטי חישוביך.
 ב. עבור האוויר שנכנס לכלי:
 i. מהי הטמפרטורה הסופית של האוויר בכלי? פרטי חישוביך.
 ii. מהי מסת האוויר שנכנסה לכלי? פרטי חישוביך.
 רמז: יש לפתור שתי משוואות בשני נעלמים.
 ג. מה גודל העבודה שנעשתה על ההליום? פרטי חישוביך

15. קיטור נכנס לטורבינה אדיאבטית בלחץ של 10MPa וטמפרטורה של 700°C ויוצא בלחץ של 0.8MPa.

- א. בהנחה שהטורבינה איזנטרופית, חשבי את עבודת הטורבינה. פרטי חישוביך.
- ב. בהנחה שהיעילות האיזנטרופית של הטורבינה היא 0.88, חשבי את עבודת הטורבינה. פרטי חישוביך.
- ג. מהי טמפרטורת הקיטור היוצא מהטורבינה במקרה (א) ובמקרה (ב)? פרטי חישוביך. שרטטי גרף של T-s עליו מוצגים שני המקרים. פרטי חישוביך.
- ד. מקטינים את הלחץ ביציאה ל-0.3MPa. מה תהיה ההשפעה על העבודה בהנחה שהטורבינה איזנטרופית? פרטי תשובתך.

תשובות סופיות

1. א. 143.63°C
ב. 0.0518
ג. 250.40°C
ד. 0.489
ה. $2.24 \times 10^4 \text{kJ}$
ו. 10.044kg
ז. $1.75 \times 10^4 \text{kJ}$
2. א. $1076.54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
ב. $4.533 \times 10^{-3} \text{m}^2$
3. א. 580737W
ב. 298cm^2
4. א. 1.19kg
ב. -739.5kJ
5. א. 4.81kg/s
ב. $3.703 \times 10^6 \text{W}$
6. א. 3497.6kJ/kg
ב. -2197.4kJ/kg
ג. 0.372
7. א. 287.81kg
ב. 6.15×10^{-4}
ג. 295.06°C
ד. 262.3kg
ה. $6.68 \times 10^5 \text{kJ}$
ו. $1.40 \times 10^5 \text{kJ}$
8. א. 0
ב. $Q = -20.96 \text{kJ}$
ג. $\Delta S_{\text{total}} = 8.48 \frac{\text{J}}{\text{K}}$
ד. 155.06kPa



ב. עבודת המשאבה האדיאבטית: $-4.7 \frac{kJ}{kg}$

עבודת הטורבינה האדיאבטית: $698.14 \frac{kJ}{kg}$

עבודת הטורבינה האיזותרמית ההפיכה: $306.1 \frac{kJ}{kg}$

ג. 0.33

ד. $0.97 \frac{kg}{s}$

.א .10

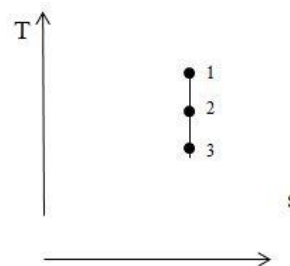
P (kPa)	T (°C)	v (m^3/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/Kkg)
101.325	100	0.118033	565.0213	577.04	1.730113

ב. $-1000 kJ$

ג. $Q = -22683.5 kJ$

ד. $24.98 \frac{kJ}{K}$

.א .11



ב. 762.9K

ג. 271.5kPa , 1081.8K

ד. $391.5 \frac{kJ}{kg}$

$$Q_{3 \rightarrow 1} = 300R \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) < 0, \quad Q_{1 \rightarrow 2} = -475R \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) \quad Q_{2 \rightarrow 3} = 0 \quad .12$$

$$w_{net} = -175R \ln\left(\frac{V_1}{V_3}\right) \quad .ב.$$

ג. 0.368

ד. יעילות מחזור קרנו 0.538

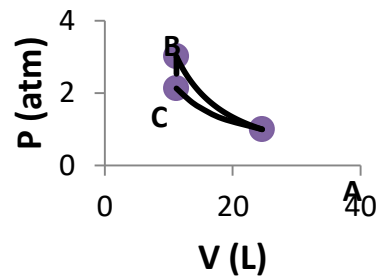
$$k = 1.4 \quad .13$$

$$C_V = 2.5n\bar{R}; \quad C_P = 3.5n\bar{R} \quad .ב.$$

ג. $-2307.14J$

ד. תהליך איזותרמי הפיך

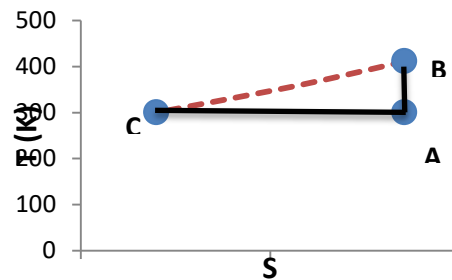
ה.



ו. $-351.3J$

$$\Delta S_{sys,A \rightarrow B} = 0; \quad \Delta S_{sys,B \rightarrow C} = -6.54 \frac{J}{K}; \quad \Delta S_{sys,C \rightarrow A} = 6.54 \frac{J}{K} \quad .ז.$$

ח.



$$\Delta S_{b,A \rightarrow B} = 0; \quad \Delta S_{b,B \rightarrow C} = 7.69 \frac{J}{K}; \quad \Delta S_{b,C \rightarrow A} = -6.54 \frac{J}{K} \quad .ט.$$

י. מאגר חום אחד בטמפרטורה של $300K$.

יא. בכיוון ההפוך המערכת מצומדת לשני מאגרי חום.

יב. נקבל מכונת חום בכיוון ההפוך, כלומר בתהליך $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$. $\eta = 0.15$

14. א. $541.15K$

ב. $T_{air} = 344.05K$; $m_{air} = 0.1068kg$

ג. $6.0219kJ$

15. א. $849.11 \frac{kJ}{kg}$

ב. $747.2 \frac{kJ}{kg}$

ג. $T_1 = 283.5^\circ C$; $T_2 = 331.74^\circ C$

ד. העבודה גדלה

נספחים

פרק 4- חומרים טהורים - טבלאות נתונים תרמודינמיים

THERMODYNAMIC PROPERTIES

Table A.1.1 Saturated steam – by temperature.

Table A.1.2 Saturated steam – by pressure.

Table A.1.3 Superheated steam.

Table A.1.4 Compressed liquid water.

Table A.1.5 Ice–vapor saturation (sublimation).

Table A.2.1 Saturated ammonia – by temperature.

Table A.2.2 Saturated ammonia – by pressure.

Table A.2.3 Superheated ammonia.

Table A.3.1 Saturated Refrigerant 12 (Freon–12) – by temperature.

Table A.3.2 Saturated Refrigerant 12 (Freon–12) – by pressure.

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 12 (Freon-12).

Table A.3.1 Saturated Refrigerant 134a (Freon–134a) – by temperature.

Table A.3.2 Saturated Refrigerant 134a (Freon–134a) – by pressure.

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 134a (Freon-134a).

Table A.1.1 Saturated steam – by temperature.

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986)

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
0.01	0.6113	0.001000	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.00	2501.3	2501.3	0.0000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.97	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.00	2477.8	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2466.0	2529.0	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.95	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.88	2442.3	2547.2	0.3674	8.1906	8.5580
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.78	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.7	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001008	19.52	167.56	2262.5	2430.1	167.57	2406.7	2574.2	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.7	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.758	0.001015	9.5680	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.6	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.94	0.001017	7.6710	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.4	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001020	6.1970	272.02	2191.1	2463.1	272.05	2346.2	2618.2	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001023	5.0420	292.95	2176.7	2469.6	292.98	2333.9	2626.9	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.1310	313.90	2162.0	2475.9	313.94	2321.3	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.4070	334.86	2147.3	2482.2	334.91	2308.7	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.8280	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.3610	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.001040	1.9820	397.88	2102.7	2500.6	397.97	2270.2	2668.2	1.2500	6.1659	7.4159
100	101.325	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.05	2257.0	2676.0	1.3069	6.0480	7.3549

Table A.1.1 Saturated steam – by temperature (cont.)

T	p	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
°C	MPa	m ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK	kJ/kgK
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.4	2512.4	440.15	2243.7	2683.9	1.3630	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.29	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0396	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2217.0	2699.5	1.4734	5.7099	7.1833
120	0.19853	0.001060	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.7	2706.4	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.5	2727.2	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.7	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.8	2559.5	632.20	2114.2	2746.4	1.8418	4.9961	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.9	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1875.9	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.2	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2014.9	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.5	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.7	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001157	0.12736	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.7230	0.001164	0.11521	873.04	1724.5	2597.5	875.05	1921.0	2796.0	2.3780	4.0172	6.3952
210	1.9062	0.001173	0.10441	895.53	1704.0	2599.5	897.77	1900.8	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585
215	2.1040	0.001181	0.09479	918.14	1683.0	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.318	0.001190	0.08619	940.87	1661.5	2602.4	943.63	1858.6	2802.2	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.548	0.001199	0.07849	963.73	1639.6	2603.3	966.79	1836.5	2803.3	2.5639	3.6864	6.2503
230	2.795	0.001209	0.07158	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	3.6047	6.2146

Table A.1.1 Saturated steam – by temperature (cont.)

T °C	p MPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
235	3.060	0.001219	0.06537	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.1	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.344	0.001229	0.05976	1033.21	1570.8	2604.0	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.648	0.001240	0.05471	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803.0	2.7472	3.3611	6.1083
250	3.973	0.001251	0.05013	1080.39	1522.0	2602.4	1085.36	1716.2	2801.6	2.7927	3.2803	6.0730
255	4.319	0.001263	0.04598	1104.28	1496.6	2600.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.688	0.001276	0.04221	1128.39	1470.6	2599.0	1134.37	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.081	0.001289	0.03877	1152.74	1443.9	2596.6	1159.29	1634.3	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.499	0.001302	0.03564	1177.36	1416.3	2593.7	1184.52	1605.2	2789.7	2.9751	2.9550	5.9301
275	5.942	0.001317	0.03279	1202.25	1388.0	2590.2	1210.08	1575.0	2785.0	3.0208	2.8730	5.8938
280	6.412	0.001332	0.03017	1227.46	1358.6	2586.1	1236.00	1543.5	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001348	0.02777	1253.00	1328.4	2581.4	1262.31	1510.9	2773.3	3.1130	2.7069	5.8199
290	7.436	0.001366	0.02557	1278.92	1297.1	2576.0	1289.08	1477.1	2766.1	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001384	0.02354	1305.20	1264.7	2569.9	1316.26	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001404	0.02167	1332.00	1231.0	2563.0	1344.05	1404.9	2749.0	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001425	0.019948	1359.30	1195.9	2555.2	1372.41	1366.3	2738.8	3.3010	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001447	0.018350	1387.10	1159.3	2546.4	1401.36	1325.9	2727.3	3.3493	2.2737	5.6230
315	10.547	0.001472	0.016867	1415.50	1121.1	2536.6	1431.03	1283.5	2714.5	3.3982	2.1822	5.5804
320	11.274	0.001499	0.015488	1444.60	1080.9	2525.5	1461.50	1238.6	2700.1	3.4480	2.0882	5.5362
330	12.845	0.001561	0.012996	1505.30	993.6	2498.9	1525.35	1140.5	2665.8	3.5507	1.8910	5.4417
340	14.586	0.001638	0.010797	1570.30	894.3	2464.6	1594.19	1027.9	2622.1	3.6594	1.6763	5.3357
350	16.513	0.001740	0.008813	1641.90	776.5	2418.4	1670.63	893.3	2563.9	3.7777	1.4335	5.2112
360	18.651	0.001893	0.006945	1725.20	626.3	2351.5	1760.51	720.5	2481.0	3.9147	1.1379	5.0526
370	21.030	0.002213	0.004925	1844.00	384.5	2228.5	1890.54	441.5	2332.1	4.1106	0.6865	4.7971
374.14	22.090	0.003155	0.003155	2029.60	0.0	2029.6	2099.29	0.0	2099.3	4.4298	0.0000	4.4298

Table A.1.2 Saturated steam – by pressure.

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986)

p kPa	T °C	v_f v_g m ³ /kg	u_f u_{fg} u_g kJ/kg	h_f h_{fg} h_g kJ/kg	s_f s_{fg} s_g kJ/kg K
0.6113	0.01	0.001000 206.14	0.00 2375.3 2375.3	0.00 2501.3 2501.3	0.0000 9.1562 9.1562
1.0	6.98	0.001000 129.21	29.30 2355.7 2385.0	29.30 2484.9 2514.2	0.1059 8.8697 8.9756
1.5	13.03	0.001001 87.98	54.71 2338.6 2393.3	54.71 2470.6 2525.3	0.1957 8.6322 8.8279
2.0	17.50	0.001001 67.00	73.48 2325.8 2399.3	73.48 2459.8 2533.3	0.2607 8.4630 8.7237
2.5	21.08	0.001002 54.25	88.48 2315.9 2404.4	88.48 2451.5 2540.0	0.3120 8.3312 8.6432
3.0	24.08	0.001003 45.67	101.04 2307.5 2408.5	101.04 2444.5 2545.5	0.3545 8.2231 8.5776
4.0	28.96	0.001004 34.80	121.45 2293.8 2415.2	121.45 2432.9 2554.4	0.4226 8.0520 8.4746
5.0	32.88	0.001005 28.19	137.81 2282.7 2420.5	137.82 2423.6 2561.5	0.4764 7.9187 8.3951
7.5	40.29	0.001008 19.24	168.78 2261.7 2430.5	168.79 2406.0 2574.8	0.5764 7.6751 8.2515
10	45.81	0.001010 14.67	191.82 2246.1 2437.9	191.83 2392.8 2584.6	0.6493 7.5009 8.1502
15	53.97	0.001014 10.02	225.92 2222.8 2448.7	225.94 2373.1 2599.0	0.7549 7.2536 8.0085
20	60.06	0.001017 7.6490	251.38 2205.3 2456.7	251.40 2358.3 2609.7	0.8320 7.0765 7.9085
25	64.97	0.001020 6.2040	271.90 2191.2 2463.1	271.93 2346.3 2618.2	0.8931 6.9383 7.8314
30	69.10	0.001022 5.2290	289.20 2179.2 2468.4	289.23 2336.0 2625.3	0.9439 6.8247 7.7686
40	75.87	0.001027 3.9930	317.53 2159.5 2477.0	317.57 2319.1 2636.7	1.0259 6.6441 7.6700
50	81.33	0.001030 3.2400	340.44 2143.5 2483.9	340.49 2305.4 2645.9	1.0910 6.5029 7.5939
75	91.78	0.001037 2.2170	384.31 2112.4 2496.7	384.39 2278.6 2663.0	1.2130 6.2434 7.4564
100	99.63	0.001043 1.6940	417.36 2088.7 2506.1	417.46 2258.0 2675.5	1.3026 6.0568 7.3594
125	105.99	0.001048 1.3749	444.19 2069.3 2513.5	444.32 2241.0 2685.4	1.3740 5.9104 7.2844
150	111.37	0.001053 1.1593	466.94 2052.8 2519.7	467.10 2226.5 2693.6	1.4336 5.7897 7.2233
175	116.06	0.001057 1.0036	486.80 2038.1 2524.9	486.98 2213.5 2700.5	1.4839 5.6878 7.1717
200	120.23	0.001061 0.8857	504.49 2025.0 2529.5	504.70 2201.9 2706.6	1.5301 5.5970 7.1271
225	124.00	0.001064 0.7933	520.47 2013.1 2533.6	520.71 2191.4 2712.1	1.5706 5.5172 7.0878

Table A.1.2 Saturated steam – by pressure (cont.)

p MPa	T °C	v_f v_g m ³ /kg	u_f u_{fg} u_g kJ/kg	h_f h_{fg} h_g kJ/kg	s_f s_{fg} s_g kJ/kg K
0.250	127.44	0.001067 0.7187	535.10 2002.1 2537.2	535.37 2181.5 2716.9	1.6072 5.4455 7.0527
0.275	130.60	0.001070 0.6573	548.59 1991.9 2540.5	548.88 2172.4 2721.3	1.6408 5.3801 7.0209
0.300	133.55	0.001073 0.6058	561.15 1982.5 2543.6	561.47 2163.9 2725.3	1.6718 5.3201 6.9919
0.325	136.30	0.001076 0.5620	572.90 1973.5 2546.4	573.25 2155.8 2729.1	1.7006 5.2646 6.9652
0.350	138.88	0.001079 0.5243	583.95 1965.0 2548.9	584.33 2148.1 2732.4	1.7275 5.2130 6.9405
0.375	141.32	0.001081 0.4914	594.40 1956.9 2551.3	594.81 2140.8 2735.6	1.7528 5.1647 6.9175
0.400	143.63	0.001084 0.4625	604.31 1949.3 2553.6	604.74 2133.9 2738.6	1.7766 5.1193 6.8959
0.450	147.93	0.001088 0.4140	622.77 1934.8 2557.6	623.26 2120.6 2743.9	1.8207 5.0358 6.8565
0.500	151.86	0.001093 0.3749	639.68 1921.5 2561.2	640.23 2108.4 2748.7	1.8607 4.9606 6.8213
0.550	155.48	0.001097 0.3427	655.32 1909.2 2564.5	655.92 2097.1 2753.0	1.8973 4.8920 6.7893
0.600	158.85	0.001101 0.3157	669.90 1897.5 2567.4	670.56 2086.3 2756.8	1.9312 4.8288 6.7600
0.650	162.01	0.001104 0.2927	683.56 1886.5 2570.1	684.28 2076.1 2760.4	1.9627 4.7704 6.7331
0.700	164.97	0.001108 0.2729	696.44 1876.1 2572.5	697.22 2066.3 2763.5	1.9922 4.7158 6.7080
0.750	167.78	0.001112 0.2556	708.64 1866.1 2574.7	709.47 2056.9 2766.4	2.0200 4.6647 6.6847
0.800	170.43	0.001115 0.2404	720.22 1856.6 2576.8	721.11 2048.0 2769.1	2.0462 4.6166 6.6628
0.850	172.96	0.001118 0.2270	731.27 1847.4 2578.7	732.22 2039.4 2771.7	2.0710 4.5711 6.6421
0.900	175.38	0.001121 0.2150	741.83 1838.7 2580.5	742.84 2031.2 2774.0	2.0946 4.5280 6.6226
0.950	177.69	0.001124 0.2042	751.95 1830.2 2582.1	753.02 2023.1 2776.1	2.1172 4.4869 6.6041
1.000	179.91	0.001127 0.19444	761.09 1822.5 2583.6	762.22 2015.8 2778.0	2.1387 4.4478 6.5865
1.100	184.09	0.001133 0.17753	780.09 1806.3 2586.4	781.34 2000.3 2781.7	2.1792 4.3744 6.5536
1.200	187.99	0.001139 0.16333	797.29 1791.5 2588.8	798.66 1986.1 2784.8	2.2166 4.3067 6.5233
1.300	191.07	0.001144 0.15125	813.44 1777.6 2591.0	814.93 1972.7 2787.6	2.2515 4.2438 6.4953
1.400	195.07	0.001149 0.14084	828.70 1764.1 2592.8	830.31 1959.7 2790.0	2.2842 4.1851 6.4693
1.500	198.32	0.001154 0.13177	743.16 1851.3 2594.5	744.89 2047.3 2792.2	2.3150 4.1298 6.4448
1.750	205.76	0.001166 0.11349	876.46 1721.3 2597.8	878.50 1917.9 2796.4	2.3851 4.0045 6.3896
2.000	212.42	0.001177 0.09963	906.44 1693.9 2600.3	908.79 1890.8 2799.6	2.4474 3.8935 6.3409

Table A.1.2 Saturated steam – by pressure (cont.)

