

# 現行高中化學教科書中之問題

鍾崇樂

國立清華大學化學系

## 一、前言

完整的高中化學教學包括五個主要部份：(一)化學教材，(二)化學教師，(三)教學過程，(四)高中學生，(五)教學效果。高中化學教科書不但位於首要部分，而且主導著化學老師的教與高中學生的學，成為化學教育的中心主軸。因此高中化學課本中如有不妥之處，影響至為深遠。

尤其不幸的是，高中化學課本中有些沒有錯誤的部份，由於沒有詳盡敘述，竟然也被誤會為錯誤內容。八十五年十二月九日，筆者應邀到省立桃園高級中學，作三小時演講，談到這些問題。有位聽眾建議筆者將這些內容寫成論文，對高中化學教學會有很大助益。最近有位老師提出以下看法：與其讓各種負面的話題到處流傳，不如將高中化學現行教科書中，可能引起疑慮的問題，詳加討論，也許可以收到許多正面的效果。

筆者非常同意這項建議。現行高中化學課本要在四本薄薄的書中，含蓋物理化學、分析化學、無機化學、有機化學和生物化學五個領域，的確是非常困難。這四冊教科書內容豐富，但由於篇幅有限，的確很難將這麼多資料詳盡敘述，因此有些內容，極易引起讀者們的誤解，必須作補充說明。因此筆者想用專題討論與研究的方式，從過去十多年，筆者和化學老師或高中資優學生討論過的許多問題中，先整理出其中十六個與現行高中化學教科書一至三冊有關的問題加以討論，提供高中師生們作為教學時的補充或參考資料。其他問題與討論方面，讀者如有興趣，請隨時和筆者聯絡（電話 03-5721124，傳真 03-5711082）。

## 二、本文

### 問題一A

好幾年以前，在一次高中理化優異學生輔導實驗計劃的討論課中，有位同學問我：「高中化學課本第一冊99頁中之圖5-14左下角中，兩條曲線之交點（ $0^{\circ}\text{C}$ ,  $4.5\text{mmHg}$ ）是否為純水之標準凝固點？」

**解答** 這個圖是水的相圖 (*phase diagram*) 中之一部份，完整的相圖示於圖一，高中教

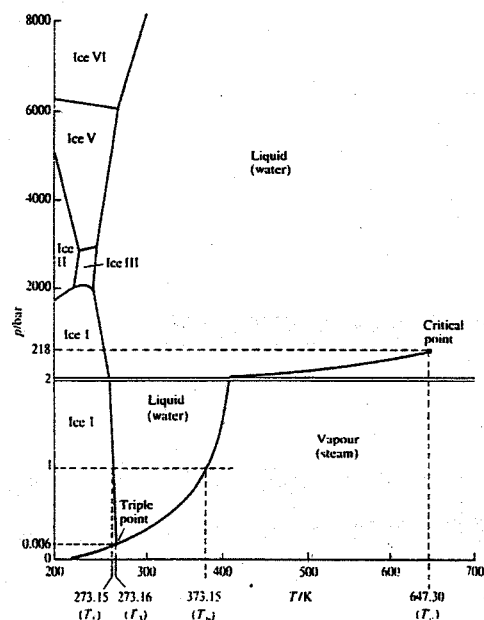
科書中圖 5-14 左下角中兩條曲線的交點 (0.006bar, 273.16K) 是水的三相點,  $T_3$  (triple point), 不是標準凝固點。

凝固點的定義是在某種壓力下, 液相與固相共存之溫度; 當壓力為 1 bar 時, 此溫度稱標準凝固點 (standard freezing point); 當壓力為 1 atm 時, 此溫度稱正常凝固點 (normal freezing point)。純水的三相點— $P_3, T_3$ —為  $P_3=0.006 \text{ bar}; T_3=273.16\text{K}$ ; 標準凝固點為  $P_f=1 \text{ bar}, T_f=273.15\text{K}$ 。

### 問題一B

課本圖 5-14 左下角中之兩條曲線分別表示冰與水蒸氣平衡時純水之蒸氣壓以及水與水蒸氣平衡時純水之蒸氣壓; 兩條虛線表示水溶液之蒸氣壓。因此此圖左下角表示的似乎是昇華而非凝固 (圖二)。教授是否可以提供另外一張代表水溶液凝固點下降的圖?

