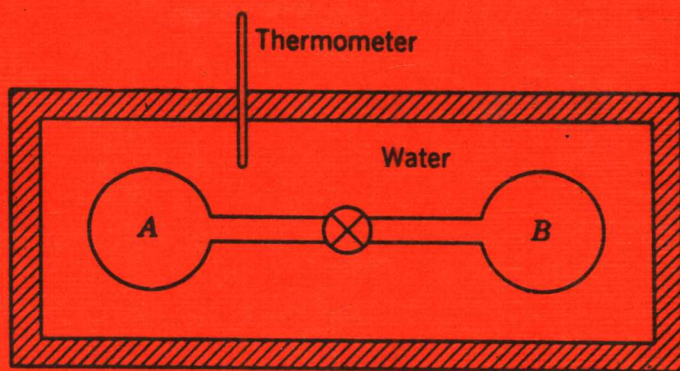


古典統計熱力學詳解

Introduction to Thermodynamics: Classical and Statistical

Richard E. Sonntag
Gordon J. Van Wylen



$$u = f(T)$$

曉園出版社

版權所有・翻印必究

中華民國七十二年一月初版

古典統計熱力學詳解

定價：新台幣 150 元

原著者：Van Wylen · Sonntag

譯著者：張 鴻 明

發行人：黃 旭 政

發行所：曉 園 出 版 社

臺北市永康街12巷2-3號

電話：(02) 394-9931 三線

郵撥：一九四五三號

門市部：台北市新生南路三段96號之三

電話：3917012 · 3947375

台北市重慶南路一段61號地下樓

電話：三一四九五八〇

印刷所：遠 大 印 刷 廠

臺北市武成街36巷16弄15號

出版登記：局版台業字第 1244 號

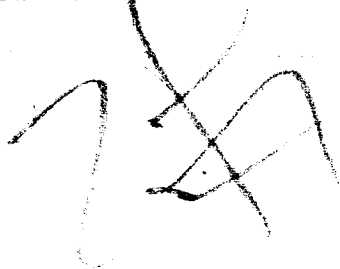
著作執照：台內著字第 號

前 言

研習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是該書的精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，曉園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。曉園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。



古典統計熱力學詳解

(目 錄)

第一章	緒 論	0
第二章	基本觀念及定義	1
第三章	純質之性質	7
第四章	功與熱	23
第五章	熱力學第一定律	35
第六章	適用於一控制體積的第一定律分析	55
第七章	熱力學第二定律	81
第八章	熵	87
第九章	控制體積應用於熱力學第二定律之分析	109
第十章	動力及冷凍循環	141
第十一章	混合物的熱力學概論	201
第十二章	熱力關係式	225
第十三章	化學反應	281
第十四章	相的平衡與化學平衡	311
第十五章	分子的分佈與模型	351

第二章 基本觀念及定義

- 2.1 一質量 1 kg 之物體受一 10 lbf 之加速力，試計算其加速度 cm/sec^2 和 ft/sec^2 。

解： $F = \frac{ma}{g_c}$

$$a = \frac{(10 \times 4.448 \times 10^5 \text{ dynes}) \left(1 \frac{\text{gm} \cdot \text{cm}}{\text{dyne} \cdot \text{sec}^2}\right)}{1,000 \text{ gm}} = 4448 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$$

$$a = \frac{(10 \text{ lbf}) \left(32.174 \frac{\text{lbm} \cdot \text{ft}}{\text{lbf} \cdot \text{sec}^2}\right)}{\left(\frac{1,000}{453.6} \text{ lbm}\right)} = 146 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2}$$

- 2.2 重力之“標準”加速度為 32.174 ft/sec^2 ，計算“標準”重力施於質量 1 gm 物質之力的達因數。

解： $g = 32.174 \frac{\text{ft}}{\text{sec}^2} \times 30.48 \frac{\text{cm}}{\text{ft}} = 980.66 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}$

$$F = \frac{mg}{g_c} = \frac{(1 \text{ gm}) \left(980.66 \frac{\text{cm}}{\text{sec}^2}\right)}{1 \frac{\text{gm} \cdot \text{cm}}{\text{dyne} \cdot \text{sec}^2}} = 980.66 \text{ dynes}$$