<i>p</i> MPa	<i>T</i> °C	<i>v_f</i> m ³ /kg	<i>v_g</i>	<i>u_f</i>	<i>u_{fg}</i> kJ/kg	<i>u_g</i>	<i>h_f</i>	<i>h_{fg}</i> kJ/kg	<i>h_g</i>	<i>s_f</i>	<i>s_{fg}</i> kJ/kg K	<i>s_g</i>
2.25	218.45	0.001187	0.088750	933.83	1668.2	2602.0	936.50	1865.2	2801.7	2.5035	3.7937	6.2972
2.50	223.99	0.001197	0.079980	959.11	1644.0	2603.1	962.10	1840.9	2803.1	2.5547	3.7028	6.2575
3.00	233.90	0.001217	0.066680	1004.78	1599.3	2604.1	1008.43	1795.7	2804.1	2.6457	3.5412	6.1869
3.50	242.60	0.001235	0.057070	1045.43	1558.3	2603.7	1049.75	1753.7	2803.4	2.7253	3.4000	6.1253
4.00	250.40	0.001252	0.049780	1082.31	1520.0	2602.3	1087.32	1714.1	2801.4	2.7964	3.2737	6.0701
5.00	263.99	0.001286	0.039440	1147.81	1449.3	2597.1	1154.24	1640.1	2794.3	2.9202	3.0532	5.9734
6.00	275.64	0.001319	0.032440	1205.44	1384.3	2589.7	1213.35	1571.0	2784.3	3.0267	2.8625	5.8892
7.00	285.88	0.001351	0.027370	1257.55	1323.0	2580.5	1267.01	1505.1	2772.1	3.1211	2.6922	5.8133
8.00	295.06	0.001384	0.023520	1305.57	1264.2	2569.8	1316.64	1441.3	2758.0	3.2068	2.5364	5.7432
9.00	303.40	0.001418	0.020480	1350.51	1207.3	2557.8	1363.27	1378.8	2742.1	3.2858	2.3914	5.6772
10.00	311.06	0.001452	0.018026	1393.04	1151.4	2544.4	1407.56	1317.1	2724.7	3.3596	2.2545	5.6141
11.00	318.15	0.001489	0.015987	1433.70	1096.1	2529.8	1450.08	1255.6	2705.7	3.4295	2.1232	5.5527
12.00	324.75	0.001527	0.014263	1473.00	1040.7	2513.7	1491.32	1193.5	2684.9	3.4962	1.9962	5.4924
13.00	330.93	0.001567	0.012780	1511.10	985.0	2496.1	1531.47	1130.8	2662.2	3.5606	1.8717	5.4323
14.00	336.75	0.001611	0.011485	1548.60	928.2	2476.8	1571.15	1066.4	2637.6	3.6232	1.7485	5.3717
15.00	342.24	0.001658	0.010337	1585.60	869.9	2455.5	1610.47	1000.1	2610.6	3.6848	1.6250	5.3098
16.00	347.44	0.001711	0.009306	1622.70	809.0	2431.7	1650.08	930.5	2580.6	3.7461	1.4994	5.2455
17.00	352.37	0.001770	0.008364	1660.20	744.8	2405.0	1690.29	856.9	2547.2	3.8079	1.3698	5.1777
18.00	357.06	0.001840	0.007489	1698.90	675.4	2374.3	1732.02	777.1	2509.1	3.8715	1.2329	5.1044
19.00	361.54	0.001924	0.006657	1739.90	598.2	2338.1	1776.46	688.1	2464.6	3.9388	1.0840	5.0228
20.00	365.81	0.002036	0.005834	1785.60	507.4	2293.0	1826.32	583.4	2409.7	4.0139	0.9130	4.9269
21.00	369.89	0.002207	0.004952	1842.10	388.5	2230.6	1888.45	446.1	2334.6	4.1075	0.6938	4.8013
22.00	373.80	0.002742	0.003568	1961.90	125.2	2087.1	2022.22	143.4	2165.6	4.3110	0.2217	4.5327
22.09	374.14	0.003155	0.003155	2029.60	0.0	2029.6	2099.29	0.0	2099.3	4.4298	0.0000	4.4298

Table A.1.3 Superheated steam.

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986)

$p = 0.01$ MPa					$p = 0.05$ MPa					$p = 0.10$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
45.81	14.6740	2437.9	2584.6	8.1502	81.33	3.2400	2483.9	2645.9	7.5939	99.63	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594
100	17.1960	2515.5	2687.5	8.4479	100	3.4180	2511.6	2682.5	7.6947	100	1.6958	2506.7	2676.3	7.3614
150	19.5120	2587.9	2783.0	8.6882	150	3.8890	2585.6	2780.1	7.9401	150	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.8250	2661.3	2879.6	8.9038	200	4.3560	2659.9	2877.7	8.1580	200	2.1720	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.1360	2736.0	2977.4	9.1002	250	4.8200	2735.0	2976.0	8.3556	250	2.4060	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.4450	2812.1	3076.6	9.2813	300	5.2840	2811.3	3075.5	8.5373	300	2.6390	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.0630	2968.9	3279.5	9.6077	400	6.2090	2968.5	3279.0	8.8642	400	3.1030	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.6790	3132.3	3489.1	9.8978	500	7.1340	3132.0	3488.7	9.1546	500	3.5650	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.2950	3302.5	3705.5	10.1608	600	8.0570	3302.2	3705.1	9.4178	600	4.0280	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.9110	3479.6	3928.7	10.4028	700	8.9810	3479.4	3928.5	9.6599	700	4.4900	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.5260	3663.8	4159.1	10.6281	800	9.9040	3663.6	4158.8	9.8852	800	4.9520	3663.5	4158.7	9.5652
900	54.1410	3855.0	4396.4	10.8396	900	10.8280	3854.9	4396.3	10.0967	900	5.4140	3854.8	4396.2	9.7767
1000	58.7570	4053.0	4640.6	11.0393	1000	11.7510	4052.9	4640.5	10.2964	1000	5.8750	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.3720	4257.5	4891.2	11.2287	1100	12.6740	4257.4	4891.1	10.4859	1100	6.3370	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.9870	4467.9	5147.8	11.4091	1200	13.5970	4467.8	5147.7	10.6662	1200	6.7990	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.6020	4683.7	5409.7	11.5811	1300	14.5210	4683.6	5409.7	10.8382	1300	7.2600	4683.5	5409.5	10.5183

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

$p = 0.20$ MPa					$p = 0.30$ MPa					$p = 0.40$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
120.23	0.8857	2529.5	2706.6	7.1272	133.55	0.6058	2543.6	2725.3	6.9919	143.63	0.4625	2553.6	2738.6	6.8959
150	0.9596	2576.9	2768.8	7.2795	150	0.6339	2570.8	2761.0	7.0778	150	0.4708	2564.5	2752.8	6.9299
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	200	0.7163	2650.7	2865.6	7.3115	200	0.5342	2646.8	2860.5	7.1706
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	250	0.7964	2728.7	2967.6	7.5166	250	0.5951	2726.1	2964.1	7.3789
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	300	0.8753	2806.7	3069.3	7.7022	300	0.6548	2804.8	3066.7	7.5662
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	400	1.0315	2965.6	3275.1	8.0330	400	0.7726	2964.4	3273.4	7.8995
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	500	1.1867	3130.0	3486.0	8.3251	500	0.8893	3129.2	3484.9	8.1913
600	2.0130	3301.4	3704.0	8.7770	600	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	600	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558
700	2.2440	3478.8	3927.6	9.0194	700	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	700	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.4750	3663.1	4158.1	9.2449	800	1.6499	3662.9	4157.9	9.0576	800	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244
900	2.7060	3854.5	4395.7	9.4566	900	1.8041	3854.2	4395.4	9.2692	900	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362
1000	2.9370	4052.5	4639.9	9.6563	1000	1.9581	4052.3	4639.7	9.4690	1000	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360
1100	3.1680	4257.0	4890.6	9.8458	1100	2.1121	4256.8	4890.4	9.6585	1100	1.5840	4256.5	4890.1	9.5256
1200	3.3990	4467.3	5147.1	10.0262	1200	2.2661	4467.2	5147.0	9.8389	1200	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060
$p = 0.50$ MPa					$p = 0.60$ MPa					$p = 0.80$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
151.86	0.37490	2561.2	2748.7	6.8213	158.85	0.31570	2567.4	2756.8	6.7600	170.43	0.24040	2576.8	2769.1	6.6628
200	0.42490	2642.9	2855.4	7.0592	200	0.35200	2638.9	2850.1	6.9665	200	0.26080	2630.6	2839.2	6.8158
250	0.47440	2723.5	2960.7	7.2709	250	0.39380	2720.9	2957.2	7.1816	250	0.29310	2715.5	2950.0	7.0384
300	0.52260	2802.9	3064.2	7.4599	300	0.43400	2801.0	3061.4	7.3724	300	0.32410	2797.2	3056.5	7.2328
350	0.57010	2882.6	3167.7	7.6329	350	0.47420	2881.2	3165.7	7.5464	350	0.35440	2878.2	3161.7	7.4089
400	0.61730	2963.2	3271.9	7.7938	400	0.51370	2962.1	3270.3	7.7079	400	0.38430	2959.7	3267.1	7.5716
500	0.71090	3128.4	3483.9	8.0873	500	0.59200	3127.6	3482.8	8.0021	500	0.44330	3126.0	3480.6	7.8673
600	0.80410	3299.6	3701.7	8.3522	600	0.66970	3299.1	3700.9	8.2674	600	0.50180	3297.9	3699.3	8.1333
700	0.89690	3477.5	3926.0	8.5952	700	0.74720	3477.0	3925.3	8.5107	700	0.56010	3476.2	3924.3	8.3770
800	0.98960	3662.1	4156.9	8.8211	800	0.82450	3661.8	4156.5	8.7367	800	0.61810	3661.1	4155.6	8.6033
900	1.08220	3853.6	4394.7	9.0329	900	0.90750	3853.4	4397.9	8.9486	900	0.67610	3852.8	4393.7	8.8153
1000	1.17470	4051.8	4639.2	9.2328	1000	0.97880	4051.5	4638.8	9.1485	1000	0.73400	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.26720	4256.3	4889.9	9.4224	1100	1.05590	4256.1	4889.6	9.3381	1100	0.79190	4255.6	4889.1	9.2050
1200	1.35960	4466.8	5146.6	9.6029	1200	1.13300	4466.5	5146.3	9.5185	1200	0.84970	4466.1	5145.9	9.3855
1300	1.45210	4682.5	5408.6	6.7749	1300	1.21010	4682.3	5408.4	9.6906	1300	0.90760	4681.8	5407.9	9.5575

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

<i>p</i> = 1.00 MPa					<i>p</i> = 1.20 MPa					<i>p</i> = 1.40 MPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
179.91	0.19444	2583.6	2789.6	6.5865	187.99	0.16333	2588.8	2792.0	6.5233	195.07	0.14084	2592.8	2793.0	6.4693
200	0.20600	2621.9	2827.9	6.6940	200	0.16930	2612.8	2816.0	6.5898	200	0.14302	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.23270	2709.9	2942.6	6.9247	250	0.19234	2704.2	2935.0	6.8294	250	0.16350	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.25790	2793.2	3051.1	7.1229	300	0.21380	2789.2	3045.8	7.0317	300	0.18228	2785.2	3040.4	6.9534
350	0.28250	2875.2	3157.7	7.3011	350	0.23450	2872.2	3153.6	7.2121	350	0.20030	2869.2	3149.6	7.1360
400	0.30660	2957.3	3263.9	7.4651	400	0.25480	2954.9	3260.7	7.3774	400	0.21780	2952.5	3257.4	7.3026
500	0.35410	3124.4	3478.5	7.7622	500	0.29460	3122.8	3476.3	7.6759	500	0.25210	3132.1	3485.0	7.6027
600	0.40110	3296.8	3697.9	8.0290	600	0.33390	3295.6	3696.3	7.9435	600	0.28600	3294.4	3694.8	7.8710
700	0.44780	3475.3	3923.1	8.2731	700	0.37290	3474.4	3921.9	8.1881	700	0.31950	3473.6	3920.9	8.1160
800	0.49430	3660.4	4154.7	8.4996	800	0.41180	3659.7	4153.9	8.4148	800	0.35280	3659.0	4152.9	8.3431
900	0.54070	3852.2	4392.9	8.7118	900	0.45050	3851.6	4392.2	8.6272	900	0.38610	3851.1	4391.6	8.5556
1000	0.58710	4050.5	4637.6	8.9119	1000	0.48920	4050.0	4637.0	8.8274	1000	0.41920	4049.5	4636.4	8.7559
1100	0.63350	4255.1	4888.6	9.1017	1100	0.52780	4254.6	4888.0	9.0172	1100	0.45240	4254.1	4887.5	8.9457
1200	0.67980	4465.6	5145.4	9.2822	1200	0.56650	4465.1	5144.9	9.1977	1200	0.48550	4464.7	5144.4	9.1262
1300	0.72610	4681.3	5407.4	9.4543	1300	0.60510	4680.9	5407.0	9.3698	1300	0.51860	4680.4	5406.4	9.2984
<i>p</i> = 1.60 MPa					<i>p</i> = 1.80 MPa					<i>p</i> = 2.00 MPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
201.40	0.12380	2596.0	2794.1	6.4218	207.15	0.11042	2598.4	2797.2	6.3794	212.42	0.09963	2600.3	2799.6	6.3409
250	0.14184	2692.3	2919.2	6.6732	250	0.12497	2686.0	2910.9	6.6066	250	0.11144	2679.6	2902.5	6.5453
300	0.15862	2781.1	3034.9	6.8844	300	0.14021	2776.9	3029.3	6.8226	300	0.12547	2772.6	3023.5	6.7664
350	0.17456	2866.1	3145.4	7.0694	350	0.15457	2863.0	3141.2	7.0100	350	0.13857	2859.8	3136.9	6.9563
400	0.19005	2950.1	3254.2	7.2374	400	0.16847	2947.7	3250.9	7.1794	400	0.15120	2945.2	3247.6	7.1271
500	0.22030	3119.5	3472.0	7.5390	500	0.19550	3117.9	3469.8	7.4825	500	0.17568	3116.2	3467.6	7.4317
600	0.25000	3293.3	3693.3	7.8080	600	0.22200	3292.1	3691.7	7.7523	600	0.19960	3290.9	3690.1	7.7024
700	0.27940	3472.7	3919.7	8.0535	700	0.24820	3471.8	3918.6	7.9983	700	0.22320	3470.9	3917.3	7.9487
800	0.30860	3658.3	4152.1	8.2808	800	0.27420	3657.6	4151.2	8.2258	800	0.24600	3657.0	4149.0	8.1765
900	0.33770	3850.5	4390.8	8.4935	900	0.30010	3849.9	4390.1	8.4386	900	0.27000	3849.3	4389.3	8.3895
1000	0.36680	4049.0	4635.9	8.6938	1000	0.32600	4048.5	4635.3	8.6391	1000	0.29330	4048.0	4634.6	8.5901
1100	0.39580	4253.7	4887.0	8.8837	1100	0.35180	4253.2	4886.4	8.8290	1100	0.31660	4252.7	4885.9	8.7800
1200	0.42480	4464.2	5143.9	9.0643	1200	0.77600	4463.7	5860.5	9.0096	1200	0.33980	4463.3	5142.9	8.9607
1300	0.45380	4679.9	5406.0	9.2364	1300	0.40340	4679.5	5405.6	9.1818	1300	0.36310	4679.0	5405.2	9.1329