回答: 可以, 請參閱圖三。



圖一 水的相圖

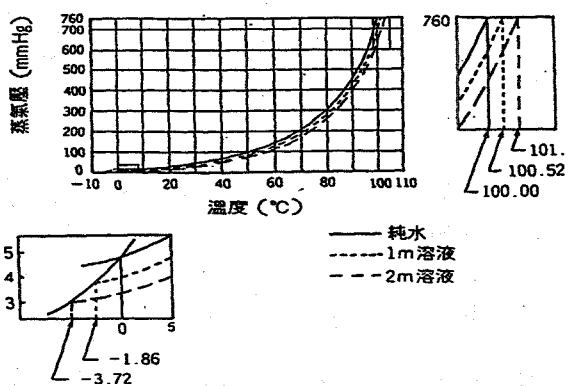
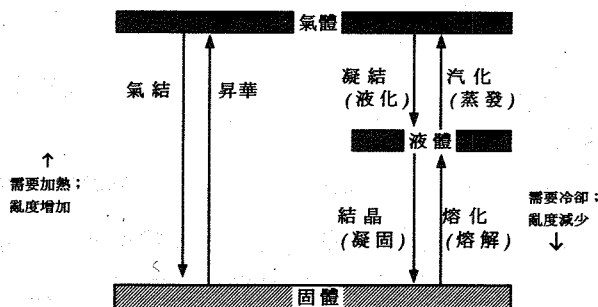
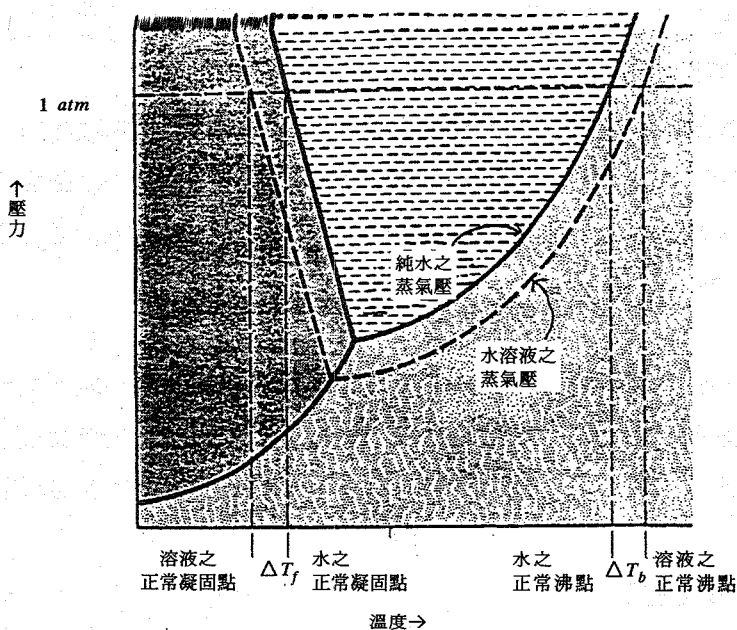


圖 5-14 液溶的沸點上升及凝固點下降



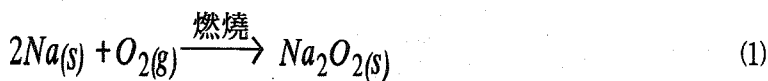
圖二 狀態的變化。狀態變化的另一名詞附在括號內



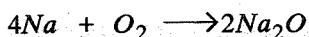
圖三 水溶液的沸點上升及凝固點下降

## 問題二

筆者在清大教普通化學，講到金屬在空氣中燃燒之主要產物時，有位學生對以下反應(1)提出反對意見，



理由是高中課本第一冊 41 頁有以下之方程式：



並且希望我解釋：為何鈉在空氣中燃燒的主要產物是  $\text{Na}_2\text{O}_2$  而不是  $\text{Na}_2\text{O}$ ？

解答：

$\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}_2$  與  $\text{NaO}_2$  之熱力學數據示於表一（參考資料一）。一般反應之  $\Delta F^\circ$ （Gibbs 自由能變化）愈小，平衡常數愈大，因此  $\text{Na}$  在空氣中燃燒之主要產物是  $\text{Na}_2\text{O}_2$ 。生成  $\text{Na}_2\text{O}_2$  的主要原因是產生一莫耳  $\text{O}_2^{2-}$  離子需要吸收 215 仟卡之熱能；而產生一莫耳  $\text{O}_2^{2-}$  離子只要吸收 112 仟卡。因此在空氣中燃燒鈉的主要產物是  $\text{Na}_2\text{O}_2$ 。