- 2.3 計算一 10 slugs 之物體在地球某處重力加速度為 30.2 ft/sec^2 之引力大小？它的重量為多少 lbf？它的質量為多少 lbm？

解： $m = 10 \text{ slugs} = 321.74 \text{ lbm}$

$$F = \frac{mg}{g_c} = \frac{321.74 \times 30.2}{32.174} = 302 \text{ lbf}$$

- 2.4 1 磅質量用一桿秤在 $g = 31.0 \text{ ft/sec}^2$ 下秤重，其讀數將為多少？如果用標準重力下讀數正確之彈簧秤，其讀數將為多少？

解： 1 lbf；用桿秤

$$F = \frac{1 \times 31.0}{32.174} = 0.964 \text{ lbf} , \text{ 用彈簧秤}$$

- 2.5 一固定質量之物體用一在海平面上校正過的彈簧秤在 20,000 ft 高度 ($g = 32.11 \text{ ft/sec}^2$) 下稱重, 彈簧秤上的讀數為 9.3 磅, 試問此物體的質量若干?

$$\text{解: } m = \frac{Fg_c}{g} = \frac{9.3 \times 32.174}{32.11} = 9.32 \text{ lbm}$$

- 2.6 一活塞面積 1 ft^2 , 若它能施一超過一大氣壓 10 lbf/in^2 之壓力於圓筒內之氣體, 則其質量應為多少? 假設為標準重力加速度。

$$\text{解: } F = 10 \times 1 \times 144 = 1440 \text{ lbf}$$

$$m = \frac{Fg_c}{g} = \frac{1440 \times 32.174}{32.174} = 1440 \text{ lbm}$$

- 2.7 假設在一太空軌道站上, 由於旋轉此太空站而有人為的重力加速度 5 ft/sec^2 產生, 則裏面一個 150 lbm 的人將有多少重?

$$\text{解: } F = \frac{ma}{g_c} = \frac{150 \times 5}{32.174} = 23.3 \text{ lbf}$$

- 2.8 證明 $1 \text{ lbf} = 4.448 \times 10^5 \text{ dynes}$ 的事實。

$$\text{解: } 1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm-ft/sec}^2$$

$$1 \text{ newton} = (2.2046 \text{ lbm}) \cdot \left(\frac{1}{0.3048} \text{ ft} \right) = 7.233 \text{ lbm-ft/sec}^2$$

$$1 \text{ lbf} = \frac{32.174}{7.233} = 4.448 \text{ newton} = 4.448 \times 10^5 \text{ dynes}$$

- 2.9 一計式壓力讀數 40.7 lbf/in^2 , 同時氣壓計讀數為 29.2 in Hg , 計算絕對壓力 lbf/in^2 和 atm 。

$$\begin{aligned} \text{解: } P &= 40.7 + 29.2 \times 0.491 = 55.0 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} \\ &= \frac{55.0}{14.7} = 3.74 \text{ atm} \end{aligned}$$

- 2.10 一差壓計含密度為 51.0 lbm/ft^3 之液體，其兩邊高度差為 20 in ，其壓力差為多少 lbf/in^2 ？若同樣的壓力差用一含水銀（密度 13.60 gm/cm^3 ）的差壓計中測量，則其兩邊高度差若干？

$$\text{解：} \Delta P = \rho \frac{Lg}{g_c} = \frac{51 \times \frac{20}{12} \times 32.174}{32.174 \times 144} = 0.59 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\text{以水銀代入：} L = \frac{\Delta P \cdot g_c}{\rho g} = \frac{0.59 \times 144 \times 32.174}{13.6 \times 62.4 \times 32.174} \times 12 = 1.2 \text{ in}$$

- 2.11 一水銀差壓計用來測一真空讀數 29.3 in ，同時水銀氣壓計讀數 29.7 in Hg ，試決定其壓力之 lbf/in^2 數和多少微米。

$$\text{解：} P = 0.40 \text{ in Hg} = 0.196 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} = 10,160 \text{ 微米}$$

- 2.12 一實驗飛機在高度 $40,000 \text{ ft}$ 上（ $g = 32.05 \text{ ft/sec}^2$ ）飛行，用一以水銀差壓計測量之儀器內測空氣流速液面差為 30 in 在海平面和同一溫度下，水銀之密度為 13.60 gm/cm^3 ，決定通過孔口之壓力降落 lbf/in^2 。

$$\text{解：} \rho = 13.6 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} = 849 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$\Delta P = \rho \frac{Lg}{g_c} = \frac{849 \times \frac{30}{12} \times 32.05}{32.174 \times 144} = 14.68 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