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

<i>p</i> = 2.50 MPa					<i>p</i> = 3.00 MPa					<i>p</i> = 3.50 MPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
223.99	0.07998	2603.1	2803.1	6.2675	233.90	0.06668	2604.1	2804.1	6.1869	242.60	0.05707	2603.7	2803.4	6.1253
250	0.08700	2662.6	2880.1	6.4085	250	0.07058	2644.0	2855.7	6.2872	250	0.05872	2623.7	2829.2	6.1749
300	0.09890	2761.6	3008.9	6.6438	300	0.08114	2750.1	2993.5	6.6539	300	0.06842	2738.0	2977.5	6.4461
350	0.10976	2851.9	3126.3	6.8403	350	0.09053	2843.7	3115.3	6.7428	350	0.07678	2835.3	3104.0	6.6579
400	0.12010	2939.1	3239.4	7.0148	400	0.09936	2932.8	3230.9	6.9212	400	0.08453	2926.4	3222.3	6.8405
450	0.13014	3025.5	3350.9	7.1746	450	0.10787	3020.4	3344.0	7.0834	450	0.09196	3015.3	3337.2	7.0052
500	0.13998	3112.1	3462.1	7.3234	500	0.11619	3108.0	3456.6	7.2338	500	0.09918	3103.0	3450.1	7.1572
600	0.15930	3288.0	3686.3	7.5960	600	0.13243	3285.0	3682.3	7.5085	600	0.11324	3282.1	3678.4	7.4339
700	0.17832	3468.7	3914.5	7.8435	700	0.14838	3466.5	3911.6	7.7571	700	0.12699	3464.3	3908.8	7.6837
800	0.19716	3655.3	4148.2	8.0720	800	0.16414	3653.5	4145.9	7.9862	800	0.14056	3651.8	4143.8	7.9134
900	0.21590	3847.9	4387.7	8.2853	900	0.17980	3846.5	4385.9	8.1999	900	0.15402	3845.0	4384.1	8.1276
1000	0.23460	4046.7	4633.2	8.4861	1000	0.19541	4045.4	4631.6	8.4009	1000	0.16743	4044.1	4630.1	8.3288
1100	0.25320	4251.5	4884.5	8.6762	1100	0.21098	4250.3	4883.2	8.5912	1100	0.18080	4249.2	4882.0	8.5192
1200	0.27180	4462.1	5141.6	8.8569	1200	0.22652	4460.9	5140.5	8.7720	1200	0.19415	4459.8	5139.3	8.7000
1300	0.29050	4677.8	5404.1	9.0291	1300	0.24206	4676.5	5402.7	8.9442	1300	0.20749	4675.5	5401.7	8.8723
<i>p</i> = 4.00 MPa					<i>p</i> = 4.50 MPa					<i>p</i> = 5.00 MPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
250.40	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	257.49	0.04406	2600.1	2798.4	6.0198	263.99	0.03944	2597.1	2794.3	5.9734
300	0.05884	2725.3	2960.7	6.3615	300	0.05135	2712.0	2943.1	6.2828	300	0.04532	2698.0	2924.6	6.2084
350	0.06645	2826.7	3092.5	6.5821	350	0.05840	2817.8	3080.6	6.5131	350	0.05194	2808.7	3068.4	6.4493
400	0.07341	2919.9	3213.5	6.7690	400	0.06475	2913.3	3204.7	6.7047	400	0.05781	2906.6	3195.7	6.6459
450	0.08002	3010.2	3330.3	6.9363	450	0.07074	3005.0	3323.3	6.8746	450	0.06330	2999.7	3316.2	6.8186
500	0.08643	3099.5	3445.2	7.0901	500	0.07651	3095.3	3439.6	7.0301	500	0.06857	3091.0	3433.9	6.9759
600	0.09885	3279.1	3674.5	7.3688	600	0.08765	3276.0	3670.4	7.3110	600	0.07869	3273.0	3666.5	7.2589
700	0.11095	3462.1	3905.9	7.6198	700	0.09847	3459.9	3903.0	7.5631	700	0.08849	3457.6	3900.1	7.5122
800	0.12287	3650.0	4141.5	7.8502	800	0.10911	3648.4	4139.4	7.7942	800	0.09811	3646.6	4137.2	7.7440
900	0.13469	3843.6	4382.4	8.0647	900	0.11965	3842.2	4380.6	8.0091	900	0.10762	3840.7	4378.8	7.9593
1000	0.14645	4042.9	4628.7	8.2662	1000	0.13013	4041.6	4627.2	8.2108	1000	0.11707	4040.4	4625.8	8.1612
1100	0.15817	4248.0	4880.7	8.4567	1100	0.14056	4246.8	4879.3	8.4015	1100	0.12648	4245.6	4878.0	8.3520
1200	0.16987	4458.6	5138.1	8.6376	1200	0.15098	4457.5	5136.9	8.5825	1200	0.13587	4456.3	5135.7	8.5331
1300	0.18156	4674.3	5400.5	8.8100	1300	0.16139	4673.1	5399.4	8.7549	1300	0.14526	4672.0	5398.3	8.7055

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

$p = 6.00$ MPa					$p = 7.00$ MPa					$p = 8.00$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
275.64	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892	265.88	0.02737	2580.5	2772.1	5.8133	295.06	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432
300	0.03616	2667.2	2884.2	6.0674	300	0.02947	2632.2	2838.5	5.9305	300	0.02426	2590.9	2785.0	5.7906
350	0.04223	2789.6	3043.0	6.3335	350	0.03524	2769.4	3016.1	6.2283	350	0.02995	2747.7	2987.3	6.1301
400	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408	400	0.03993	2878.6	3158.1	6.4478	400	0.03432	2863.8	3138.4	6.3634
450	0.05214	2988.9	3301.7	6.7193	450	0.04416	2978.0	3287.1	6.6327	450	0.03817	2966.7	3272.1	6.5551
500	0.05665	3082.2	3422.1	6.8803	500	0.04814	3073.4	3410.4	6.7975	500	0.04176	3064.3	3398.4	6.7240
600	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677	600	0.05565	3260.7	3650.3	7.0894	600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206
700	0.07352	3453.1	3894.2	7.4234	700	0.06283	3448.5	3888.3	7.3476	700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812
800	0.08160	3643.1	4132.7	7.6566	800	0.06981	3639.5	4128.2	7.5822	800	0.06097	3636.0	4123.8	7.5173
900	0.08958	3837.8	4375.3	7.8727	900	0.07669	3835.0	4371.8	7.7991	900	0.06702	3832.1	4368.3	7.7351
1000	0.09749	4037.8	4622.7	8.0751	1000	0.08350	4035.3	4619.8	8.0020	1000	0.07301	4032.8	4616.9	7.9384
1100	0.10536	4243.3	4875.5	8.2661	1100	0.09027	4240.9	4872.8	8.1933	1100	0.07896	4238.6	4870.3	8.1300
1200	0.11321	4454.0	5133.3	8.4474	1200	0.09703	4451.7	5130.9	8.3747	1200	0.08489	4449.5	5128.6	8.3115
1300	0.12106	4669.6	5396.0	8.6199	1300	0.10377	4667.3	5393.7	8.5473	1300	0.09080	4665.0	5391.4	8.4842

$p = 9.00$ MPa					$p = 10.00$ MPa					$p = 12.50$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
303.40	0.02048	2557.8	2742.1	5.6772	311.06	0.01803	2544.4	2724.7	5.6141	327.89	0.01350	2505.1	2673.8	5.4624
350	0.02580	2724.4	2956.6	6.0361	350	0.02242	2699.2	2923.4	5.9443	350	0.01613	2624.6	2826.2	5.7118
400	0.02993	2848.4	3117.8	6.2854	400	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120	400	0.02000	2789.3	3039.3	6.0417
450	0.03350	2955.1	3256.6	6.4844	450	0.02975	2943.4	3240.9	6.4190	450	0.02299	2912.5	3199.9	6.2719
500	0.03677	3055.2	3386.1	6.6576	500	0.03279	3045.8	3373.7	6.5966	500	0.02560	3021.7	3341.7	6.4618
600	0.04285	3248.1	3633.8	6.9589	600	0.03837	3241.7	3625.4	6.9029	600	0.03029	3225.4	3604.0	6.7810
700	0.04857	3439.4	3876.5	7.2221	700	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687	700	0.03460	3422.9	3855.4	7.0536
800	0.05409	3632.5	4119.3	7.4596	800	0.04859	3628.9	4114.8	7.4077	800	0.03869	3620.0	4103.6	7.2965
900	0.05950	3829.3	4364.8	7.6783	900	0.05349	3826.3	4361.2	7.6272	900	0.04267	3819.1	4352.5	7.5182
1000	0.06485	4030.4	4614.1	7.8821	1000	0.05832	4027.8	4611.0	7.8315	1000	0.04658	4021.6	4603.9	7.7237
1100	0.07016	4236.3	4867.7	8.0740	1100	0.06312	4234.0	4865.2	8.0237	1100	0.05045	4228.2	4858.8	7.9165
1200	0.07544	4447.2	5126.2	8.2556	1200	0.06789	4444.9	5123.8	8.2055	1200	0.05430	4439.3	5118.1	8.0987
1300	0.08072	4662.7	5389.2	8.4284	1300	0.07265	4660.5	5387.0	8.3783	1300	0.05813	4654.8	5381.4	8.2717

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

$p = 15.00$ MPa					$p = 17.50$ MPa					$p = 20.00$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
342.24	0.01034	2455.5	2610.6	5.3098	354.75	0.00792	2390.2	2528.8	5.1419	365.81	0.00583	2293.0	2409.7	4.9269
400	0.01565	2740.7	2975.4	5.8811	400	0.01245	2685.0	2902.8	5.7213	400	0.00994	2619.3	2818.1	5.5540
450	0.01845	2879.5	3156.2	6.1404	450	0.01517	2844.2	3109.7	6.0184	450	0.01270	2806.2	3060.1	5.9017
500	0.02080	2996.6	3308.6	6.3443	500	0.01736	2970.3	3274.1	6.2383	500	0.01477	2942.9	3238.3	6.1401
600	0.02491	3208.6	3582.3	6.6776	600	0.02106	3191.5	3560.1	6.5866	600	0.01818	3174.0	3537.6	6.5048
700	0.02861	3410.9	3840.1	6.9572	700	0.02434	3398.7	3824.7	6.8736	700	0.02113	3386.4	3809.0	6.7993
800	0.03210	3610.9	4092.4	7.2040	800	0.02738	3601.8	4081.0	7.1244	800	0.02385	3592.7	4069.7	7.0544
900	0.03546	3811.9	4343.8	7.4279	900	0.03031	3804.7	4335.1	7.3507	900	0.02645	3797.5	4326.5	7.2830
1000	0.03875	4015.4	4596.7	7.6348	1000	0.03316	4009.3	4589.6	7.5589	1000	0.02897	4003.1	4582.5	7.4925
1100	0.04200	4222.6	4852.6	7.8283	1100	0.03597	4216.9	4846.4	7.7531	1100	0.03145	4211.3	4840.3	7.6874
1200	0.04523	4433.8	5112.3	8.0108	1200	0.03876	4428.3	5106.6	7.9360	1200	0.03391	4422.8	5101.0	7.8707
1300	0.04845	4649.1	5375.9	8.1840	1300	0.04154	4643.5	5370.5	8.1093	1300	0.03636	4638.0	5365.2	8.0442

$p = 25.00$ MPa					$p = 30.00$ MPa					$p = 35.00$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
375	0.00197	1798.7	1848.0	4.0320	375	0.00179	1737.8	1791.5	3.9305	375	0.00170	1702.9	1762.4	3.8722
400	0.00600	2430.1	2580.2	5.1418	400	0.00279	2067.4	2151.1	4.4728	400	0.00210	1914.1	1987.6	4.2126
450	0.00916	2720.7	2949.8	5.6744	450	0.00674	2619.3	2821.4	5.4424	450	0.00496	2498.7	2672.3	5.1962
500	0.01112	2884.3	3162.4	5.9592	500	0.00868	2820.7	3081.0	5.7905	500	0.00693	2751.9	2994.3	5.6282
600	0.01414	3137.9	3491.3	6.3602	600	0.01145	3100.5	3443.9	6.2331	600	0.00953	3062.0	3395.4	6.1179
700	0.01665	3361.3	3777.5	6.6707	700	0.01366	3335.8	3745.6	6.5606	700	0.01153	3309.8	3713.5	6.4631
800	0.01891	3574.3	4047.1	6.9345	800	0.01562	3555.5	4024.2	6.8332	800	0.01328	3536.7	4001.4	6.7450
900	0.02105	3783.0	4309.1	7.1680	900	0.01745	3768.5	4291.9	7.0718	900	0.01488	3754.0	4274.9	6.9886
1000	0.02310	3990.9	4568.4	7.3802	1000	0.01920	3978.8	4554.7	7.2867	1000	0.01641	3966.7	4541.1	7.2064
1100	0.02512	4200.2	4828.2	7.5765	1100	0.02090	4189.2	4816.3	7.4845	1100	0.01790	4178.3	4804.6	7.4057
1200	0.02711	4412.0	5089.8	7.7605	1200	0.02259	4401.3	5079.0	7.6692	1200	0.01936	4390.7	5068.3	7.5910
1300	0.02910	4626.9	5354.4	7.9342	1300	0.02427	4616.0	5344.0	7.8432	1300	0.02082	4605.1	5333.6	7.7653

Table A.1.3 Superheated steam (cont.)

$p = 40.00$ MPa					$p = 50.00$ MPa					$p = 60.00$ MPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
375	0.00164	1677.1	1742.7	3.8290	375	0.00156	1638.6	1716.6	3.7639	375	0.00150	1609.4	1699.6	3.7141
400	0.00191	1854.6	1930.9	4.1135	400	0.00173	1788.1	1874.6	4.0031	400	0.00163	1745.4	1843.4	3.9318
450	0.00369	2365.1	2512.8	4.9459	450	0.00249	2159.6	2283.9	4.5884	450	0.00209	2053.9	2179.0	4.4121
500	0.00562	2678.4	2903.3	5.4700	500	0.00389	2525.5	2720.1	5.1726	500	0.00296	2390.6	2568.0	4.9321
600	0.00809	3022.6	3346.4	6.0114	600	0.00611	2942.0	3247.6	5.8178	600	0.00483	2861.1	3151.1	5.6452
700	0.00994	3283.6	3681.2	6.3750	700	0.00773	3230.5	3616.9	6.2189	700	0.00627	3177.2	3553.5	6.0824
800	0.01152	3517.8	3978.7	6.6662	800	0.00908	3479.8	3933.6	6.5290	800	0.00746	3441.5	3889.0	6.4109
900	0.01296	3739.4	4257.9	6.9150	900	0.01028	3710.3	4224.5	6.7882	900	0.00851	3681.0	4191.5	6.6805
1000	0.01432	3954.6	4527.6	7.1356	1000	0.01141	3930.5	4501.1	7.0146	1000	0.00948	3906.4	4475.2	6.9127
1100	0.01564	4167.4	4793.1	7.3364	1100	0.01250	4145.7	4770.5	7.2184	1100	0.01041	4124.1	4748.6	7.1195
1200	0.01694	4380.1	5057.7	7.5224	1200	0.01356	4359.1	5037.2	7.4058	1200	0.01132	4338.2	5017.2	7.3083
1300	0.01823	4594.3	5323.5	7.6969	1300	0.01462	4572.8	5303.6	7.5808	1300	0.01222	4551.4	5284.3	7.4837

Table A.1.4 Compressed liquid water.

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986)

$p = 5.00 \text{ MPa}$					$p = 10.00 \text{ MPa}$					$p = 15.00 \text{ MPa}$				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
0	0.0009977	0.04	5.03	0.0001	0	0.0009952	0.09	10.04	0.0002	0	0.0009928	0.15	15.04	0.0004
20	0.0009995	83.65	88.65	0.2956	20	0.0009972	83.36	93.33	0.2945	20	0.0009950	83.06	97.99	0.2934
40	0.0010056	166.95	171.98	0.5705	40	0.0010034	166.35	176.38	0.5686	40	0.0010013	165.76	180.78	0.5666
60	0.0010149	250.23	255.30	0.8285	60	0.0010127	249.36	259.49	0.8258	60	0.0010105	248.51	263.67	0.8232
80	0.0010268	333.72	338.85	1.0720	80	0.0010245	332.59	342.84	1.0688	80	0.0010222	331.48	346.81	1.0656
100	0.0010576	417.52	422.81	1.3030	100	0.0010385	416.12	426.51	1.2992	100	0.0010361	414.74	430.28	1.2955
120	0.0010576	501.80	507.09	1.5233	120	0.0010549	500.08	510.63	1.5189	120	0.0010522	498.40	514.18	1.5145
140	0.0010768	586.76	592.14	1.7343	140	0.0010737	584.68	595.42	1.7292	140	0.0010707	582.66	598.72	1.7242
160	0.0010988	672.62	678.11	1.9375	160	0.0010953	670.13	681.08	1.9317	160	0.0010918	667.71	684.09	1.9260
180	0.0011240	759.63	765.25	2.1341	180	0.0011199	756.65	767.85	2.1275	180	0.0011159	753.76	770.50	2.1210
200	0.0011530	848.10	853.87	2.3255	200	0.0011480	844.50	855.98	2.3178	200	0.0011433	841.00	858.15	2.3104
220	0.0011866	938.40	944.33	2.5128	220	0.0011805	934.10	945.91	2.5039	220	0.0011748	929.90	947.52	2.4953
240	0.0012264	1031.40	1037.53	2.6979	240	0.0012187	1026.00	1038.19	2.6872	240	0.0012114	1020.80	1038.97	2.6771
260	0.0012749	1127.90	1134.27	2.8883	260	0.0012645	1121.10	1133.75	2.8699	260	0.0012550	1114.60	1133.43	2.8576
					280	0.0013216	1220.90	1234.12	3.0548	280	0.0013084	1212.50	1232.13	3.0393
					300	0.0039720	1328.40	1368.12	3.2469	300	0.0013770	1316.60	1337.26	3.2260
										320	0.0014724	1431.10	1453.19	3.4247
										340	0.0016311	1567.50	1591.97	3.6546
263.99	0.0012859	1147.80	1154.23	2.9202	311.06	0.0014524	1393.00	1407.52	3.3596	342.24	0.0016581	1585.10	1609.97	3.6848

Table A.1.5 Ice–vapor saturation (sublimation).