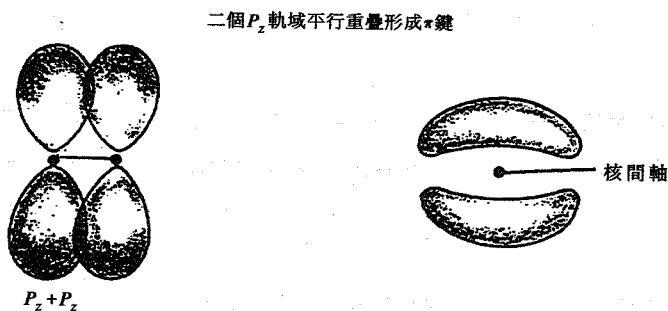
表一 NaO, Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 與 NaO<sub>2</sub> 之熱力學數據 ( k cal/2 moles of Na, 25 °C )

	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2NaO <sub>2</sub>
-ΔH°	99	121	124
-ΔF°	90	103	93

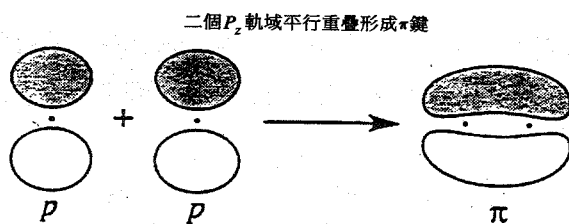
### 問題三

每年高中理化學習成就優異學生輔導實驗計劃，教到第十章化學鍵時，學生必定會問：「為何π鍵的形狀如高中課本第三冊35頁中圖10-13所示？」

筆者試用圖四教π鍵的形成，學生們都能欣然接受。



附圖10-13 π鍵的形成



圖四 π鍵的形成

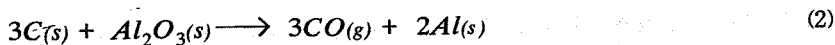
### 問題四

去年筆者在暑期中學教師進修班教「化學教材與教法」時，有位中學老師問我：「高中課本第三冊95頁提到：『使鋁離子還原所需之電位很高，無法以碳還原其氧化物而得金屬鋁。』是否在任何情況之下，碳都無法還原Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，而得金屬鋁？」

解答：

在常溫時，無法以碳還原氧化鋁而得到金屬鋁。

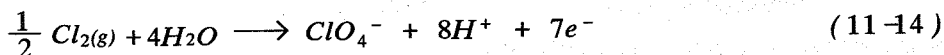
但反應(2)之平衡常數



隨溫度上升而迅速增加，因此當溫度大於2100 °C時，碳可以還原 $Al_2O_3$ 而得金屬鋁。

### 問題五

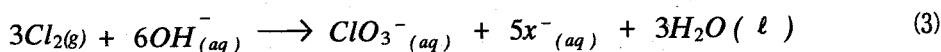
自從一九七四年清華大學開辦中學教員暑期進修班至今，筆者一直負責回答中學老師們提出的疑難問題，其中一個常被問到的題目是：「高中課本第三冊54頁提到：過氯酸鹽可從電解食鹽水時，陽極所產生的氯氧化而得，



請問式(11-14)所使用之氧化劑為何？」

解答：

製造過氯酸鹽的方法並不是用氧化劑將氯氧化成 $ClO_4^-$ ，而是將 $Cl_2(g)$ 通入熱的 $NaOH$ 水溶液中產生 $ClO_3^-$ （式3），再用電化學方法將 $ClO_3^-$ 氧化成 $ClO_4^-$ （參考資料2）。