- 2.13 一水銀柱放在室外一儀器中用來測量壓力差 30 lbf/in^2 ，冬天之最低溫度為 0°F ，夏天之最高溫為 100°F 。試問當壓力差皆為 30 lbf/in^2 時在夏天所量水銀柱之高度和冬天所量之高度差為若干？假設為標準重力加速度，下列數據為查水銀之密度用

T $^\circ\text{C}$	密 度
-10	13.6198 gm/cm 3
0	13.5951 gm/cm 3
10	13.5704 gm/cm 3
20	13.5458 gm/cm 3
30	13.5213 gm/cm 3

$$\text{解} : \rho_{100^\circ\text{F}} = 842.9 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$L_{100^\circ\text{F}} = \frac{P \cdot g_c}{\rho_{100^\circ\text{F}} \cdot g} = \frac{30 \times 144 \times 32.174}{842.9 \times 32.174} = 5.13 \text{ ft}$$

$$\rho_{0^\circ\text{F}} = 851.343 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$L_{0^\circ\text{F}} = \frac{P \cdot g_c}{\rho_{0^\circ\text{F}} \cdot g} = \frac{30 \times 144 \times 32.174}{851.343 \times 32.174} = 5.07 \text{ ft}$$

$$\Delta L = 0.06 \text{ ft} = 0.72 \text{ in}$$

- 2.14 一接近真空室由 Cryopumping 達到很低壓力。這包括保持某些表面在很低溫度下（低至 5 K）。尤其是所有出現的氣體（除了氦）皆在這些表面冷凝， 1×10^{-8} torr 和更低的壓力皆由此種技術在空間室達成，試問 10^{-8} torr 用大氣壓，lbf/in² 和 dynes/cm² 表示各為若干？

$$\text{解} : 1 \times 10^{-8} \text{ mmHg} = 1.317 \times 10^{-11} \text{ std. atm.}$$

$$= 1.933 \times 10^{-10} \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} = 1.34 \times 10^{-5} \frac{\text{dynes}}{\text{cm}^2}$$

- 2.15 一含氣體之垂直汽缸配上一質量 150 lbm 之活塞，活塞截面積 60 in²，汽缸外之大氣壓為 14.2 lbf/in²。同時當地的重力加速度為 30.9 ft/sec²，試問汽缸內氣體之壓力若干？

$$\text{解} : F = \frac{mg}{g_c} = \frac{150 \times 30.9}{32.174} = 144.06 \text{ lbf}$$

$$P = P_{\text{atm}} + P_{\text{piston}} = 14.2 + \frac{144.6}{60} = 16.60 \text{ lbf/in}^2$$

- 2.16 在一封閉水塔內之液面高於地面 100 ft，水面上之空氣壓力為 17 lbf/in²，水的平均密度為 62.4 lbm/ft³，試問地平面上之水壓力為多少？

$$\text{解} : P_{z=0} = 17 + \frac{62.4 \times 100}{144} \times \frac{32.174}{32.174} = 60.3 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

- 2.17 一氣體容於圓柱 A 和 B 內，用一兩邊不同直徑的活塞連接著，如圖 2.11 所示，活塞之質量為 20 lbm，圓柱 A 內之氣體壓力為 30 lbf/in²，試計算圓柱 B 內之壓力。

解： $A_A = \frac{\pi}{4} \times 4^2 = 12.57 \text{ in}^2$, $A_B = 0.785 \text{ in}^2$

$$F_{\text{down}} = 30 \times 12.57 + \frac{20 \times 32.174}{32.174} = 397 \text{ lbf}$$

$$F_{\text{up}} = 397 = 14.7(12.57 - 0.785) + P_B \times 0.785$$

$$\therefore P_B = \frac{397 - 173}{0.785} = 285 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