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986)

T °C	p kPa	v_s m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_s kJ/kg	u_{sg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_s kJ/kg	h_{sg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_s kJ/kgK	s_{sg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
0.01	0.6113	0.0010908	206.1	-333.40	2708.7	2375.3	-333.40	2834.7	2501.3	-1.221	10.377	9.156
0	0.6108	0.0010908	206.3	-333.43	2708.7	2375.3	-333.43	2834.7	2501.3	-1.221	10.378	9.157
-2	0.5176	0.0010904	241.7	-337.62	2710.2	2372.6	-337.62	2835.3	2497.7	-1.237	10.456	9.219
-4	0.4375	0.0010901	283.8	-341.78	2711.6	2369.8	-341.78	2835.7	2494.0	-1.253	10.536	9.283
-6	0.3689	0.0010898	334.2	-345.91	2712.9	2367.0	-345.91	2836.2	2490.3	-1.268	10.616	9.348
-8	0.3102	0.0010894	394.4	-350.02	2714.2	2364.2	-350.02	2836.6	2486.5	-1.284	10.698	9.414
-10	0.2602	0.0010891	466.7	-354.09	2715.5	2361.4	-354.09	2836.9	2482.8	-1.299	10.780	9.481
-12	0.2176	0.0010888	553.7	-358.14	2716.8	2358.7	-358.14	2837.3	2479.2	-1.315	10.845	9.530
-14	0.1815	0.0010884	658.8	-362.15	2718.1	2355.9	-362.15	2837.6	2475.5	-1.331	10.950	9.619
-16	0.1510	0.0010881	786.0	-366.14	2719.2	2353.1	-366.14	2837.9	2471.8	-1.346	11.036	9.690
-18	0.1252	0.0010878	940.5	-370.10	2720.4	2350.3	-370.10	2838.2	2468.1	-1.362	11.124	9.762
-20	0.1035	0.0010874	1128.6	-374.03	2721.5	2347.5	-374.03	2838.3	2464.3	-1.377	11.212	9.835
-22	0.0853	0.0010871	1358.4	-377.90	2722.6	2344.7	-377.90	2838.5	2460.6	-1.393	11.302	9.909
-24	0.0701	0.0010868	1640.1	-381.80	2723.8	2342.0	-381.80	2838.8	2457.0	-1.408	11.393	9.985
-26	0.0574	0.0010864	1986.4	-385.64	2724.8	2339.2	-385.64	2838.9	2453.2	-1.424	11.486	10.062
-28	0.0469	0.0010861	2413.7	-389.45	2725.9	2336.4	-389.45	2839.1	2449.6	-1.439	11.580	10.141
-30	0.0381	0.0010858	2943.0	-393.23	2726.8	2333.6	-393.23	2839.0	2445.7	-1.455	11.676	10.221
-32	0.0309	0.0010854	3600.0	-396.98	2727.8	2330.8	-396.98	2839.0	2442.0	-1.471	11.774	10.303
-34	0.0250	0.0010851	4419.0	-400.71	2728.7	2328.0	-400.71	2839.2	2438.5	-1.486	11.872	10.386
-36	0.0201	0.0010848	5444.0	-404.40	2729.6	2325.2	-404.40	2839.0	2434.6	-1.501	11.971	10.470
-38	0.0161	0.0010844	6731.0	-408.06	2730.5	2322.4	-408.06	2838.8	2430.8	-1.517	12.073	10.556
-40	0.0129	0.0010841	8354.0	-411.70	2731.3	2319.6	-411.70	2839.1	2427.4	-1.532	12.176	10.644

Table A.2.1 Saturated ammonia – by temperature.

(Adapted from National Bureau of Standards Circular No. 142, *Tables of Thermodynamic Properties of Ammonia*)

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_{fg} m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
-50	40.88	0.001424	2.6240	2.6254	-44.4	1309.4	1265.1	-44.3	1416.7	1372.4	-0.1942	6.3503	6.1561
-48	45.96	0.001429	2.3519	2.3533	-35.6	1303.2	1267.6	-35.5	1411.3	1375.8	-0.1547	6.2696	6.1149
-46	51.55	0.001434	2.1126	2.1140	-26.7	1296.9	1270.2	-26.6	1405.8	1379.2	-0.1156	6.1902	6.0746
-44	57.69	0.001439	1.9018	1.9032	-17.9	1290.6	1272.7	-17.8	1400.3	1382.5	-0.0768	6.1120	6.0352
-42	64.42	0.001444	1.7156	1.7170	-9.0	1284.2	1275.2	-8.9	1394.7	1385.8	-0.0382	6.0349	5.9967
-40	71.77	0.001449	1.5507	1.5521	-0.1	1277.7	1277.6	0.0	1389.0	1389.0	0.0000	5.9589	5.9589
-38	79.80	0.001454	1.4043	1.4058	8.8	1271.2	1280.0	8.9	1383.3	1392.2	0.0380	5.8840	5.9220
-36	88.54	0.001460	1.2742	1.2757	17.7	1264.8	1282.5	17.8	1377.6	1395.4	0.0757	5.8101	5.8858
-34	98.05	0.001465	1.1582	1.1597	26.7	1258.1	1284.8	26.8	1371.7	1398.5	0.1132	5.7372	5.8504
-32	108.37	0.001470	1.0547	1.0562	35.5	1251.6	1287.1	35.7	1365.9	1401.6	0.1504	5.6652	5.8156
-30	119.55	0.001476	0.9620	0.9635	44.5	1244.9	1289.4	44.7	1359.9	1404.6	0.1873	5.5942	5.7815
-28	131.64	0.001481	0.8790	0.8805	53.4	1238.3	1291.7	53.6	1354.0	1407.6	0.2240	5.5241	5.7481
-26	144.70	33001487	0.8044	0.8059	62.4	1231.5	1293.9	62.6	1347.9	1410.5	0.2605	5.4548	5.7153
-24	158.78	0.001492	0.7373	0.7388	71.4	1224.7	1296.1	71.6	1341.8	1413.4	0.2967	5.3864	5.6831
-22	173.93	0.001498	0.6768	0.6783	80.4	1217.8	1298.2	80.7	1335.5	1416.2	0.3327	5.3188	5.6515
-20	190.22	0.001504	0.6222	0.6237	89.4	1210.9	1300.4	89.7	1329.3	1419.0	0.3684	5.2521	5.6205
-18	207.71	0.001510	0.5728	0.5743	98.5	1203.9	1302.4	98.8	1322.9	1421.7	0.4040	5.1860	5.5900
-16	226.45	0.001515	0.5281	0.5296	107.5	1197.0	1304.5	107.8	1316.6	1424.4	0.4393	5.1207	5.5600
-14	246.51	0.001521	0.4874	0.4889	116.5	1190.0	1306.5	116.9	1310.1	1427.0	0.4744	5.0561	5.5305
-12	267.95	0.001528	0.4505	0.4520	125.6	1182.8	1308.4	126.0	1303.5	1429.5	0.5093	4.9922	5.5015
-10	290.85	0.001534	0.4170	0.4185	134.8	1175.5	1310.3	135.2	1296.8	1432.0	0.5440	4.9309	5.4749
-8	315.25	0.001540	0.3863	0.3878	143.8	1168.3	1312.1	144.3	1290.1	1434.4	0.5785	4.8664	5.4449
-6	341.25	0.001546	0.3584	0.3599	153.0	1161.0	1314.0	153.5	1283.3	1436.8	0.6128	4.8045	5.4173
-4	368.90	0.001553	0.3327	0.3343	162.1	1153.7	1315.8	162.7	1276.4	1439.1	0.6469	4.7432	5.3901
-2	398.27	0.001559	0.3093	0.3109	171.3	1146.2	1317.5	171.9	1269.4	1441.3	0.6808	4.6825	5.3633
0	429.44	0.001566	0.2879	0.2895	180.4	1138.8	1319.2	181.1	1262.4	1443.5	0.7145	4.6224	5.3369

Table A.2.2 Saturated ammonia – by temperature (cont.).

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_{fg} m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
0	429.44	0.001566	0.2879	0.2895	180.4	1138.8	1319.2	181.1	1262.4	1443.5	0.7145	4.6224	5.3369
2	462.49	0.001573	0.2682	0.2698	189.7	1131.1	1320.8	190.4	1255.2	1445.6	0.7481	4.5627	5.3108
4	497.49	0.001580	0.2501	0.2517	198.8	1123.6	1322.4	199.6	1248.0	1447.6	0.7815	4.5037	5.2852
6	534.51	0.001587	0.2335	0.2351	208.1	1115.9	1323.9	208.9	1240.7	1449.6	0.8148	4.4451	5.2599
8	573.64	0.001594	0.2182	0.2198	217.4	1108.0	1325.4	218.3	1233.2	1451.5	0.8479	4.3871	5.2350
10	614.95	0.001601	0.2040	0.2056	226.6	1100.3	1326.9	227.6	1225.7	1453.3	0.8808	4.3296	5.2104
12	658.52	0.001608	0.1910	0.1926	235.9	1092.3	1328.3	237.0	1218.1	1455.1	0.9136	4.2725	5.1861
14	704.44	0.001616	0.1789	0.1805	245.3	1084.4	1329.6	246.4	1210.4	1456.8	0.9463	4.2158	5.1621
16	752.79	0.001623	0.1677	0.1693	254.7	1076.4	1331.1	255.9	1202.6	1458.5	0.9788	4.1597	5.1385
18	803.66	0.001631	0.1574	0.1590	264.1	1068.1	1332.2	265.4	1194.6	1460.0	1.0112	4.1039	5.1151
20	857.12	0.001639	0.1478	0.1494	273.5	1060.0	1333.4	274.9	1186.6	1461.5	1.0434	4.0486	5.0920
22	913.27	0.001647	0.1389	0.1405	282.9	1051.7	1334.6	284.4	1178.5	1462.9	1.0755	3.9937	5.0692
24	972.19	0.001655	0.1305	0.1322	292.4	1043.4	1335.8	294.0	1170.3	1464.3	1.1075	3.9392	5.0467
26	1033.97	0.001663	0.1228	0.1245	301.9	1035.0	1336.9	303.6	1162.0	1465.6	1.1394	3.8850	5.0244
28	1098.71	0.001671	0.1156	0.1173	311.4	1026.6	1337.9	313.2	1153.6	1466.8	1.1711	3.8312	5.0023
30	1166.49	0.001680	0.1089	0.1106	320.9	1017.9	1338.9	322.9	1145.0	1467.9	1.2028	3.7777	4.9805
32	1237.41	0.001689	0.1027	0.1044	330.5	1009.3	1339.8	332.6	1136.4	1469.0	1.2343	3.7246	4.9589
34	1311.55	0.001698	0.0969	0.0986	340.1	1000.5	1340.6	342.3	1127.6	1469.9	1.2656	3.6718	4.9374
36	1389.03	0.001707	0.0914	0.0931	349.7	991.8	1341.5	352.1	1118.7	1470.8	1.2969	3.6192	4.9161
38	1469.92	0.001716	0.0863	0.0880	359.4	982.8	1342.1	361.9	1109.6	1471.5	1.3281	3.5669	4.8950
40	1554.33	0.001726	0.0816	0.0833	369.0	973.7	1342.7	371.7	1100.5	1472.2	1.3591	3.5149	4.8740
42	1642.35	0.001735	0.0771	0.0788	378.8	964.6	1343.4	381.6	1091.2	1472.8	1.3901	3.4629	4.8530
44	1734.09	0.001745	0.0729	0.0746	388.5	955.4	1343.8	391.5	1081.7	1473.2	1.4209	3.4113	4.8322
46	1829.65	0.001756	0.0689	0.0707	398.3	945.9	1344.1	401.5	1072.0	1473.5	1.4518	3.3595	4.8113
48	1929.13	0.001766	0.0651	0.0669	408.1	936.5	1344.6	411.5	1062.2	1473.7	1.4826	3.3079	4.7905
50	2032.62	0.001777	0.0617	0.0635	418.1	926.5	1344.6	421.7	1052.0	1473.7	1.5135	3.2561	4.7696

Table A.2.2 Saturated ammonia – by pressure.

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
45.00	-48.378	0.001428	2.40472	-37.26	1304.39	1267.13	-37.16	1412.32	1375.16	-0.1622	6.2849	6.1227
50.00	-46.555	0.001433	2.18035	-29.17	1298.65	1269.48	-29.07	1407.33	1378.26	-0.1264	6.2122	6.0858
55.00	-44.876	0.001437	1.99555	-21.76	1293.36	1271.60	-21.66	1402.71	1381.05	-0.0938	6.1463	6.0525
60.00	-43.314	0.001441	1.83929	-14.85	1288.40	1273.56	-14.75	1398.38	1383.63	-0.0636	6.0855	6.0220
70.00	-40.482	0.001448	1.59181	-2.24	1279.27	1277.02	-2.14	1390.37	1388.23	-0.0092	5.9772	5.9680
80.00	-37.954	0.001454	1.40282	9.00	1271.05	1280.06	9.10	1383.17	1392.27	0.0389	5.8823	5.9212
90.00	-35.693	0.001461	1.25789	19.08	1263.77	1282.85	19.18	1376.69	1395.88	0.0815	5.7989	5.8804
100.00	-33.622	0.001466	1.14014	28.36	1256.87	1285.23	28.48	1370.60	1399.09	0.1202	5.7236	5.8438
110.00	-31.708	0.001471	1.04268	36.81	1256.87	1287.44	37.01	1365.03	1402.04	0.1558	5.6548	5.8106
120.00	-29.926	0.001476	0.96041	44.83	1256.87	1289.49	45.03	1359.68	1404.71	0.1887	5.5916	5.7803
130.00	-28.271	0.001480	0.89176	52.19	1256.87	1291.39	52.39	1354.80	1407.19	0.2190	5.5336	5.7526
140.00	-26.720	0.001485	0.83275	59.16	1256.87	1293.11	59.36	1350.10	1409.46	0.2474	5.4797	5.7271
150.00	-25.247	0.001489	0.78064	65.79	1256.87	1294.73	65.99	1345.60	1411.59	0.2741	5.4291	5.7032
160.00	-23.839	0.001492	0.73393	72.12	1256.87	1296.27	72.33	1341.29	1413.63	0.2996	5.3810	5.6806
170.00	-22.519	0.001496	0.69399	78.07	1256.87	1297.66	78.34	1337.13	1415.47	0.3234	5.3363	5.6597
180.00	-21.255	0.001500	0.65795	83.75	1256.87	1299.02	84.05	1333.19	1417.24	0.3460	5.2939	5.6399
190.00	-20.027	0.001504	0.62444	89.28	1256.87	1300.37	89.58	1329.38	1418.96	0.3679	5.2530	5.6209
200.00	-18.882	0.001507	0.59608	94.49	1256.87	1301.52	94.79	1325.72	1420.51	0.3883	5.2151	5.6034
220.00	-16.688	0.001513	0.54499	104.40	1256.87	1303.78	104.70	1318.77	1423.47	0.4272	5.1432	5.5703
240.00	-14.649	0.001519	0.50211	113.58	1256.87	1305.85	113.95	1312.21	1426.16	0.4630	5.0771	5.5401
260.00	-12.742	0.001525	0.46568	122.23	1256.87	1307.70	122.63	1305.95	1428.57	0.4964	5.0159	5.5123
280.00	-10.948	0.001531	0.43437	130.44	1256.87	1309.40	130.84	1299.97	1430.82	0.5276	4.9599	5.4875
300.00	-9.250	0.001536	0.40699	138.18	1256.87	1310.98	138.61	1294.29	1432.90	0.5569	4.9067	5.4637

Table A.2.2 Saturated ammonia – by pressure (cont.).