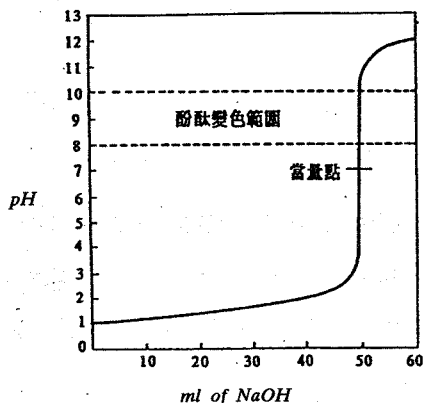


### 問題六

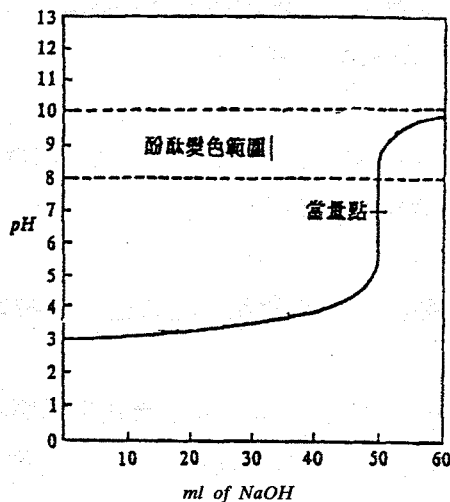
高中化學第二冊第45頁：「所以我們在強酸—強鹼滴定时，使用酚酞為指示劑。」滴定的當量點為 $pH=7$ ；而酚酞的變色範圍為 $pH8$ 至 $10$ 。是否會因此而產生誤差？

解答：

當強酸及強鹼的濃度為 $0.1 N$ 時，如圖五所示，誤差非常小，小到可忽略，這時候強酸—強鹼滴定时可以用酚酞為指示劑。強酸與強鹼的濃度愈小，誤差愈大，如圖六所示，以 $0.001 N NaOH$  滴定 $0.001 N HCl$  時，不可用酚酞為指示劑。此時要用電位滴定分析法 (*potentiometric titration*) 使用 $pH$  計 (*pH meter*)，測定滴定的終點 ( $pH=7.00$ )。



圖五 強酸、強鹼滴定时曲線，以 $0.100N NaOH$  滴定 $50ml 0.100N HCl$  求得。



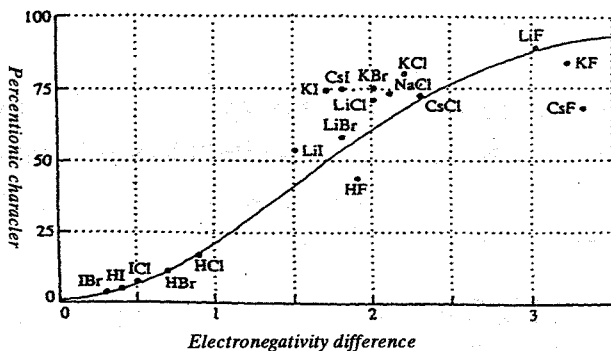
圖六 強酸、強鹼滴定曲線。以0.00100N NaOH滴定50mL 0.00100N HCl求得。

### 問題七

高中化學第三冊第76頁：「鹼金屬化合物之鍵結主要係離子性。但大部份的鋰化物之鍵結有某種程度的共價性」。請問教授，鋰化物之離子性與其他鹼金屬元素化合物之離子性是否有很大的差異？可否提供些實際的資料或數據？它們是否有共價性？

解答：

並無太大的差異，如圖七（參考文獻3）所示， $LiCl$ 之離子性為71%； $CsCl$ 之離子性為72%； $NaCl$ 之離子性為73%。由此圖可知一般說來，它們都是有些許共價性。