第三章 純質之性質

3.1 一圓氣球半徑 10 ft，大氣壓為 14.7 lbf/in²，溫度 60°F

(a) 試計算此氣球置換為空氣時，相當於多少質量和多少莫耳數之空氣。

(b) 若此氣球在 14.7 lbf/in² 時充滿氦氣，60°F，試問氦氣的質量及莫耳數。

解： $V = \frac{\pi}{6} (20)^3 = 4189 \text{ ft}^3$

$$(a) n_{\text{air}} = \frac{PV}{RT} = \frac{14.7 \times 144 \times 4189}{1545 \times 520} = 11.04 \text{ lb-mole}$$

$$m_{\text{air}} = n_{\text{air}} \cdot M_{\text{air}} = 11.04 \times 28.97 = 320 \text{ lbm}$$

$$(b) n_{\text{He}} = \frac{PV}{RT} = 11.04 \text{ lb-mole}$$

$$m_{\text{He}} = n_{\text{He}} \cdot M_{\text{He}} = 11.04 \times 4 = 44.16 \text{ lbm}$$

3.2 在一固定容器內的某一理想氣體，其具有質量 0.13 lbm，壓力 0.5 atm，溫度 60°F，且體積為 3 ft³，試決定此氣體分子量？

解：由 $PV = \frac{m}{M} \bar{R} T$

$$\text{得 } M = \frac{m}{PV} \bar{R} T = \frac{0.13 \times 1545 \times 520}{0.5 \times 14.7 \times 144 \times 3} = 32.89 \text{ lbm/mole}$$

3.3 空氣包含於一沒有摩擦阻力的活塞之垂直汽缸和一組制止物內，如圖 3.11 所示，此活塞之截面積為 0.5 ft²，此空氣最初在 30 lbf/in²，800°F 空氣接著由於熱傳遞到周遭而冷却。

(a) 試問當活塞達到此制止物時其內空氣之溫度若干？

(b) 若冷却繼續到溫度達 70°F，試問此時汽缸內部之壓力若干？

解：(a) $V_1 = 0.5 \times 4 = 2 \text{ ft}^3$ $T_1 = 800^\circ\text{F} = 1260^\circ\text{R}$

$$P_2 = P_1 = 30 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}, V_2 = 0.5 \times 2 = 1 \text{ ft}^3$$

$$T_2 = \frac{V_2}{V_1} T_1 = \frac{1}{2} \times 1260 = 630^\circ\text{R} = 170^\circ\text{F}$$

(b) $V_3 = V_2, T_3 = 530^\circ\text{R}$

8 古典統計熱力學題解

$$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} = 30 \times \frac{530}{630} = 25.2 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

- 3.4 一真空唧筒（幫浦）用來抽取液態氦池上真空。進入真空唧筒的體積流量為 $3000 \text{ ft}^3/\text{min}$ 。真空唧筒內之壓力為 0.1 torr ，其溫度為 -10°F ，試問進入此唧筒每分鐘之氦的質量。

$$\text{解： } P = 0.1 \text{ torr} = 1.933 \times 10^{-3} \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$\dot{m} = \frac{P \dot{V}}{RT} = \frac{1.933 \times 10^{-3} \times 144 \times 3000}{386 \times 450} = 4.8 \times 10^{-3} \frac{\text{lbm}}{\text{min}}$$

- 3.5 從微觀之觀點來研究氣體行為，以波茲曼常數 k 來表示理想氣體的狀態方程是相當方便的。其式子

$$k = \bar{R}/N_0$$

(a) 求出波茲曼常數的值，並與附錄 B.12 之值比較。

(b) 在高溫下之電漿，其自由電子可視為理想氣體。試計算單電子氣體在 10000 K ， 0.01 atm 下之粒子密度 N/V 。

$$\text{解： (a) } \bar{R} = 1.98726 \text{ cal/gm-mole} \cdot \text{K}$$

$$= 1.98726 \times 4.184 \times 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{gm-mole} \cdot \text{K}}$$

$$k = \frac{\bar{R}}{N_0} = \frac{8.315 \times 10^7 \text{ erg/gm-mole} \cdot \text{K}}{6.0232 \times 10^{23} \text{ } \ell/\text{gm-mole}} = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } P &= 0.01 \text{ atm} = 0.01 \times 1.01325 \times 10^6 \text{ dynes} \cdot \text{cm/cm}^3 \\ &= 1.01325 \times 10^4 \text{ erg/cm}^3 = 1.01325 \times 10^{-3} \text{ joules/cm}^3 \\ &= 2.42 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\therefore PV = \frac{N}{N_0} RT$$

$$\frac{N}{V} = \frac{PN_0}{RT}$$

$$= \frac{2.42 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^3 \times 6.0232 \times 10^{23} \text{ } \ell/\text{gm-mole}}{1.98726 \frac{\text{cal}}{\text{gm-mole} \cdot \text{K}} \times 10000 \text{ K}}$$