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK
320.00	-7.635	0.001541	0.38270	145.48	1166.97	1312.45	145.98	1288.86	1434.84	0.5848	4.8551
340.00	-6.096	0.001546	0.36124	152.56	1161.35	1313.91	153.06	1283.63	1436.68	0.6112	4.8075
360.00	-4.644	0.001551	0.34254	159.17	1156.05	1315.22	159.74	1278.62	1438.36	0.6359	4.7629
380.00	-3.244	0.001555	0.32546	165.58	1150.87	1316.44	166.18	1273.75	1439.93	0.6597	4.7203
400.00	-1.889	0.001559	0.30971	171.81	1145.79	1317.59	172.41	1269.01	1441.42	0.6827	4.6792
450.00	1.244	0.001570	0.27724	186.19	1134.01	1320.20	186.89	1257.92	1444.81	0.7354	4.5853
500.00	4.136	0.001580	0.25057	199.43	1123.07	1322.50	200.23	1247.51	1447.74	0.7838	4.4997
550.00	6.792	0.001590	0.22904	211.78	1112.71	1324.49	212.62	1237.73	1450.35	0.8279	4.4221
600.00	9.276	0.001598	0.21074	223.27	1103.09	1326.36	224.23	1228.41	1452.65	0.8689	4.3504
650.00	11.609	0.001607	0.19514	234.08	1093.94	1328.03	235.16	1219.59	1454.75	0.9072	4.2837
700.00	13.807	0.001615	0.18167	244.39	1085.08	1329.47	245.49	1211.14	1456.64	0.9431	4.2213
750.00	15.885	0.001623	0.16995	254.16	1076.86	1331.01	255.35	1203.05	1458.40	0.9769	4.1629
800.00	17.856	0.001630	0.15974	263.42	1068.70	1332.12	264.72	1195.18	1459.89	1.0089	4.1079
850.00	19.734	0.001638	0.15068	272.25	1060.99	1333.24	273.63	1187.67	1461.30	1.0391	4.0560
900.00	21.527	0.001645	0.14260	280.68	1053.64	1334.32	282.15	1180.41	1462.57	1.0679	4.0067
950.00	23.247	0.001652	0.13533	288.82	1046.53	1335.35	290.38	1173.39	1463.77	1.0954	3.9597
1000.00	24.900	0.001659	0.12873	296.68	1039.62	1336.30	298.32	1166.56	1464.89	1.1219	3.9148
1050.00	26.495	0.001665	0.12272	304.25	1032.90	1337.15	305.98	1159.92	1465.90	1.1472	3.8717
1100.00	28.038	0.001671	0.11717	311.58	1026.34	1337.92	313.38	1153.44	1466.82	1.1717	3.8302
1200.00	30.945	0.001684	0.10767	325.44	1013.89	1339.33	327.48	1140.94	1468.42	1.2177	3.7526
1300.00	33.688	0.001697	0.09950	338.60	1001.87	1340.48	340.79	1128.97	1469.76	1.2607	3.6800
1400.00	36.271	0.001708	0.09241	351.02	990.57	1341.58	353.43	1117.47	1470.89	1.3011	3.6121
1500.00	38.713	0.001720	0.08633	362.82	979.49	1342.31	365.39	1106.36	1471.75	1.3391	3.5484
1600.00	41.038	0.001731	0.08097	374.08	968.98	1343.06	376.84	1095.67	1472.51	1.3752	3.4879
1700.00	43.257	0.001741	0.07616	384.90	958.76	1343.65	387.82	1085.23	1473.05	1.4095	3.4305
1800.00	45.379	0.001753	0.07191	395.26	948.75	1344.01	398.40	1075.01	1473.41	1.4422	3.3756

Table A.2.3 Superheated ammonia.

(Adapted from National Bureau of Standards Circular No. 142, *Tables of Thermodynamic Properties of Ammonia*)

$p = 50$ kPa					$p = 75$ kPa					$p = 100$ kPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K
-20	2.4474	1313.4	1435.8	6.3256	-20	1.6233	1311.3	1433.0	6.3119	-20	1.2110	1309.0	1430.1	5.9695
-10	2.5481	1329.6	1457.0	6.4077	-10	1.6915	1327.8	1454.7	6.2028	-10	1.2631	1325.9	1452.2	6.0552
0	2.6482	1345.7	1478.1	6.4865	0	1.7591	1344.2	1476.1	6.2828	0	1.3145	1342.7	1474.1	6.1366
10	2.7479	1361.8	1499.2	6.5625	10	1.8263	1360.5	1497.5	6.3597	10	1.3654	1359.2	1495.7	6.2144
20	2.8473	1378.0	1520.4	6.6360	20	1.8932	1376.9	1518.9	6.4339	20	1.4160	1375.7	1517.3	6.2894
30	2.9464	1394.4	1541.7	6.7073	30	1.9597	1393.3	1540.3	6.5058	30	1.4664	1392.3	1538.9	6.3618
40	3.0453	1410.7	1563.0	6.7766	40	2.0261	1409.8	1561.8	6.5756	40	1.5165	1408.9	1560.5	6.4321
50	3.1441	1427.3	1584.5	6.8441	50	2.0923	1426.5	1583.4	6.6434	50	1.5664	1425.6	1582.2	6.5003
60	3.2427	1444.0	1606.1	6.9099	60	2.1584	1443.2	1605.1	6.7096	60	1.6163	1442.5	1604.1	6.5668
70	3.3413	1460.7	1627.8	6.9743	70	2.2244	1460.1	1626.9	6.7742	70	1.6659	1459.4	1626.0	6.6316
80	3.4397	1477.7	1649.7	7.0372	80	2.2903	1477.1	1648.9	6.8373	80	1.7155	1476.5	1648.0	6.6950
100					100					100	1.8145	1511.2	1692.6	6.8177
$p = 125$ kPa					$p = 150$ kPa					$p = 200$ kPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg.K
-20	0.9635	1306.8	1427.2	5.8512	-20	0.7984	1304.3	1424.1	5.7526	-20	0.6199	1318.0	1442.0	5.6863
-10	1.0059	1324.1	1449.8	5.9389	-10	0.8344	1322.1	1447.3	5.8424	-10	0.6471	1336.1	1465.5	5.7737
0	1.0476	1341.1	1472.0	6.0217	0	0.8697	1339.3	1469.8	5.9206	0	0.6738	1353.6	1488.4	5.8559
10	1.0889	1357.8	1493.9	6.1006	10	0.9045	1356.4	1492.1	6.0066	10	0.7001	1370.9	1510.9	5.9342
20	1.1297	1374.5	1515.7	6.1763	20	0.9388	1373.3	1514.1	6.0831	20	0.7261	1388.0	1533.2	6.0091
30	1.1703	1391.2	1537.5	6.2494	30	0.9729	1390.2	1536.1	6.1568	30	0.7519	1405.1	1555.5	6.0813
40	1.2107	1408.0	1559.3	6.3201	40	1.0068	1407.0	1558.0	6.2280	40	0.7774	1422.2	1577.7	6.1512
50	1.2509	1424.7	1581.1	6.3887	50	1.0405	1423.9	1580.0	6.2970	50	0.8029	1439.3	1599.9	6.2189
60	1.2909	1441.6	1603.0	6.4555	60	1.0740	1440.9	1602.0	6.3641	60	0.8282	1456.6	1622.2	6.2849
70	1.3309	1458.6	1625.0	6.5206	70	1.1074	1458.0	1624.1	6.4295	70	0.8533	1473.9	1644.6	6.3491
80	1.3707	1475.9	1647.2	6.5842	80	1.1408	1475.2	1646.3	6.4933	80	0.8533	1473.9	1644.6	6.3491
100	1.4501	1510.5	1691.8	6.7072	100	1.2072	1510.0	1691.1	6.6167	100	0.9035	1508.9	1689.6	6.4732

Table A.2.3 Superheated ammonia (cont.).

<i>p</i> = 250 kPa					<i>p</i> = 300 kPa					<i>p</i> = 350 kPa				
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K
-10	0.4910	1313.9	1436.6	5.5609	-10					-10				
0	0.5135	1332.6	1461.0	5.6517	0	0.4243	1329.0	1456.3	5.5493	0	0.3605	1325.3	1451.5	5.4600
10	0.5354	1350.7	1484.5	5.7365	10	0.4430	1347.7	1480.6	5.6366	10	0.3770	1344.6	1476.5	5.5502
20	0.5568	1368.4	1507.6	5.8165	20	0.4613	1365.8	1504.2	5.7186	20	0.3929	1363.2	1500.7	5.6342
30	0.5780	1385.8	1530.3	5.8928	30	0.4792	1383.6	1527.4	5.7963	30	0.4084	1381.5	1524.4	5.7135
40	0.5989	1403.2	1552.9	5.9661	40	0.4968	1401.3	1550.3	5.8707	40	0.4239	1399.2	1547.6	5.7890
50	0.6096	1423.0	1575.4	6.0368	50	0.5143	1418.7	1573.0	5.9423	50	0.4391	1417.0	1570.7	5.8615
60	0.6401	1437.8	1597.8	6.1052	60	0.5316	1436.2	1595.7	6.0114	60	0.4541	1434.7	1593.6	5.9314
70	0.6605	1455.2	1620.3	6.1717	70	0.5488	1453.8	1618.4	6.0785	70	0.4689	1452.4	1616.5	5.9990
80	0.6809	1472.6	1642.8	6.2365	80	0.5658	1471.4	1641.1	6.1437	80	0.4837	1470.0	1639.3	6.0647
100	0.7212	1507.9	1688.2	6.3613	100	0.5997	1500.8	1680.7	6.2693	100	0.5129	1505.7	1685.2	6.1910
<i>p</i> = 400 kPa					<i>p</i> = 450 kPa					<i>p</i> = 500 kPa				
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K
0	0.3125	1321.5	1446.5	5.3803	0	0.2752	1317.5	1441.3	5.3078	0				
10	0.3274	1341.4	1472.4	5.4735	10	0.2887	1338.2	1468.1	5.4042	10				
20	0.3417	1360.5	1497.2	5.5597	20	0.3017	1357.8	1493.6	5.4926	20	0.2698	1355.0	1489.9	5.4314
30	0.3556	1379.1	1521.3	5.6405	30	0.3143	1376.8	1518.2	5.5752	30	0.2813	1374.4	1515.0	5.5157
40	0.3692	1397.2	1544.9	5.7173	40	0.3266	1395.2	1542.2	5.6532	40	0.2926	1393.2	1539.5	5.5950
50	0.3826	1415.3	1568.3	5.7907	50	0.3387	1413.5	1565.9	5.7275	50	0.3036	1411.6	1563.4	5.6704
60	0.3959	1433.1	1591.5	5.8613	60	0.3506	1431.5	1589.3	5.7989	60	0.3144	1429.9	1587.1	5.7425
70	0.4090	1450.9	1614.5	5.9296	70	0.3624	1449.5	1612.6	5.8678	70	0.3251	1448.1	1610.6	5.8120
80	0.4220	1468.8	1637.6	5.9957	80	0.3740	1467.5	1635.8	5.9345	80	0.3357	1466.2	1634.0	5.8793
100	0.4478	1504.6	1683.7	6.1228	100	0.3971	1503.5	1682.2	6.0623	100	0.3565	1502.5	1680.7	6.0079
120					120					120	0.3771	1539.0	1727.5	6.1301
140					140					140	0.3975	1576.0	1774.7	6.2472

Table A.2.3 Superheated ammonia (cont.).

<i>p</i> = 600 kPa					<i>p</i> = 700 kPa					<i>p</i> = 800 kPa				
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K
20	0.2217	1349.4	1482.4	5.3222	20	0.1874	1343.3	1474.5	5.2259	20	0.1615	1337.1	1466.3	5.1387
30	0.2317	1369.6	1508.6	5.4102	30	0.1963	1364.5	1501.9	5.3179	30	0.1696	1359.3	1495.0	5.2351
40	0.2414	1389.0	1533.8	5.4923	40	0.2048	1384.7	1528.1	5.4029	40	0.1773	1380.4	1522.2	5.3232
50	0.2508	1408.0	1558.5	5.5697	50	0.2131	1404.2	1553.4	5.4826	50	0.1848	1400.5	1548.3	5.4053
60	0.2600	1426.7	1582.7	5.6436	60	0.2212	1423.4	1578.2	5.5582	60	0.1920	1420.1	1573.7	5.4827
70	0.2691	1445.1	1606.6	5.7144	70	0.2291	1442.2	1602.6	5.6303	70	0.1991	1439.3	1598.6	5.5562
80	0.2781	1463.5	1630.4	5.7826	80	0.2369	1461.0	1626.8	5.6997	80	0.2060	1458.3	1623.1	5.6268
100	0.2957	1500.3	1677.7	5.9129	100	0.2522	1498.1	1674.6	5.8316	100	0.2196	1495.9	1671.6	5.7603
120	0.3130	1537.1	1724.9	6.0363	120	0.2672	1535.4	1722.4	5.9562	120	0.2329	1533.6	1719.9	5.8861
140	0.3302	1574.3	1772.4	6.1541	140	0.2821	1572.7	1770.2	6.0749	140	0.2459	1571.3	1768.0	6.0057
160					160					160	0.2589	1609.3	1816.4	6.1202
<i>p</i> = 900 kPa					<i>p</i> = 1000 kPa					<i>p</i> = 1200 kPa				
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K
30	0.1488	1354.1	1488.0	5.1593	30	0.1321	1348.5	1480.6	5.0889	30				
40	0.1559	1375.9	1516.2	5.2508	40	0.1388	1371.2	1510.0	5.1840	40	0.1129	1361.6	1497.1	5.0629
50	0.1627	1396.6	1543.0	5.3354	50	0.1450	1392.7	1537.7	5.2713	50	0.1185	1384.4	1526.6	5.1560
60	0.1693	1416.7	1569.1	5.4147	60	0.1511	1413.3	1564.4	5.3525	60	0.1238	1406.1	1554.7	5.2416
70	0.1757	1436.3	1594.4	5.4897	70	0.1570	1433.3	1590.3	5.4292	70	0.1289	1427.0	1581.7	5.3215
80	0.1820	1455.6	1619.4	5.5614	80	0.1627	1452.9	1615.6	5.5021	80	0.1338	1447.4	1608.0	5.3970
100	0.1942	1493.7	1668.5	5.6968	100	0.1739	1491.5	1665.4	5.6392	100	0.1434	1487.1	1659.2	5.5379
120	0.2061	1531.6	1717.1	5.8237	120	0.1847	1532.8	1717.5	5.7674	120	0.1526	1526.1	1709.2	5.6687
140	0.2178	1569.7	1765.7	5.9442	140	0.1954	1568.0	1763.4	5.8888	140	0.1616	1565.0	1758.9	5.7919
160	0.2294	1607.9	1814.4	6.0594	160	0.2058	1606.6	1812.4	6.0047	160	0.1705	1603.9	1808.5	5.9091
180					180	0.2162	1645.5	1861.7	6.1159	180	0.1792	1643.2	1858.2	6.0214

Table A.2.3 Superheated ammonia (cont.).

$p = 1400$ kPa					$p = 1600$ kPa					$p = 1800$ kPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
40	0.0944	1351.2	1483.4	4.9534	40					40				
50	0.0995	1375.8	1515.1	5.0530	50	0.0851	1366.7	1502.9	4.9584	50	0.0739	1357.0	1490.0	4.8693
60	0.1042	1398.8	1544.7	5.1434	60	0.8950	102.4	1534.4	5.0543	60	0.0781	1382.9	1523.5	4.9715
70	0.1088	1420.7	1573.0	5.2270	70	0.0937	1414.1	1564.0	5.1419	70	0.0820	1407.0	1554.6	5.0635
80	0.1132	1441.7	1600.2	5.3053	80	0.0977	1436.0	1592.3	5.2232	80	0.0856	1430.0	1584.1	5.1482
100	0.1216	1482.6	1652.8	5.4501	100	0.1053	1477.9	1646.4	5.3722	100	0.0926	1473.1	1639.8	5.3018
120	0.1297	1522.3	1703.9	5.5836	120	0.1125	1518.5	1698.5	5.5084	120	0.0992	1514.5	1693.1	5.4409
140	0.1376	1561.7	1754.3	5.7087	140	0.1195	1558.5	1749.7	5.6355	140	0.1055	1555.2	1745.1	5.5699
160	0.1452	1601.2	1804.5	5.8273	160	0.1263	1598.4	1800.5	5.7555	160	0.1116	1595.6	1796.5	5.6914
180	0.1528	1640.6	1854.5	5.9406	180	0.1330	1638.4	1851.2	5.8699	180	0.1177	1635.8	1847.7	5.8069

$p = 2000$ kPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
50	0.0648	1346.5	1476.1	4.7834
60	0.0688	1374.4	1512.0	4.8930
70	0.0725	1399.9	1544.9	4.9902
80	0.0760	1423.6	1575.6	5.0786
100	0.0824	1468.4	1633.2	5.2371
120	0.0885	1510.6	1687.6	5.3793
140	0.0943	1551.8	1740.4	5.5104
160	0.0999	1592.6	1792.4	5.6333
180	0.1054	1633.3	1844.1	5.7499

Table A.3.1 Saturated Refrigerant 12 (Freon-12) - by temperature.

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986, as based on data from E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc.)

T °C	p MPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
-90	0.0028	0.000608	4.415545	-43.245	177.256	134.011	-43.243	189.618	146.375	-0.2084	1.0352	0.8268
-85	0.0042	0.000612	3.037316	-38.971	174.854	135.883	-38.968	187.608	148.640	-0.1854	0.9970	0.8116
-80	0.0062	0.000617	2.138345	-34.692	172.358	137.666	-34.688	185.612	150.924	-0.1630	0.9609	0.7979
-75	0.0088	0.000622	1.537651	-30.406	170.099	139.693	-30.401	183.625	153.224	-0.1411	0.9266	0.7855
-70	0.0123	0.000627	1.127280	-26.111	167.781	141.670	-26.103	181.639	155.536	-0.1197	0.8941	0.7744
-65	0.0168	0.000632	0.841166	-21.804	165.529	143.725	-21.793	179.650	157.857	-0.0987	0.8630	0.7643
-60	0.0226	0.000637	0.637910	-17.483	163.250	145.767	-17.469	177.653	160.184	-0.0782	0.8334	0.7552
-55	0.0300	0.000642	0.491000	-13.148	160.930	147.782	-13.129	175.641	162.512	-0.0581	0.8051	0.7470
-50	0.0391	0.000648	0.383105	-8.797	158.658	149.861	-8.772	173.612	164.840	-0.0384	0.7780	0.7396
-45	0.0504	0.000654	0.302682	-4.429	156.337	151.908	-4.396	171.559	167.163	-0.0190	0.7519	0.7329
-40	0.0642	0.000659	0.241910	-0.042	153.990	153.948	0.000	169.479	169.479	0.0000	0.7269	0.7269
-35	0.0807	0.000666	0.195398	4.362	151.653	156.015	4.416	167.368	171.784	0.0187	0.7027	0.7214
-30	0.1004	0.000672	0.159375	8.787	149.288	158.075	8.854	165.222	174.076	0.0371	0.6794	0.7165
-25	0.1237	0.000679	0.131166	13.231	146.896	160.127	13.315	163.037	176.352	0.0552	0.6569	0.7121
-20	0.1509	0.000685	0.108847	17.697	144.488	162.185	17.800	160.810	178.610	0.0730	0.6352	0.7082
-15	0.1826	0.000693	0.091018	22.185	142.041	164.226	22.312	158.534	180.846	0.0906	0.6140	0.7046
-10	0.2191	0.000700	0.076646	26.698	139.567	166.265	26.851	156.207	183.058	0.1079	0.5935	0.7014
-5	0.2610	0.000708	0.064963	31.235	137.053	168.288	31.420	153.823	185.243	0.1250	0.5736	0.6986
0	0.3086	0.000716	0.055389	35.801	134.503	170.304	36.022	151.375	187.397	0.1418	0.5542	0.6960
5	0.3626	0.000724	0.047485	40.396	131.904	172.300	40.659	148.859	189.518	0.1585	0.5352	0.6937
10	0.4233	0.000733	0.040914	45.027	129.256	174.283	45.337	146.265	191.602	0.1750	0.5166	0.6916
15	0.4914	0.000743	0.035413	49.693	126.549	176.242	50.058	143.586	193.644	0.1914	0.4983	0.6897
20	0.5673	0.000752	0.030780	54.401	123.779	178.180	54.828	140.813	195.641	0.2076	0.4803	0.6879
25	0.6516	0.000763	0.026854	59.156	120.932	180.088	59.653	137.933	197.586	0.2237	0.4626	0.6863

Table A.3.1 Saturated Refrigerant 12 (Freon-12) - by temperature (cont.)