圖七 雙原子分子之部份離子性與其電負度差之關係

### 問題八

高中化學第三冊第79頁：「鉍離子的半徑很小，電荷密度很高，故其鍵結具共價

性；鎂化合物鍵結兼具共價性及離子性；鈣、鋇、鋇、鐳化合物之鍵結為離子性。」請問教授、鈣、鋇、鋇、鐳化合物之鍵結是否有共價性？

解答：

根據電負度數據，鹼土金屬元素之化合物之共價性大於同週期鹼金屬元素之化合物之共價性，因此它們都具有共價性（請參閱問題七）。

### 問題九

高中化學第三冊第18頁表9-6電子親和力之數值，與較新的參考書中之數值比較，是否有很大的差異？

較新的參考書，如Huheey, Keiter和Keiter之無機化學第四版(1993)，第42至43頁中之電子親和力數值，示於表二。與課本表9-6比較，有的有很大的差異，如He、Ne、N、Be、Mg；有的幾乎一致，如H、Cl、Br、I、S、O、Si等。宜加研究修正。

表9-6 電子親和力(kJ/mol)

H -72								He -54
Li -57	Be +66	B -15	C -121	N +31	C -142	F -333		Ne +99
Na -21	Mg +67	Al -26	Si -135	P -60	S -200	Cl -348		
						Br -324		
						I -295		

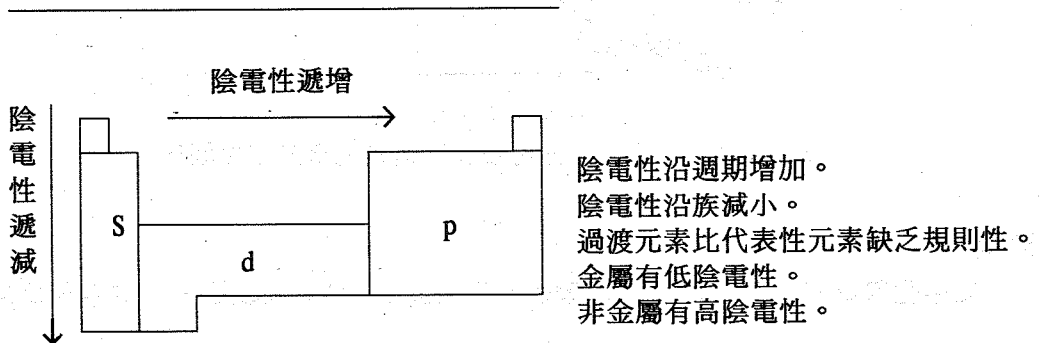
表二 電子親和力(kJ/mol)

H -73								He 0
Li -60	Be 0	B -27	C -154	N -7	C -141	F -328		Ne 0
Na -53	Mg 0	Al -43	Si -134	P -72	S -200	Cl -349		
						Br -325		
						I -295		

### 問題十

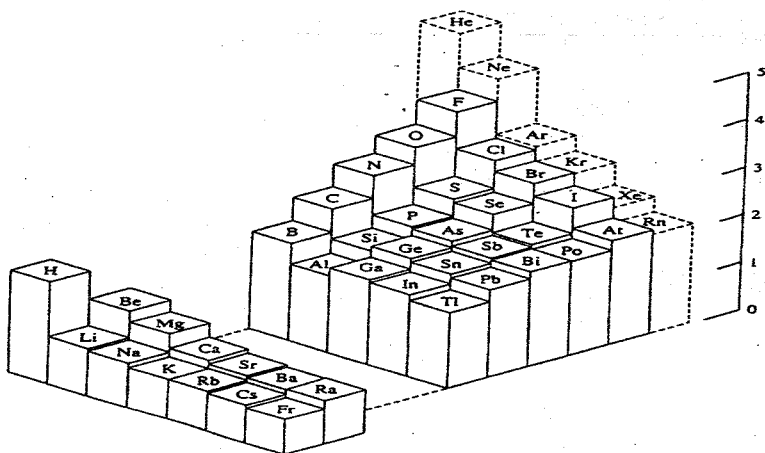
高中化學第三冊53頁第5行：「氟是電負度最大的元素。」但教授上課時提供的資料(表三)，其中是否有矛盾之處？He與Ne之電負度是否會比氟的電負度大？

表三、陰電性



解答：

根據較新的資料，如 *Miessler* 和 *Tarr* 著的無機化學（參考資料 4）以及 *Huheey*, *Keiter* 和 *Keiter* 合著的無機化學第四版（參考資料 5），*He* 與 *Ne* 之電負度皆大於氟之電負度（圖八）（參考資料 4）。