$$= 7.33 \times 10^{15} \text{ } \ell/\text{cm}^3$$

3.6 一硬的容器A連接到一圓形塑膠球如圖 3.12 所示，兩者皆含空氣，周圍溫度為 80°F 。容器A之體積為 1 ft^3 ，最初壓力為 40 lbf/in^2 。氣球之最初直徑為 1 ft ，內部壓力為 15 lbf/in^2 。此時將連接A和B之閥打開，保持開著。如果假設氣球內部壓力正比於其直徑，同時空氣最後溫度一直保持一定在 80°F ，試決定系統內最後壓力和氣球最後的體積？

$$\text{解： } V_{B_1} = \frac{\pi}{6} (1)^3 = 0.524\text{ ft}^3$$

$$m_{B_1} = \frac{P_{B_1} V_{B_1}}{RT} = \frac{15 \times 144 \times 0.524}{53.34 \times 540} = 0.0393\text{ lbm}$$

$$m_{A_1} = \frac{P_{A_1} V_{A_1}}{RT} = \frac{40 \times 144 \times 1}{53.34 \times 540} = 0.20\text{ lbm}$$

$$\therefore m_2 = m_{A_1} + m_{B_1} = 0.2393\text{ lbm}$$

$$P_{A_2} = P_{B_2} = P_2, \quad T_{A_2} = T_{B_2} = T_2 = T_1$$

$$P_B \propto D_B, \quad \text{但 } v_B \propto D_B^3 \quad \therefore P_B \propto v_B^{1/3}$$

$$\therefore \left(\frac{P_2}{P_{B_1}} \right)^3 = \frac{v_{B_2}}{v_{B_1}}$$

而且

$$P_2 V_2 = P_2 (V_A + V_{B_2}) = m_2 R T_2$$

$$\therefore P_2 \left[1 + 0.524 \left(\frac{P_2}{15} \right)^3 \right] = \frac{0.2393 \times 53.34 \times 540}{144} = 47.87$$

假設 $P_2 = 20.5\text{ lbf/in}^2$

$$20.5 \left[1 + 0.524 \left(\frac{20.5}{15} \right)^3 \right] = 47.8$$

$$\therefore P_2 = 20.5\text{ lbf/in}^2$$

$$V_{B_2} = 0.524 \left(\frac{20.5}{15} \right)^3 = 1.33\text{ ft}^3$$

3.7 下列諸狀態下是否可合理的假設此物質為理想氣體：

- (a) 氮在 90°F ， 500 lbf/in^2 。
- (b) 二氧化碳在 90°F ， 500 lbf/in^2 。
- (c) 水在 1800°F ， 500 lbf/in^2 。
- (d) 水在 120°F ， 1 lbf/in^2 。
- (e) 水在 90°F ， 1 lbf/in^2 。

解：(a) N_2 在 90°F ， 500 lbf/in^2 合理

$$T \gg T_c$$

(b) CO_2 在 90°F , 500 lbf/in^2 不合理

$$T \sim T_c, P < P_c$$

(c) H_2O 在 1800°F , 500 lbf/in^2 合理

$$T \gg T_c, P < P_c$$

(d) H_2O 在 120°F , 1 lbf/in^2 合理

$$P \ll P_c \quad (\text{檢查 } P < P_c)$$

(e) H_2O 在 90°F , 1 lbf/in^2 不合理

壓縮液體 ($P > P_c$)

3.8 決定水在下列狀態下為壓縮液體，過熱蒸汽，或飽和液體與蒸汽的混合物：
 250°F , 20 lbf/in^2 ; 50 lbf/in^2 , $8 \text{ ft}^3/\text{lbm}$; 300°F , $8 \text{ ft}^3/\text{lbm}$;
 30 lbf/in^2 , 230°F ; 400°F , $0.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$; 0.5 lbf/in^2 , 60°F 。