T °C	p MPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
30	0.7449	0.000774	0.023508	63.962	118.002	181.964	64.539	134.936	199.475	0.2397	0.4451	0.6848
35	0.8477	0.000786	0.026410	68.828	110.083	178.911	69.494	131.805	201.299	0.2557	0.4277	0.6834
40	0.9607	0.000798	0.018171	73.760	111.834	185.594	74.527	128.524	203.051	0.2716	0.4104	0.6820
45	1.0843	0.000811	0.016032	78.768	108.571	187.339	79.647	125.075	204.722	0.2875	0.3931	0.6806
50	1.2193	0.000826	0.014170	83.861	105.160	189.021	84.868	121.430	206.298	0.3034	0.3758	0.6792
55	1.3663	0.000841	0.012542	89.052	101.578	190.630	90.201	117.565	207.766	0.3194	0.3583	0.6777
60	1.5259	0.000858	0.011111	94.356	97.799	192.155	95.665	113.444	209.109	0.3355	0.3405	0.6760
65	1.6988	0.000877	0.009847	99.789	93.786	193.575	101.279	109.024	210.303	0.3518	0.3224	0.6742
70	1.8858	0.000897	0.008725	105.375	89.492	194.867	107.067	104.254	211.321	0.3683	0.3038	0.6721
75	2.0874	0.000920	0.007723	111.138	84.867	196.005	113.058	99.068	212.126	0.3851	0.2846	0.6697
80	2.3046	0.000946	0.006821	117.111	79.834	196.945	119.291	93.374	212.665	0.4023	0.2644	0.6667
85	2.5380	0.000976	0.006005	123.341	74.283	197.624	125.818	87.047	212.865	0.4201	0.2430	0.6631
90	2.7885	0.001012	0.005258	129.886	68.066	197.952	132.708	79.906	212.614	0.4385	0.2200	0.6585
95	3.0569	0.001056	0.004563	136.840	60.937	197.777	140.068	71.658	211.726	0.4579	0.1947	0.6526
100	3.3440	0.001113	0.003903	144.354	52.437	196.791	148.076	61.767	209.843	0.4788	0.1656	0.6444
105	3.6509	0.001197	0.003242	152.715	41.548	194.263	157.085	49.014	206.099	0.5023	0.1296	0.6319
110	3.9784	0.001364	0.002462	162.632	24.057	186.689	168.059	28.425	196.484	0.5322	0.0742	0.6064
112.2	4.1157	0.001800	0.00180	167.600	0.000	167.600	174.990	0.000	174.990	0.5653	0.0000	0.5653re

Table A.3.2 Saturated Refrigerant 12 (Freon-12) - by pressure.

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
3.00	-89.286	0.000609	4.21866	-42.63	176.91	134.28	-42.63	189.33	146.70	-0.2051	1.0297	0.8246
4.00	-85.714	0.000611	3.23421	-39.58	175.20	135.62	-39.58	187.90	148.32	-0.1887	1.0025	0.8138
6.00	-80.500	0.000617	2.22824	-35.12	172.61	137.49	-35.12	185.81	150.70	-0.1652	0.9645	0.7993
8.00	-76.538	0.000620	1.72248	-31.72	170.79	139.07	-31.72	184.24	152.52	-0.1478	0.9372	0.7893
10.00	-73.286	0.000624	1.39695	-28.93	169.30	140.37	-28.93	182.94	154.02	-0.1338	0.9155	0.7817
15.00	-67.000	0.000630	0.95561	-23.53	166.43	142.90	-23.52	180.45	156.93	-0.1071	0.8754	0.7683
20.00	-62.241	0.000635	0.72902	-19.42	164.27	144.85	-19.41	178.55	159.14	-0.0874	0.8467	0.7593
30.00	-55.000	0.000642	0.49100	-13.15	160.93	147.78	-13.13	175.64	162.51	-0.0581	0.8051	0.7470
40.00	-49.602	0.000648	0.37670	-8.45	158.47	150.02	-8.42	173.45	165.03	-0.0369	0.7759	0.7391
50.00	-45.177	0.000654	0.30553	-4.58	156.42	151.84	-4.55	171.63	167.08	-0.0197	0.7528	0.7331
60.00	-41.522	0.000657	0.26041	-1.38	154.70	153.33	-1.34	170.11	168.77	-0.0058	0.7345	0.7287
70.00	-38.242	0.000661	0.22556	1.51	153.17	154.67	1.55	168.74	170.29	0.0066	0.7184	0.7250
80.00	-35.212	0.000666	0.19737	4.18	151.75	155.93	4.23	167.46	171.69	0.0179	0.7037	0.7216
90.00	-32.640	0.000669	0.17839	6.45	150.54	156.99	6.51	166.35	172.87	0.0274	0.6917	0.7191
100.00	-30.102	0.000672	0.16011	8.70	149.34	158.03	8.76	165.27	174.03	0.0367	0.6799	0.7166
150.00	-20.165	0.000685	0.10959	17.55	144.57	162.12	17.65	160.88	178.54	0.0724	0.6359	0.7083
200.00	-12.616	0.000696	0.08417	24.34	140.86	165.20	24.48	157.42	181.90	0.0988	0.6042	0.7031
250.00	-6.313	0.000706	0.06803	30.04	137.71	167.76	30.22	154.45	184.67	0.1205	0.5788	0.6993
300.00	-0.903	0.000715	0.05712	34.98	134.96	169.94	35.19	151.82	187.01	0.1388	0.5577	0.6965

Table A.3.2 Saturated Refrigerant 12 - by pressure (cont.).

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
350.00	3.833	0.000722	0.04933	39.32	132.51	171.83	39.58	149.45	189.02	0.1546	0.5396	0.6942
400.00	8.081	0.000730	0.04344	43.25	130.27	173.52	43.54	147.26	190.80	0.1687	0.5237	0.6924
500.00	15.567	0.000744	0.03489	50.23	126.24	176.46	50.60	143.27	193.87	0.1932	0.4963	0.6895
600.00	21.940	0.000756	0.02926	56.25	122.67	178.92	56.70	139.70	196.40	0.2138	0.4734	0.6873
700.00	27.594	0.000769	0.02512	61.65	119.41	181.06	62.19	136.38	198.57	0.2320	0.4535	0.6855
800.00	32.680	0.000780	0.02506	66.57	113.76	180.33	67.19	133.26	200.45	0.2483	0.4358	0.6840
900.00	37.314	0.000792	0.02260	71.11	110.89	182.00	71.82	130.29	202.11	0.2631	0.4197	0.6828
1000.00	41.590	0.000802	0.01749	75.35	110.80	186.15	76.15	127.43	203.58	0.2767	0.4049	0.6816
1100.00	45.581	0.000813	0.01582	79.36	108.17	187.53	80.25	124.65	204.91	0.2893	0.3911	0.6804
1200.00	49.285	0.000824	0.01444	83.13	105.65	188.78	84.12	121.95	206.07	0.3011	0.3783	0.6794
1300.00	52.745	0.000834	0.01328	86.71	103.19	189.90	87.80	119.31	207.10	0.3122	0.3662	0.6784
1400.00	56.056	0.000845	0.01224	90.17	100.78	190.95	91.35	116.69	208.05	0.3228	0.3545	0.6773
1600.00	62.143	0.000866	0.01057	96.68	96.08	192.76	98.07	111.55	209.62	0.3425	0.3327	0.6752
1800.00	67.706	0.000888	0.00924	102.81	91.46	194.27	104.41	106.44	210.85	0.3607	0.3123	0.6731
2000.00	72.832	0.000910	0.00816	108.64	86.87	195.51	110.46	101.32	211.78	0.3778	0.2929	0.6707
2200.00	77.592	0.000933	0.00726	114.23	82.26	196.49	116.29	96.12	212.41	0.3940	0.2741	0.6681
2450.00	83.115	0.000965	0.00631	120.99	76.38	197.37	123.36	89.43	212.79	0.4134	0.2511	0.6645
2700.00	88.234	0.000999	0.00552	127.57	70.26	197.84	130.27	82.43	212.70	0.4320	0.2281	0.6601
2950.00	93.009	0.001038	0.00484	134.07	63.78	197.85	137.14	74.94	212.08	0.4502	0.2048	0.6549
3200.00	97.492	0.001084	0.00423	140.59	56.70	197.29	144.06	66.73	210.79	0.4683	0.1802	0.6485
3450.00	101.727	0.001142	0.00367	147.24	48.68	195.92	151.19	57.36	208.55	0.4869	0.1532	0.6401
3700.00	105.750	0.001222	0.00313	154.20	38.93	193.13	158.73	45.93	204.66	0.5068	0.1213	0.6281
4000.00	110.315	0.001431	0.00236	163.41	20.29	183.69	169.14	23.97	193.11	0.5374	0.0626	0.6000
4115.70	112.200	0.001800	0.00180	167.60	0.00	167.60	174.99	0.00	174.99	0.5653	0.0000	0.5653

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 12 (Freon-12).

(Source: G.J. Van Wylen and R.E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd edn, Wiley, New York, 1986, as based on data from E.I. du Pont de Nemours & Company, Inc.)

$p = 0.050 \text{ MPa}$					$p = 0.100 \text{ MPa}$					$p = 0.150 \text{ MPa}$				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
-20	0.341857	163.949	181.042	0.7912	-20	0.167701	163.091	179.861	0.7401	-20	0.114716	167.412	184.619	0.7318
-10	0.356227	168.946	186.757	0.8133	-10	0.175222	168.185	185.707	0.7628	-10	0.119866	172.680	190.660	0.7543
0	0.370508	174.042	192.567	0.8350	0	0.182647	173.363	191.628	0.7849	0	0.124932	178.022	196.762	0.7763
10	0.384716	179.235	198.471	0.8562	10	0.189994	178.629	197.628	0.8064	10	0.129930	183.438	202.927	0.7977
20	0.398863	184.526	204.469	0.8770	20	0.197277	183.979	203.707	0.8275	20	0.134873	188.929	209.160	0.8186
30	0.412959	189.909	210.557	0.8974	30	0.204506	189.415	209.866	0.8482	30	0.139768	194.498	215.463	0.8390
40	0.427012	195.382	216.733	0.9175	40	0.211691	194.935	216.104	0.8684	40	0.144625	200.141	221.835	0.8591
50	0.441030	200.946	222.997	0.9372	50	0.218839	200.537	222.421	0.8883	50	0.149450	205.860	228.277	0.8787
60	0.455017	206.593	229.344	0.9565	60	0.225955	206.220	228.815	0.9078	60	0.154247	211.652	234.789	0.8980
70	0.468978	212.325	235.774	0.9755	70	0.233044	211.981	235.285	0.9269	70	0.159020	217.518	241.371	0.9169
80	0.482917	218.136	242.282	0.9942	80	0.240111	217.818	241.829	0.9457	80	0.163774	223.454	248.020	0.9354
90	0.496838	224.026	248.868	1.0126	90	0.247159	223.730	248.446	0.9642	90				
$p = 0.200 \text{ MPa}$					$p = 0.250 \text{ MPa}$					$p = 0.300 \text{ MPa}$				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
0	0.088608	171.947	189.669	0.7320	0	0.069752	171.206	188.644	0.7139	0	0.057150	170.438	187.583	0.6984
10	0.092550	177.368	195.878	0.7543	10	0.073024	176.713	194.969	0.7366	10	0.059984	176.039	194.034	0.7216
20	0.096418	182.851	202.135	0.7760	20	0.076218	182.268	201.322	0.7587	20	0.062734	181.670	200.490	0.7440
30	0.100228	188.400	208.446	0.7972	30	0.079350	187.878	207.715	0.7801	30	0.065418	187.344	206.969	0.7658
40	0.103989	194.016	214.814	0.8178	40	0.082431	193.545	214.153	0.8010	40	0.068049	193.065	213.480	0.7869
50	0.107710	199.701	221.243	0.8381	50	0.085470	199.275	220.642	0.8214	50	0.070635	198.840	220.030	0.8075
60	0.1113970	204.941	227.735	0.8578	60	0.088474	205.067	227.185	0.8413	60	0.073185	204.672	226.627	0.8276
70	0.115055	211.280	234.291	0.8772	70	0.091449	210.923	233.785	0.8608	70	0.075705	210.562	233.273	0.8473
80	0.118690	217.172	240.910	0.8962	80	0.094398	216.844	240.443	0.8800	80	0.078200	216.511	239.971	0.8665
90	0.122304	223.132	247.593	0.9149	90	0.097327	222.828	247.160	0.8987	90	0.080673	222.521	246.723	0.8853
100	0.125901	229.159	254.339	0.9332	100	0.100238	228.877	253.936	0.9171	100	0.083127	228.592	253.530	0.9038
110	0.129483	235.250	261.147	0.9512	110	0.103134	234.987	260.770	0.9352	110	0.085566	234.721	260.391	0.9220

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 12 (cont.).

$p = 0.400$ MPa					$p = 0.500$ MPa					$p = 0.600$ MPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
20	0.045836	180.428	198.762	0.7199	20	0.035646	179.112	196.935	0.6999	20	0.030422	183.863	202.116	0.7065
30	0.047971	186.240	205.428	0.7423	30	0.037464	185.082	203.814	0.7230	30	0.031966	189.974	209.154	0.7291
40	0.050046	192.077	212.095	0.7639	40	0.039214	191.049	210.656	0.7452	40	0.033450	196.071	216.141	0.7511
50	0.052072	197.950	218.779	0.7849	50	0.040911	197.029	217.484	0.7667	50	0.033450	196.071	216.141	0.7511
60	0.054059	203.864	225.488	0.8054	60	0.042565	203.033	224.315	0.7875	60	0.034887	202.172	223.104	0.7723
70	0.056014	209.824	232.230	0.8253	70	0.044184	209.069	231.161	0.8077	70	0.036285	208.291	230.062	0.7929
80	0.057941	215.836	239.012	0.8448	80	0.045774	215.144	238.031	0.8275	80	0.037653	214.435	237.027	0.8129
90	0.059846	221.899	245.837	0.8638	90	0.047340	221.262	244.932	0.8467	90	0.038995	220.612	244.009	0.8324
100	0.061731	228.015	252.707	0.8825	100	0.048886	227.426	251.869	0.8656	100	0.040316	226.826	251.016	0.8514
110	0.063600	234.184	259.624	0.9008	110	0.050415	233.638	258.845	0.8840	110	0.041619	233.082	258.053	0.8700
120	0.065455	240.408	266.590	0.9187	120	0.051929	239.898	265.862	0.9021	120	0.042907	239.380	265.124	0.8882
130	0.067298	246.686	273.605	0.9364	130	0.053430	246.208	272.923	0.9198	130	0.044181	245.722	272.231	0.9061
$p = 0.700$ MPa					$p = 0.800$ MPa					$p = 0.900$ MPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
40	0.026761	188.847	207.580	0.7148	40	0.022830	187.660	205.924	0.7016	40	0.019744	186.400	204.170	0.6982
50	0.028100	195.075	214.745	0.7373	50	0.024068	194.036	213.290	0.7248	50	0.020912	192.944	211.765	0.7131
60	0.029387	201.283	221.854	0.7590	60	0.025247	200.360	220.558	0.7469	60	0.022012	199.401	219.212	0.7358
70	0.030632	207.489	228.931	0.7799	70	0.026380	206.662	227.766	0.7682	70	0.023062	205.808	226.564	0.7575
80	0.031843	213.707	235.997	0.8002	80	0.027477	212.959	234.941	0.7888	80	0.024072	212.191	233.856	0.7785
90	0.033027	219.947	243.066	0.8199	90	0.028545	219.265	242.101	0.8088	90	0.025051	218.567	241.113	0.7987
100	0.034189	226.214	250.146	0.8392	100	0.029588	225.590	249.260	0.8283	100	0.026005	224.951	248.355	0.8184
110	0.035332	232.515	257.247	0.8579	110	0.030612	231.938	256.428	0.8472	110	0.026937	231.350	255.593	0.8376
120	0.036458	238.853	264.374	0.8763	120	0.031619	238.318	263.613	0.8657	120	0.027851	237.773	262.839	0.8562
130	0.037572	245.331	271.631	0.8943	130	0.032612	244.730	270.820	0.8838	130	0.028751	244.224	270.100	0.8745
140	0.038673	251.649	278.720	0.9119	140	0.033592	251.181	278.055	0.9016	140	0.029639	250.706	277.381	0.8923
150	0.039764	258.111	285.946	0.9292	150	0.034563	257.670	285.320	0.9189	150	0.030515	257.224	284.687	0.9098

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 12 (cont.).