圖八 主族元素之電負度

### 問題十一

高中化學第一冊 62 頁：

$$\text{即 } PV = \left(-\frac{2}{3} N_0\right) \left(\frac{1}{2} mv^2\right) \quad (3-12)$$

式中的  $\frac{1}{2}mv^2$ ，表示分子的平均動能，而分子質點的運動速率，隨溫度的高低而增加或減小，即平均動能與絕對溫度成正比，

$$\frac{1}{2}mv^2 \propto T, \text{ 即 } \frac{1}{2}mv^2 = kT \quad (3-13)$$

問題 1：此處  $\frac{1}{2}mv^2$ ，書上寫是表示分子的平均動能；而教授說成分子的平均移動能，這兩種動能有何不同？

解答：氣體分子運動可分為移動，轉動與振動；因此，氣體分子動能包含移動動能，轉動動能與振動動能三個部份： $E_{KE} = E_{trans} + E_{rot} + E_{vib}$ 。其中之平均移動動能為  $\frac{1}{2}mv_{rms}^2$ ；在此  $v_{rms}$  為根平方均速率 (*the root mean square speed*)。

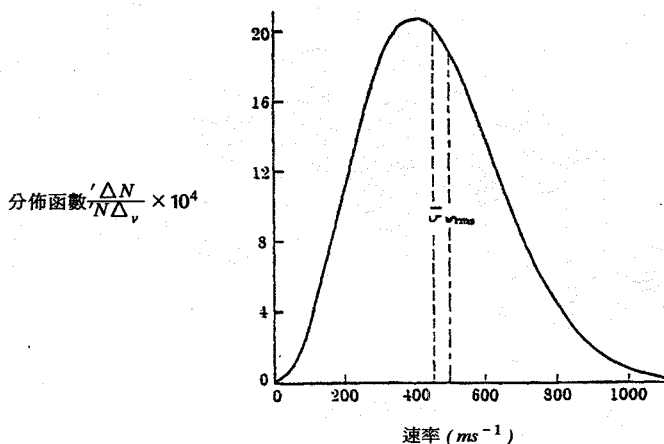
問題 2：教授所說的 *the root mean square speed* 之定義為何？與課本 61 頁所說的平均速率有何不同？那種速率較大？



解答：爲了區分這兩種速率，一般教科書將平均速率 (*the average speed*) 寫成  $\bar{v}$ ；將根平方均速率 (*the root mean square speed*) 寫成  $v_{rms}$ 。它們的定義如下：

$$\bar{v} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + \dots + v_N}{N}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + v_4^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$



圖九  $N_2(g)$  在 273K 之速率分佈圖。 $\bar{v}$  爲平均速率； $v_{rms}$  爲根平方均速率。

如圖九所示， $v_{rms}$  比  $\bar{v}$  大。如  $M$  爲氣體之分子量； $R$  爲氣體常數，則  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$ ； $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ 。

問題 3：教授剛才說  $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ，那麼氣體分子之平均移動動能應該是  $\frac{1}{2} m v_{rms}^2 = \frac{3}{2} kT$ ；而非  $\frac{1}{2} m v^2_{rms} = kT$ 。書上寫的和教授講的是否不一致？

解答：書上寫的是  $\frac{1}{2} m v^2 = kT$ ；我認爲應該是  $\frac{1}{2} m v_{rms}^2 = \frac{2}{3} kT$ 。