解： 250°F } 過熱蒸汽 $P < P_c$ 在 T 下
 $P = 20$

$P = 50$
 $v = 8$ } 飽和液體 + 蒸汽 $v_F < v < v_G$ 在 P 下

300°F
 $v = 8$ } 過熱蒸汽 $v > v_G$ 在 T 下

$P = 30$
 230°F } 壓縮液體 $P > P_c$ 在 T 下

400°F
 $v = 0.02$ } 飽和液體 + 蒸汽 $v_F < v < v_G$ 在 T 下

$P = 0.5$
 60°F } 壓縮液體 $P > P_c$ 在 T 下

3.9 繪出下列蒸汽—壓力曲線（飽和壓力對飽和溫度作圖）

(a) 水在笛卡爾坐標， -40°F 至 60°F 。

(b) 水在笛卡爾坐標， 0 至 3500 lbf/in^2 。

(c) 水，Freon-12，氨在半對數紙（壓力為對數刻度） 1.0 至 1000 lbf/in^2 ， -50°F 至 300°F 。

解：(a)(b)(c)請參閱課本圖 3-6 和 3-3。

3.10 計算下列比容

(a) 氨, 80°F , 80% 乾度 (蒸汽質量的百分比)

(b) Freon-12, 120°F , 15% 乾度

(c) 水, 1000 lbf/in^2 , 98% 乾度

(d) 氮, -300°F , 40% 乾度

解: (a) $v = 1.955 - 0.2 \times 1.9283 = 1.5693 \text{ ft}^3/\text{lbm}$

(b) $v = 0.013174 + 0.15 \times 0.22019 = 0.0462 \text{ ft}^3/\text{lbm}$

(c) $v = 0.4459 - 0.02 \times 0.4243 = 0.4374 \text{ ft}^3/\text{lbm}$

(d) $v = 0.02132 + 0.4 \times 1.1469 = 0.48004 \text{ ft}^3/\text{lbm}$

3.11. 決定下列物質在諸狀態下其乾度 (若飽和) 或溫度 (若過熱) 為多少?

(a) 氨, 80°F , $1.43 \text{ ft}^3/\text{lbm}$; 80 lbf/in^2 , $4.75 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ 。

(b) Freon-12, 50 lbf/in^2 , $0.6 \text{ ft}^3/\text{lbm}$, 50 lbf/in^2 , $0.960 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ 。

(c) 水, 80°F , $20 \text{ ft}^3/\text{lbm}$; 1000 lbf/in^2 , $0.4 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ 。

(d) 氮, 100 lbf/in^2 , $0.9 \text{ ft}^3/\text{lbm}$; 1 atm , $3 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ 。

解: (a₁) $1.43 = 1.955 - (1 - x)1.9283$; $x = 0.728$

(a₂) $T = 163^{\circ}\text{F}$

(b₁) $0.600 = 0.79827 - (1 - x)0.78671$; $x = 0.748$

(b₂) $T = 114^{\circ}\text{F}$

(c₁) $20 = 0.016073 + x \cdot 632.78$; $x = 0.0316$

(c₂) $0.4 = 0.4459 - (1 - x)0.4243$; $x = 0.8917$

(d₁) $T = 248^{\circ}\text{F}$

(d₂) $3.0 = 3.4791 - (1 - x)3.4592$; $x = 0.861$

3.12. 繪一水之壓力-比容圖於全對數紙上 (3×5), 指示出下列諸線

(a) 飽和液體

(b) 飽和蒸汽

(c) 下列等溫線 (包括壓縮液體區域): 300°F , 500°F , 700°F , 800°F , 1000°F 。

(d) 下列等乾度之線: 10%, 50%, 90%。

解: 請參閱圖 3-3 和 3-9。

3.13. 繪出 Freon-12 之壓力-比容圖於全對數紙上 (2×3) 指示出下列諸線

(a) 飽和液體

(b) 飽和蒸汽

(c) 下列等溫線： 0°F ， 100°F ， 230°F ， 300°F 。

(d) 下列等乾度諸線：10%，50%，90%。

解：請參閱圖 3-10。

3.14 加熱系統的暖氣機，體積 2 ft^3 ，且包含飽和水蒸汽，其壓力在 20 lbf/in^2 ，然後當暖氣機的閥關閉，由於熱傳入房間使得壓力下降至 15 lbf/in^2 ，計算：

(a) 暖氣機中蒸汽總質量？

(b) 最後狀態下，液態的質量和體積。

(c) 最後狀態下，汽態的質量和體積。

解：(a) 飽和蒸汽 在 $P = 20\text{ psi}$ ， $V = 2\text{ ft}^3$

由表 B.1-2 得

$$v = v_g = 20.09\text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$m = \frac{2}{20.09} = 0.0995\text{ lbm}$$