$p = 1.000$ MPa					$p = 1.200$ MPa					$p = 1.400$ MPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
50	0.018366	191.796	210.162	0.7021	50	0.014483	189.281	206.661	0.6812	50				
60	0.019410	198.400	217.810	0.7254	60	0.015463	196.249	214.805	0.7060	60	0.012579	193.846	211.457	0.6876
70	0.020397	204.922	225.319	0.7476	70	0.016368	203.045	222.687	0.7293	70	0.013448	200.995	219.822	0.7123
80	0.021341	211.398	232.739	0.7689	80	0.017221	209.733	230.398	0.7514	80	0.014147	208.085	227.891	0.7355
90	0.022251	217.850	240.101	0.7895	90	0.018032	216.357	237.995	0.7727	90	0.014997	214.770	235.766	0.7575
100	0.023133	224.297	247.430	0.8094	100	0.018812	222.944	245.518	0.7931	100	0.015710	221.518	243.512	0.7785
110	0.023993	230.750	254.743	0.8287	110	0.019567	229.513	252.993	0.8129	110	0.016393	228.220	251.170	0.7988
120	0.024835	237.218	262.053	0.8475	120	0.020301	236.080	260.441	0.8320	120	0.017053	234.896	258.770	0.8183
130	0.025661	243.708	269.369	0.8659	130	0.021018	242.653	267.875	0.8507	130	0.017695	241.561	266.334	0.8373
140	0.026474	350.225	376.699	0.8839	140	0.021721	249.242	275.307	0.8689	140	0.018321	248.228	273.877	0.8558
150	0.027275	256.772	284.047	0.9015	150	0.022412	255.851	282.745	0.8867	150	0.018934	254.903	281.411	0.8738
160	0.028068	263.351	291.419	0.9187	160	0.023093	262.483	290.195	0.9041	160	0.019535	261.597	288.946	0.8914
$p = 1.600$ MPa					$p = 1.800$ MPa					$p = 2.000$ MPa				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K	T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg.K
70	0.011208	198.717	216.650	0.6959	70	0.009406	196.118	213.049	0.6794	70				
80	0.011984	206.003	225.177	0.7204	80	0.010187	203.861	222.198	0.7057	80	0.008704	201.451	218.859	0.6909
90	0.012698	213.073	233.390	0.7433	90	0.010884	211.244	230.835	0.7298	90	0.009406	209.244	228.056	0.7166
100	0.013366	220.011	241.397	0.7651	100	0.011526	218.408	239.155	0.7524	100	0.010035	216.690	236.760	0.7402
110	0.014000	226.864	249.264	0.7859	110	0.012126	225.437	247.264	0.7739	110	0.010615	223.924	245.154	0.7624
120	0.014608	233.662	257.035	0.8059	120	0.012697	232.373	255.228	0.7944	120	0.011159	231.023	253.341	0.7835
130	0.015195	240.430	264.742	0.8253	130	0.013244	239.255	263.094	0.8141	130	0.011676	238.032	261.384	0.8037
140	0.015765	247.182	272.406	0.8440	140	0.013772	246.101	270.891	0.8332	140	0.012172	244.983	269.327	0.8232
150	0.016320	253.932	280.044	0.8623	150	0.014284	252.931	278.642	0.8518	150	0.012651	251.899	277.201	0.8420
160	0.016864	260.687	287.669	0.8801	160	0.014784	259.753	286.364	0.8698	160	0.013116	258.795	285.027	0.8603
170	0.017398	267.453	295.290	0.8975	170	0.015272	266.579	294.069	0.8874	170	0.013570	265.682	292.822	0.8781
180	0.017923	274.237	302.914	0.9145	180	0.015752	273.413	301.767	0.9046	180	0.014013	272.572	300.598	0.8955

Table A.3.3 Superheated Refrigerant 12 (cont.).

<i>p</i> = 2.500 MPa					<i>p</i> = 3.000 MPa					<i>p</i> = 3.500 MPa				
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K	<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K
90	0.006595	203.075	219.562	0.6823	90					90				
100	0.007264	211.692	229.852	0.7103	100	0.005231	204.836	220.529	0.6770	100				
110	0.007837	219.679	239.271	0.7352	110	0.005886	214.410	232.068	0.7075	110	0.004324	206.987	222.121	0.6750
120	0.008351	227.315	248.192	0.7582	120	0.006419	222.951	242.208	0.7336	120	0.004959	217.519	234.875	0.7078
130	0.008827	234.727	256.794	0.7798	130	0.006887	230.971	251.632	0.7573	130	0.005456	226.565	245.661	0.7349
140	0.009273	241.998	265.180	0.8003	140	0.007313	238.681	260.620	0.7793	140	0.005884	234.930	255.524	0.7591
150	0.009697	249.172	273.414	0.8200	150	0.007709	246.192	269.319	0.8001	150	0.006270	242.901	264.846	0.7814
160	0.010104	256.280	281.540	0.8390	160	0.008083	253.568	277.817	0.8200	160	0.006626	250.626	273.817	0.8023
170	0.010497	263.347	289.589	0.8574	170	0.008439	260.854	286.171	0.8391	170	0.006961	258.182	282.545	0.8222
180	0.010879	270.386	297.583	0.8752	180	0.008782	268.076	294.422	0.8575	180	0.007279	265.624	291.100	0.8413
190	0.011250	277.415	305.540	0.8926	190	0.009114	275.255	302.597	0.8753	190	0.007584	272.984	299.528	0.8597
200	0.011614	284.437	313.472	0.9095	200	0.009436	282.410	310.718	0.8927	200	0.007878	280.291	307.864	0.8775
<i>p</i> = 4.000 MPa														
<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg.K										
120	0.003736	209.919	224.863	0.6771										
130	0.004325	221.143	238.443	0.7111										
140	0.004781	230.579	249.703	0.7386										
150	0.005172	239.216	259.904	0.7630										
160	0.005522	247.404	269.492	0.7854										
170	0.005845	255.304	278.684	0.8063										
180	0.006147	263.014	287.602	0.8262										
190	0.006434	270.590	296.326	0.8453										
200	0.006708	278.074	304.906	0.8636										
210	0.006972	285.492	313.380	0.8813										
220	0.007228	292.862	321.774	0.8985										
230	0.007477	300.200	330.108	0.9152										

Table A.4.1 Saturated Refrigerant 134a (Freon-134a) - by temperature.

(Source: 2005 *ASHRAE Handbook, Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.)

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
-100.00	0.560	0.000632	25.19300	75.36	247.38	322.74	75.36	261.49	336.85	0.4354	1.5102	1.9456
-90.00	1.520	0.000643	9.76980	87.23	240.68	327.91	87.23	255.53	342.76	0.5020	1.3952	1.8972
-80.00	3.670	0.000654	4.26820	99.16	234.01	333.17	99.16	249.67	348.83	0.5654	1.2926	1.8580
-70.00	7.980	0.000666	2.05900	111.19	227.39	338.59	111.20	243.82	355.02	0.6262	1.2002	1.8264
-60.00	15.910	0.000678	1.07900	123.35	220.79	344.14	123.36	237.95	361.31	0.6846	1.1164	1.8010
-50.00	29.450	0.000691	0.60620	135.65	214.15	349.80	135.67	231.98	367.65	0.7410	1.0396	1.7806
-40.00	51.210	0.000705	0.36108	148.10	207.41	355.51	148.14	225.86	374.00	0.7956	0.9687	1.7643
-30.00	84.380	0.000720	0.22594	160.73	200.53	361.26	160.79	219.53	380.32	0.8486	0.9029	1.7515
-28.00	92.700	0.000723	0.20680	163.27	199.13	362.40	163.34	218.23	381.57	0.8591	0.8901	1.7492
-26.00	101.67	0.000726	0.18958	165.83	197.72	363.55	165.90	216.92	382.82	0.8694	0.8777	1.7471
-24.00	111.30	0.000730	0.17407	168.39	196.31	364.70	168.47	215.60	384.07	0.8798	0.8653	1.7451
-22.00	121.65	0.000733	0.16006	170.96	194.89	365.85	171.05	214.27	385.32	0.8900	0.8532	1.7432
-20.00	132.73	0.000736	0.14739	173.54	193.44	366.99	173.64	212.91	386.55	0.9002	0.8411	1.7413
-18.00	144.60	0.000740	0.13592	176.12	192.01	368.14	176.23	211.56	387.79	0.9104	0.8292	1.7396
-16.00	157.28	0.000743	0.12551	178.71	190.57	369.28	178.83	210.19	389.02	0.9205	0.8174	1.7379
-14.00	170.82	0.000746	0.11605	181.31	189.10	370.42	181.44	208.80	390.24	0.9306	0.8057	1.7363
-12.00	185.24	0.000750	0.10744	183.93	187.63	371.56	184.07	207.39	391.46	0.9407	0.7941	1.7348
-10.00	200.60	0.000754	0.09959	186.55	186.13	372.68	186.70	205.96	392.66	0.9506	0.7828	1.7334
-8.00	216.93	0.000757	0.09242	189.18	184.65	373.82	189.34	204.53	393.87	0.9606	0.7714	1.7320
-6.00	234.28	0.000761	0.08587	191.81	183.13	374.94	191.99	203.07	395.06	0.9705	0.7602	1.7307
-4.00	252.68	0.000765	0.07987	194.46	181.61	376.07	194.65	201.60	396.25	0.9804	0.7490	1.7294
-2.00	272.17	0.000768	0.07436	197.11	180.08	377.19	197.32	200.11	397.43	0.9902	0.7380	1.7282
0.0	292.80	0.000772	0.06931	199.77	178.53	378.31	200.00	198.60	398.60	1.0000	0.7271	1.7271

Table A.4.1 Saturated Refrigerant 134a (Freon-134a) - by temperature (cont.)

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
0.0	292.80	0.000772	0.06931	199.77	178.53	378.31	200.00	198.60	398.60	1.0000	0.7271	1.7271
2.0	314.62	0.000776	0.06466	202.45	176.98	379.43	202.69	197.08	399.77	1.0098	0.7162	1.7260
4.0	337.66	0.000780	0.06039	205.14	175.39	380.53	205.40	195.52	400.92	1.0195	0.7055	1.7250
6.0	361.98	0.000784	0.05644	207.83	173.80	381.63	208.11	193.95	402.06	1.0292	0.6948	1.7240
8.0	387.61	0.000789	0.05280	210.53	172.20	382.73	210.84	192.36	403.20	1.0388	0.6842	1.7230
10.0	414.61	0.000793	0.04944	213.25	170.57	383.82	213.58	190.74	404.32	1.0485	0.6736	1.7221
12.0	443.01	0.000797	0.04633	215.98	168.93	384.91	216.33	189.10	405.43	1.0581	0.6631	1.7212
14.0	472.88	0.000802	0.04345	218.71	167.27	385.98	219.09	187.44	406.53	1.0677	0.6527	1.7204
16.0	504.25	0.000807	0.04078	221.46	165.58	387.05	221.87	185.74	407.61	1.0772	0.6424	1.7196
18.0	537.18	0.000811	0.03830	224.22	163.89	388.12	224.66	184.03	408.69	1.0867	0.6321	1.7188
20.0	571.71	0.000816	0.03600	227.00	162.17	389.17	227.47	182.28	409.75	1.0962	0.6218	1.7180
22.0	607.89	0.000821	0.03385	229.79	160.42	390.21	230.29	180.50	410.79	1.1057	0.6116	1.7173
24.0	645.78	0.000826	0.03186	232.59	158.66	391.25	233.12	178.70	411.82	1.1152	0.6014	1.7166
26.0	685.43	0.000831	0.03000	235.40	156.88	392.28	235.97	176.87	412.84	1.1246	0.5913	1.7159
28.0	726.88	0.000837	0.02826	238.23	155.07	393.30	238.84	175.00	413.84	1.1341	0.5811	1.7152
30.0	770.20	0.000842	0.02664	241.07	153.23	394.30	241.72	173.10	414.82	1.1435	0.5710	1.7145
32.0	815.43	0.000848	0.02513	243.93	151.36	395.29	244.62	171.16	415.78	1.1529	0.5609	1.7138
34.0	862.63	0.000854	0.02371	246.80	149.46	396.27	247.54	169.18	416.72	1.1623	0.5508	1.7131
36.0	911.85	0.000860	0.02238	249.70	147.55	397.24	250.48	167.17	417.65	1.1717	0.5407	1.7124
38.0	963.15	0.000866	0.02113	252.60	145.60	398.20	253.43	165.12	418.55	1.1811	0.5307	1.7118
40.0	1016.60	0.000872	0.01997	255.52	143.61	399.13	256.41	163.02	419.43	1.1905	0.5206	1.7111
42.0	1072.20	0.000879	0.01887	258.47	141.58	400.05	259.41	160.87	420.28	1.1999	0.5104	1.7103
44.0	1130.10	0.000885	0.01784	261.43	139.52	400.95	262.43	158.68	421.11	1.2092	0.5004	1.7096
46.0	1190.30	0.000892	0.01687	264.41	137.43	401.84	265.47	156.45	421.92	1.2186	0.4903	1.7089
48.0	1252.90	0.000900	0.01595	267.40	135.30	402.71	268.53	154.16	422.69	1.2280	0.4801	1.7081
50.0	1317.90	0.000907	0.01509	270.42	133.13	403.55	271.62	151.82	423.44	1.2375	0.4697	1.7072

Table A.4.1 Saturated Refrigerant 134a (Freon-134a) - by temperature (cont.)

T °C	p kPa	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
50.0	1317.90	0.000907	0.01509	270.42	133.13	403.55	271.62	151.82	423.44	1.2375	0.4697	1.7072
52.0	1385.40	0.000915	0.01428	273.47	130.89	404.37	274.74	149.41	424.15	1.2469	0.4595	1.7064
54.0	1455.50	0.000923	0.01351	276.55	128.62	405.17	277.89	146.94	424.83	1.2563	0.4492	1.7055
56.0	1528.20	0.000932	0.01278	279.64	126.30	405.94	281.06	144.41	425.47	1.2658	0.4387	1.7045
58.0	1603.60	0.000941	0.01209	282.76	123.92	406.68	284.27	141.80	426.07	1.2753	0.4282	1.7035
60.0	1681.80	0.000950	0.01144	285.90	121.49	407.39	287.50	139.13	426.63	1.2848	0.4176	1.7024
62.0	1762.80	0.000960	0.01083	289.09	118.96	408.05	290.78	136.36	427.14	1.2944	0.4069	1.7013
64.0	1846.70	0.000970	0.01024	292.30	116.40	408.70	294.09	133.52	427.61	1.3040	0.3960	1.7000
66.0	1933.70	0.000980	0.00969	295.54	113.74	409.28	297.44	130.58	428.02	1.3137	0.3850	1.6987
68.0	2023.70	0.000992	0.00916	298.83	110.99	409.82	300.84	127.52	428.36	1.3234	0.3738	1.6972
70.0	2116.80	0.001004	0.00865	302.16	108.18	410.34	304.28	124.37	428.65	1.3332	0.3624	1.6956
72.0	2213.20	0.001016	0.00817	305.53	105.25	410.78	307.78	121.08	428.86	1.3430	0.3509	1.6939
74.0	2313.00	0.001030	0.00771	308.95	102.22	411.17	311.33	117.67	429.00	1.3530	0.3390	1.6920
76.0	2416.10	0.001045	0.00727	312.42	99.06	411.47	314.94	114.10	429.04	1.3631	0.3268	1.6899
78.0	2522.80	0.001060	0.00685	315.95	95.74	411.70	318.63	110.35	428.98	1.3733	0.3143	1.6876
80.0	2633.20	0.001077	0.00645	319.55	92.27	411.83	322.39	106.42	428.81	1.3836	0.3014	1.6850
85.0	2925.80	0.001127	0.00550	328.92	82.75	411.67	332.22	95.54	427.76	1.4104	0.2667	1.6771
90.0	3244.20	0.001194	0.00461	339.06	71.41	410.46	342.93	82.49	425.42	1.4390	0.2272	1.6662
95.0	3591.20	0.001294	0.00374	350.60	56.64	407.24	355.25	65.42	420.67	1.4715	0.1777	1.6492
100.0	3972.40	0.001536	0.00268	367.20	29.83	397.03	373.30	34.38	407.68	1.5188	0.0921	1.6109
101.1	4059.30	0.001954	0.00195	381.71	0.01	381.72	389.64	0.00	389.64	1.5621	0.0000	1.5621

Table A.4.2 Saturated Refrigerant 134a (Freon-134a) - by pressure.