### 問題十二

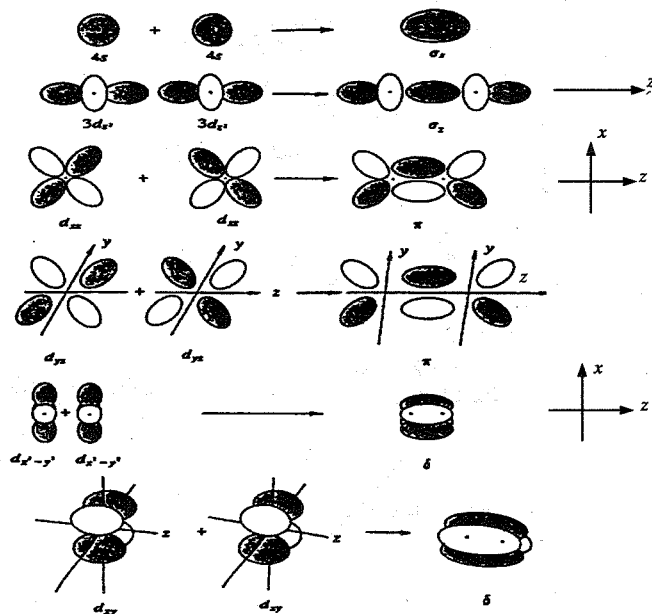
高中課本第一冊 63 頁第一行  $R = \frac{2}{3} kN$ ，和教授講的不一樣，請問氣體常數  $R$  與 Boltzmann's constant  $k$  間之關係爲何？

解答： $k = \frac{R}{N}$ ；其中  $k$  爲 Boltzmann's constant； $R$  爲氣體常數； $N$  爲亞佛加厥常數。

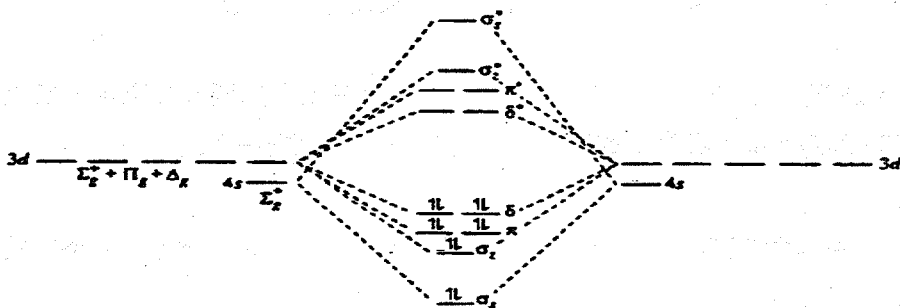
### 問題十三

高中化學第三冊第 35 頁第 4 與 5 行提到「在兩個原子間的鍵結  $\sigma$  鍵只能形成 1 個，」教授卻說：「兩個原子之間的  $\sigma$  鍵可以多於 1 個。」是否可以舉例說明兩個原子之間的  $\sigma$  鍵多於 1 個時的鍵結情形？

解答：譬如  $Cr_2$ ，兩個  $Cr$  之間有兩個  $\sigma$  鍵、兩個  $\pi$  鍵、與兩個  $\delta$  鍵。鍵結情形及分子軌域能階圖分別示於圖十及圖十一。