(b) 等容過程，且最後狀態為飽和蒸汽

$$\begin{cases} v_2 = v_1 = 20.09\text{ ft}^3/\text{lbm} \\ P = 15\text{ psi} \end{cases}$$

$$\therefore 20.09 = 0.0167 + X(26.2733)$$

$$X = 0.764$$

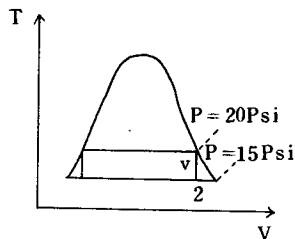
$$\begin{aligned} m_{\text{liq}} &= m(1 - X) \\ &= 0.0995 \times 0.236 = 0.0235\text{ lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{liq}} &= m_{\text{liq}} v_f \\ &= 0.0235 \times 0.0167 = 0.00039\text{ ft}^3 \end{aligned}$$

(c) $m_{\text{vap}} = mX$

$$= 0.0995 \times 0.764 = 0.0760\text{ lbm}$$

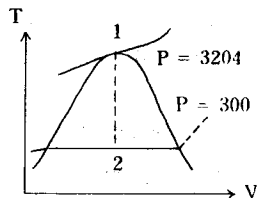
$$\begin{aligned} V_{\text{vap}} &= m_{\text{vap}} v_g \\ &= 0.0760 \times 26.29 = 1.998\text{ ft}^3 \end{aligned}$$



3.15 在固定容器內含有臨界狀態的蒸汽，當熱由蒸汽傳出，直至壓力降為 300 lbf/in^2 ，計算最後乾度（或濕度）？

解：閉合系統，且等容過程

狀態 1： $P = 3204\text{ psi}$ $T = 705^{\circ}\text{F}$



$$v = 0.0505 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

狀態 2 : $P = 300 \text{ lbf/in}^2$

$$v_2 = v_1 = 0.0505 \text{ ft}^3/\text{lbm}$$

$$0.0505 = 0.018896 + x(1.5442 - 0.018896)$$

$$x = 0.0207 \text{ (乾度)}$$

- 3.16** 某一實驗中，Freon-12蒸汽被裝在一封閉玻璃管內溫度為 80°F 。欲知此情況下的壓力，但沒有方法測量之，因為此管為封閉的。然而若將此管冷卻至 50°F ，液體的小水滴將在管壁上觀察出，試問管內之壓力於 80°F 時為若干？

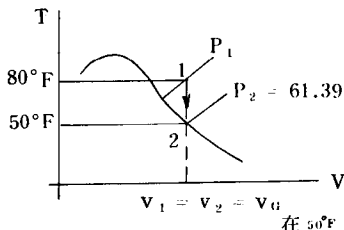
解：在 50°F 下

$$v_1 = v_2 = v_g = 0.65537$$

∴ 在 $T_1 = 80^\circ\text{F}$

$$v_1 = 0.65537 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}}$$

$$\therefore P_1 = 66.5 \text{ lbf/in}^2$$



- 3.17** 一堅硬容器如圖 3.13 所示含飽和水於 14.7 lbf/in^2 。由此狀態下水被加熱時可通過臨界點，則此狀態下液體和蒸汽的體積比為若干？

解： $0.05053 = x \times 26.78 + (1 - x) \times 0.016715$

$$x = 1.2635 \times 10^{-3}$$

液體和蒸汽的體積比（在 14.7 lbf/in^2 ，飽和）

$$= \frac{(m - m_v) v_f}{(m_v) v_g} = \left(\frac{m}{m_v} - 1 \right) \frac{0.016715}{26.78}$$

$$= \left(\frac{1}{x} - 1 \right) 6.24 \times 10^{-4} = 0.4932$$

其中 m ：總質量

m_v ：蒸汽質量

- 3.18** 一體積 0.25 ft^3 之硬容器含有 10 lbm 的水（液體加上蒸汽）於 100°F ，容器慢慢地加熱，則容器內液面最後將上升到頂部或降到底部？若容器改為含 1 lbm 以代替 10 lbm ，情況將如何？

解：對於 $m = 10 \text{ lbm}$ ， $v = \frac{0.25}{10} = 0.025 \frac{\text{ft}^3}{\text{lbm}}$ 的情況