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
0.70	-98.542	0.000634	22.94378	77.09	246.40	323.50	77.09	260.62	337.71	0.4451	1.4934	1.9385
1.00	-95.417	0.000637	18.12403	80.80	244.31	325.11	80.80	258.76	339.56	0.4659	1.4575	1.9234
3.00	-83.116	0.000651	5.98265	95.44	236.09	331.53	95.44	251.50	346.94	0.5456	1.3246	1.8702
6.00	-74.594	0.000660	3.07390	105.66	230.43	336.10	105.67	246.51	352.18	0.5983	1.2426	1.8409
10.00	-67.453	0.000669	1.80937	114.29	225.71	340.00	114.30	242.32	356.62	0.6411	1.1789	1.8199
25.00	-53.287	0.000687	0.76159	131.61	216.33	347.94	131.62	233.94	365.57	0.7225	1.0648	1.7873
50.00	-40.556	0.000705	0.37471	147.41	207.78	355.19	147.45	226.20	373.65	0.7926	0.9726	1.7652
75.00	-32.828	0.000716	0.26416	157.16	202.47	359.63	157.21	221.32	378.53	0.8336	0.9215	1.7551
100.00	-26.372	0.000726	0.19279	165.35	197.98	363.33	165.42	217.16	382.59	0.8675	0.8800	1.7475
120.00	-22.319	0.000732	0.16229	170.55	195.11	365.66	170.64	214.48	385.12	0.8884	0.8551	1.7435
130.00	-20.493	0.000735	0.15051	172.91	193.80	366.71	173.00	213.25	386.25	0.8977	0.8441	1.7418
140.00	-18.775	0.000738	0.14036	175.12	192.57	367.69	175.23	212.08	387.31	0.9064	0.8338	1.7403
150.00	-17.148	0.000741	0.13149	177.23	191.40	368.62	177.34	210.98	388.31	0.9147	0.8242	1.7389
160.00	-15.598	0.000744	0.12361	179.24	190.27	369.51	179.35	209.91	389.27	0.9225	0.8150	1.7376
170.00	-14.121	0.000746	0.11662	181.16	189.19	370.35	181.28	208.88	390.17	0.9300	0.8064	1.7364
180.00	-12.727	0.000749	0.11057	182.98	188.16	371.14	183.11	207.90	391.02	0.9370	0.7983	1.7353
190.00	-11.380	0.000751	0.10501	184.74	187.16	371.91	184.89	206.95	391.83	0.9438	0.7906	1.7344
200.00	-10.078	0.000753	0.09990	186.45	186.19	372.64	186.60	206.02	392.61	0.9502	0.7832	1.7335
220.00	-7.646	0.000758	0.09126	189.64	184.38	374.02	189.81	204.27	394.08	0.9624	0.7694	1.7318
240.00	-5.378	0.000762	0.08400	192.63	182.66	375.29	192.82	202.61	395.43	0.9736	0.7567	1.7303
260.00	-3.249	0.000766	0.07780	195.45	181.04	376.49	195.65	201.04	396.69	0.9841	0.7449	1.7289
280.00	-1.241	0.000770	0.07244	198.12	179.49	377.61	198.34	199.54	397.87	0.9939	0.7339	1.7278
300.00	0.660	0.000774	0.06778	200.66	178.02	378.68	200.89	198.10	398.99	1.0032	0.7235	1.7267

Table A.4.2 Saturated Refrigerant 134a - by pressure (cont.).

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
300.00	0.660	0.000774	0.06778	200.66	178.02	378.68	200.89	198.10	398.99	1.0032	0.7235	1.7267
325.00	2.901	0.000778	0.06274	203.66	176.27	379.92	203.91	196.38	400.29	1.0142	0.7114	1.7255
350.00	5.015	0.000782	0.05839	206.50	174.59	381.09	206.78	194.72	401.50	1.0244	0.7001	1.7245
375.00	7.016	0.000787	0.05459	209.20	172.99	382.19	209.50	193.14	402.64	1.0341	0.6894	1.7235
400.00	8.918	0.000791	0.05126	211.78	171.45	383.23	212.10	191.62	403.71	1.0433	0.6793	1.7226
450.00	12.468	0.000799	0.04566	216.62	168.54	385.16	216.98	188.71	405.69	1.0603	0.6607	1.7210
500.00	15.729	0.000806	0.04114	221.09	165.81	386.90	221.49	185.97	407.46	1.0759	0.6438	1.7197
550.00	18.743	0.000813	0.03745	225.26	163.25	388.51	225.70	183.38	409.08	1.0902	0.6283	1.7185
600.00	21.564	0.000820	0.03432	229.18	160.80	389.99	229.68	180.89	410.56	1.1036	0.6138	1.7175
650.00	24.213	0.000827	0.03166	232.89	158.47	391.36	233.42	178.51	411.93	1.1162	0.6003	1.7165
700.00	26.703	0.000833	0.02939	236.40	156.24	392.64	236.98	176.21	413.19	1.1279	0.5877	1.7157
750.00	29.067	0.000840	0.02740	239.75	154.09	393.83	240.38	173.99	414.36	1.1391	0.5757	1.7148
800.00	31.318	0.000846	0.02565	242.95	152.00	394.95	243.63	171.82	415.45	1.1497	0.5643	1.7140
850.00	33.465	0.000852	0.02409	246.03	149.97	396.01	246.76	169.71	416.47	1.1598	0.5535	1.7133
900.00	35.518	0.000858	0.02270	249.00	148.01	397.01	249.77	167.65	417.43	1.1694	0.5431	1.7126
950.00	37.487	0.000864	0.02145	251.85	146.10	397.95	252.67	165.65	418.32	1.1787	0.5333	1.7120
1000.00	39.379	0.000870	0.02033	254.61	144.23	398.84	255.48	163.67	419.16	1.1876	0.5237	1.7113
1050.00	41.201	0.000876	0.01931	257.29	142.39	399.68	258.21	161.73	419.94	1.1961	0.5145	1.7106
1100.00	42.960	0.000882	0.01838	259.89	140.59	400.48	260.86	159.82	420.68	1.2044	0.5056	1.7100
1150.00	44.661	0.000888	0.01752	262.41	138.83	401.24	263.43	157.94	421.38	1.2123	0.4971	1.7094
1200.00	46.310	0.000894	0.01673	264.87	137.10	401.97	265.94	156.10	422.04	1.2201	0.4887	1.7088
1250.00	47.907	0.000899	0.01599	267.26	135.40	402.67	268.39	154.27	422.65	1.2276	0.4806	1.7081
1300.00	49.449	0.000905	0.01533	269.59	133.73	403.32	270.77	152.46	423.23	1.2349	0.4726	1.7074
1350.00	50.951	0.000911	0.01470	271.87	132.07	403.94	273.10	150.67	423.78	1.2420	0.4648	1.7068
1400.00	52.417	0.000917	0.01412	274.11	130.42	404.53	275.40	148.90	424.29	1.2489	0.4574	1.7062

Table A.4.2 Saturated Refrigerant 134a - by pressure (cont.).

p kPa	T °C	v_f m ³ /kg	v_g m ³ /kg	u_f kJ/kg	u_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_f kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	h_g kJ/kg	s_f kJ/kgK	s_{fg} kJ/kgK	s_g kJ/kgK
1400.00	52.417	0.000917	0.01412	274.11	130.42	404.53	275.40	148.90	424.29	1.2489	0.4574	1.7062
1450.00	53.843	0.000923	0.01357	276.31	128.80	405.10	277.64	147.13	424.78	1.2556	0.4500	1.7056
1500.00	55.224	0.000928	0.01306	278.44	127.20	405.64	279.83	145.39	425.22	1.2621	0.4428	1.7049
1600.00	57.905	0.000940	0.01212	282.61	124.03	406.65	284.12	141.92	426.04	1.2748	0.4287	1.7035
1700.00	60.449	0.000952	0.01130	286.62	120.92	407.54	288.24	138.51	426.74	1.2870	0.4152	1.7022
1800.00	62.887	0.000964	0.01057	290.51	117.83	408.34	292.25	135.10	427.35	1.2987	0.4021	1.7007
1900.00	65.225	0.000976	0.00990	294.29	114.77	409.06	296.14	131.72	427.86	1.3099	0.3893	1.6992
2000.00	67.473	0.000989	0.00930	297.97	111.71	409.68	299.94	128.33	428.27	1.3208	0.3767	1.6976
2100.00	69.639	0.001002	0.00874	301.56	108.69	410.25	303.66	124.94	428.60	1.3314	0.3645	1.6959
2200.00	71.726	0.001015	0.00824	305.07	105.65	410.72	307.30	121.53	428.83	1.3417	0.3525	1.6941
2300.00	73.739	0.001028	0.00777	308.50	102.61	411.12	310.87	118.11	428.98	1.3517	0.3406	1.6922
2400.00	75.688	0.001042	0.00734	311.87	99.55	411.43	314.38	114.66	429.03	1.3615	0.3287	1.6902
2600.00	79.399	0.001072	0.00657	318.47	93.32	411.79	321.26	107.60	428.86	1.3805	0.3053	1.6858
2800.00	81.140	0.001106	0.00591	324.89	86.84	411.74	327.99	100.22	428.21	1.3989	0.2816	1.6805
3000.00	82.466	0.001143	0.00529	331.28	80.10	411.39	334.72	92.50	427.21	1.4171	0.2575	1.6746
3200.00	83.722	0.001184	0.00473	337.65	72.98	410.63	341.44	84.30	425.74	1.4350	0.2327	1.6677
3400.00	84.898	0.001239	0.00422	344.24	64.77	409.02	348.46	74.83	423.29	1.4536	0.2050	1.6586
3600.00	86.046	0.001300	0.00372	350.99	56.02	407.00	355.67	64.70	420.37	1.4726	0.1757	1.6483
3800.00	87.095	0.001426	0.00316	359.69	41.96	401.65	365.14	48.42	413.55	1.4974	0.1308	1.6282
4000.00	92.148	0.001668	0.00245	371.81	20.36	392.17	378.49	23.46	401.95	1.5326	0.0628	1.5954
4059.30	101.060	0.001954	0.00195	389.64	0.00	389.64	389.64	0.00	389.64	1.5621	0.0000	1.5621

Table A.4.3 Superheated Refrigerant 134a (Freon-134a)

(Source: 2005 *ASHRAE Handbook, Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.)

$p = 101.33$ kPa					$p = 200.00$ kPa					$p = 400.00$ kPa				
T	v	u	h	s	T	v	u	h	s	T	v	u	h	s
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K
-20	0.195695	367.85	387.68	1.7667										
-10	0.204499	374.93	395.65	1.7976	-10	0.099900	372.79	392.77	1.7339					
0	0.213220	382.14	403.74	1.8278	0	0.104822	380.25	401.21	1.7654					
10	0.222222	389.45	411.97	1.8574	10	0.109529	387.82	409.73	1.7961	10	0.051520	384.17	404.78	1.7263
20	0.230415	396.99	420.34	1.8864	20	0.114155	395.52	418.35	1.8260	20	0.054201	392.32	414	1.7583
30	0.239234	404.61	428.85	1.9150	30	0.118765	403.32	427.07	1.8552	30	0.056786	400.50	423.21	1.7892
40	0.247525	412.44	437.52	1.9431	40	0.123153	402.44	427.07	1.8839	40	0.059277	408.75	432.46	1.8192
50	0.255754	420.42	446.33	1.9708	50	0.127714	401.53	427.07	1.9121	50	0.061728	417.07	441.76	1.8485
60	0.264550	428.49	455.30	1.9981	60	0.132100	400.65	427.07	1.9398	60	0.064103	425.51	451.15	1.8771
70	0.272480	436.82	464.43	2.0251	70	0.136426	399.78	427.07	1.9671	70	0.066445	434.05	460.63	1.9051
80	0.280899	445.24	473.70	2.0518	80	0.140647	398.94	427.07	1.9940	80	0.068776	442.70	470.21	1.9326
90	0.289017	453.85	483.13	2.0781	90	0.145138	398.04	427.07	2.0206	90	0.071023	451.50	479.91	1.9597
100	0.297619	462.55	492.71	2.1041	100	0.149254	397.22	427.07	2.0468	100	0.073260	460.42	489.72	1.9864
110	0.305810	471.45	502.44	2.1298	110	0.153610	396.35	427.07	2.0727	110	0.075529	469.44	499.65	2.0126
120	0.313480	480.56	512.32	2.1553	120	0.157729	395.52	427.07	2.0983	120	0.077700	478.63	509.71	2.0386
130	0.321543	489.77	522.35	2.1805	130	0.162075	394.66	427.07	2.1236	130	0.079936	487.93	519.9	2.0641
140	0.330033	499.08	532.52	2.2054	140	0.166389	393.79	427.07	2.1486	140	0.082102	497.37	530.21	2.0894
150	0.337838	508.60	542.83	2.2301	150	0.170358	393.00	427.07	2.1734	150	0.084246	506.96	540.66	2.1144

Table A.4.3 Superheated Refrigerant 134a (cont.)

$p = 600.00$ kPa					$p = 800.00$ kPa					$p = 1000.00$ kPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K
30	0.035984	397.38	418.97	1.7455										
40	0.037864	406.00	428.72	1.7772	40	0.027042	402.98	424.61	1.7437	40	0.020429	399.56	419.99	1.7139
50	0.039667	414.64	438.44	1.8077	50	0.028547	412.01	434.85	1.7758	50	0.021805	409.10	430.91	1.7482
60	0.041391	423.33	448.16	1.8374	60	0.029976	421.00	444.98	1.8067	60	0.023073	418.49	441.56	1.7807
70	0.043066	432.09	457.93	1.8662	70	0.031348	430.00	455.08	1.8366	70	0.024266	427.78	452.05	1.8117
80	0.044703	440.93	467.75	1.8944	80	0.032658	439.04	465.17	1.8656	80	0.025407	437.06	462.47	1.8416
90	0.046318	449.86	477.65	1.9221	90	0.033944	448.14	475.30	1.8939	90	0.026497	446.36	472.86	1.8706
100	0.047893	458.90	487.64	1.9492	100	0.035199	457.33	485.49	1.9215	100	0.027556	455.70	483.26	1.8989
110	0.049456	468.05	497.72	1.9759	110	0.036417	466.61	495.74	1.9486	110	0.028580	465.11	493.69	1.9265
120	0.050994	477.32	507.92	2.0022	120	0.037622	475.97	506.07	1.9753	120	0.029586	474.60	504.19	1.9535
130	0.052521	486.71	518.22	2.0280	130	0.038805	485.46	516.50	2.0015	130	0.030572	484.18	514.75	1.9800
140	0.054025	496.22	528.63	2.0536	140	0.039984	495.04	527.03	2.0272	140	0.031546	493.84	525.39	2.0061
150	0.055525	505.86	539.17	2.0787	150	0.041135	504.75	537.66	2.0527	150	0.032510	503.61	536.12	2.0318
160	0.057013	515.61	549.82	2.1036	160	0.042283	514.57	548.40	2.0777	160	0.033445	513.51	546.95	2.0571
170	0.058480	525.50	560.59	2.1282	170	0.043422	524.50	559.24	2.1025	170	0.034388	523.49	557.88	2.0820
180	0.059952	535.51	571.48	2.1525	180	0.044543	534.57	570.20	2.1270	180	0.035311	533.60	568.91	2.1066
190	0.061387	545.67	582.50	2.1766	190	0.045683	544.73	581.28	2.1511	190	0.036232	543.82	580.05	2.1309
200	0.062854	555.92	593.63	2.2003	200	0.046795	555.02	592.46	2.1750	200	0.037147	554.14	591.29	2.1550

Table A.4.3 Superheated Refrigerant 134a (cont.)

$p = 1200.0$ kPa					$p = 1400.0$ kPa					$p = 1600.0$ kPa				
<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg,K
50	0.017215	405.85	426.51	1.7226										
60	0.018409	415.74	437.83	1.7571	60	0.015013	412.67	433.69	1.7347	60	0.012385	409.17	428.99	1.7124
70	0.019508	425.40	448.81	1.7896	70	0.016064	422.82	445.31	1.7691	70	0.013435	419.97	441.47	1.7493
80	0.020538	434.96	459.61	1.8206	80	0.017024	432.73	456.56	1.8014	80	0.014366	430.31	453.3	1.7833
90	0.021510	444.49	470.30	1.8504	90	0.017924	442.51	467.60	1.8322	90	0.015218	440.41	464.76	1.8153
100	0.022447	454.00	480.94	1.8794	100	0.018783	452.23	478.53	1.8619	100	0.016018	450.38	476.01	1.8458
110	0.023348	463.56	491.58	1.9075	110	0.019596	461.96	489.39	1.8906	110	0.016773	460.29	487.13	1.8753
120	0.024225	473.18	502.25	1.9350	120	0.020387	471.71	500.25	1.9186	120	0.017501	470.19	498.19	1.9038
130	0.025082	482.85	512.95	1.9619	130	0.021151	481.50	511.11	1.9459	130	0.018198	480.11	509.23	1.9315
140	0.025920	492.62	523.72	1.9882	140	0.021896	491.37	522.02	1.9726	140	0.018875	490.08	520.28	1.9586
150	0.026745	502.47	534.56	2.0142	150	0.022630	501.29	532.97	1.9988	150	0.019539	500.10	531.36	1.9851
160	0.027556	512.41	545.48	2.0397	160	0.023348	511.31	544.00	2.0246	160	0.020186	510.19	542.49	2.0111
170	0.028361	522.47	556.50	2.0648	170	0.024056	521.42	555.10	2.0499	170	0.020820	520.37	553.68	2.0366
180	0.029146	532.62	567.60	2.0896	180	0.024746	531.64	566.28	2.0748	180	0.021445	530.63	564.94	2.0617
190	0.029940	542.87	578.80	2.1141	190	0.025439	541.94	577.55	2.0994	190	0.022065	540.99	576.29	2.0865
200	0.030713	553.25	590.11	2.1382	200	0.026123	552.35	588.92	2.1237	200	0.022676	551.43	587.71	2.1109
210	0.031486	563.73	601.51	2.1621	210	0.026795	562.87	600.38	2.1477	210	0.023277	561.99	599.23	2.1350
220	0.032248	574.32	613.02	2.1856	220	0.027465	573.49	611.94	2.1714	220	0.023878	572.64	610.84	2.1588
240	0.033772	595.83	636.36	2.2320	240	0.028794	595.04	635.35	2.2179	240	0.025056	594.26	634.35	2.2055
250	0.034530	606.74	648.18	2.2548	250	0.029446	606.00	647.22	2.2408	250	0.025641	605.22	646.25	2.2285