圖十  $Cr_2$  的鍵結：兩個  $\sigma$  鍵，兩個  $\pi$  鍵及兩個  $\delta$  鍵

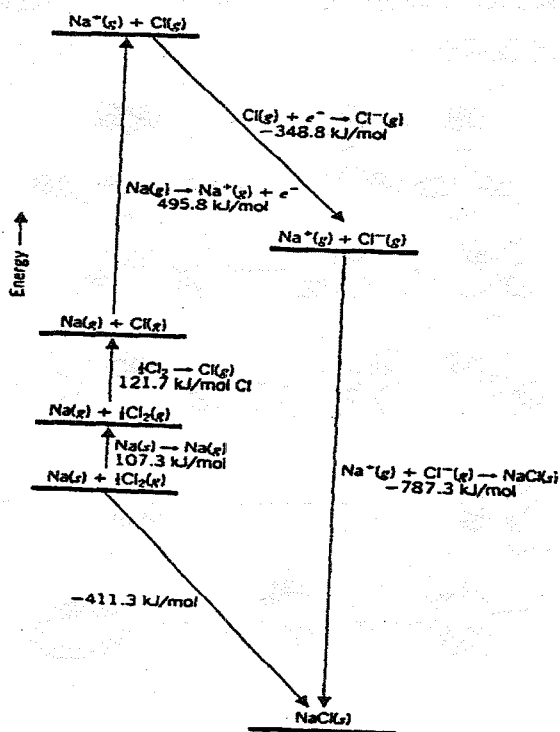


圖十一  $Cr_2$  之分子軌域能階圖

#### 問題十四

高中課本第三冊 27 頁第 18 行：「氯化鈉晶體的格子能為  $-860$  千焦 / 莫耳。」請問如何求得此晶體的格子能？

解答：如圖十二所示，氯化鈉晶體的格子能  $\Delta H_5$  可由  $Na(s)$  的昇華能  $\Delta H_1$ 、 $Cl_2(g)$  的  $\frac{1}{2}$  (鍵解離能)  $\Delta H_2$ 、 $Na(g)$  的游離能  $\Delta H_3$ 、 $Cl(g)$  的電子親和力  $\Delta H_4$ 、以及  $NaCl(s)$  的莫耳生成熱 (molar heat of formation)  $\Delta H_f$ ，用波昂—哈柏循環關係：

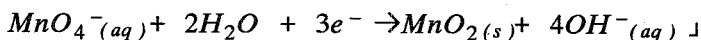


圖十二 生成NaCl(s)的波昂-哈柏循環

$\Delta H_5 = \Delta H_f - \Delta H_1 - \Delta H_2 - \Delta H_3 - \Delta H_4$  算出。如圖十二所示，氯化鈉的格子能為  $-787.3 \text{ kJ/mol}$ ，與書上的值  $-860$  千焦/莫耳，並不一致。

### 問題十五

高中化學第二冊 57 頁第十至十二行：「如果反應是在中性或微酸性液溶中進行，情況就不同了，



教授將微酸性溶液說成微鹼性溶液，是否有誤？

解答：我說成「微鹼性溶液」，並無錯誤。 $\text{MnO}_4^-(\text{aq})$  在酸性水溶液中，被還原成  $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ ；在鹼性水溶液中被還原為  $\text{MnO}_2(\text{s})$ 。所以我說「微鹼性溶液」。

### 問題十六

高中化學第二冊第 41 頁至 42 頁：有關酸鹼中和釋出熱量問題，已詳論於本刊第 197 期 PP.20 ~ 23，於茲從略。

### 三、結語

現行高中化學課本自民國七十四年初版至今，已使用十餘年。由於四本書內容豐富，取材廣博，文筆通順，印刷清楚，十多年來廣受高中老師們肯定。美中不足的是資料內容極多，由於篇幅所限，的確很難將這麼多資料詳盡敘述，因此有些內容，極易引起讀者們的誤解，必須作補充說明；有些地方內容稍舊，應作適當之更新；有些地方內容錯誤，應加以修正。

筆者自從民國六十三年回國服務至今，一直負責清華大學中學教員暑期進修班以及北區高中理化學習成就優異學生輔導實驗計劃的教學以及回答疑難問題兩項工作。其中很多問題與高中化學課本有關，本文討論其中部份問題，希望能拋磚引玉，讓國內有更多學者專家，關懷高中化學教育，大家群策群力，使目前的高中化學課本成為四冊人人愛讀的理想教材。

### 四、誌謝

筆者非常感激教育部暑期教師進修計劃以及國家科學委員會高中理化學習成就優異學生輔導實驗計劃；由衷懷念和化學老師以及高中同學們一起努力學習、認真討論化學疑難問題的美好時光。

### 參考資料：

1. W. M. Latimer, "Oxidation Potentials", Prentice-Hall Inc., 2nd ed., pp 329-335 (1952).
2. F. A. Cotton; G Wilkinson, "Advanced Inorganic Chemistry," John Wiley and Sons, New York, 5th ed., PP.567-568 (1988).
3. Zundall, S. S. Chemistry, D. C. Heath and Company, Lexington, MA, 1986; PP311-312.
4. G.L. Miessler; D.A. Tarr, "Inorganic Chemistry," Prentice Hall, New Jersey, P.223 (1991).
5. J. E. Huheey; E. A. Keiter; R. L. Keiter, "Inorganic Chemistry," Harper Collins College Publishers, New York, 4th ed., p.187 (1993).
6. R. M. Smith and A. E. Martell, Critical Stability Constants, Plenum Press, New York. (1976).
7. 鍾崇桑 (1997)。化學錯誤觀念(一)。科學教育月刊197期。pp.20~23。 ☆