

化學方程式

A B C

張汝訓編

中國科學圖書儀器公司

印 行

化學方程式 ABC

張 汝 訓 編

中國科學圖書儀器公司

印 行

化 學 方 程 式

A B C

一 九 四 八 年 九 月 初 版

一 九 五 〇 年 十 一 月 再 版

版 權 所 有 翻 印 必 究

編 著 者 張 汝 訓

發 行 人 馬 蔭 良

發 行 所

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

上 海 (18) 延 安 中 路 5 3 7 號

分 發 行 所

中 國 科 學 圖 書 儀 器 公 司

北 京 南 京 廣 州 重 慶 漢 口 瀋 陽

寫 在 卷 首

一九三五年，編者寫過一本化學計算原理（正中書局印行）它是完全有關計算的，程度不免略高些。一九四七年，又寫了一本高中化學復習進修書（中國科學圖書儀器公司印行），它是包括全部化學的，當然不是只談計算。這本小冊子，專講化學方程式這一個問題，所以有些地方，不無比上面的兩本書，要詳盡些。

化學方程式是學習化學的基本工具，它是化學這座寶庫的秘鑰，初學的人，當然非首先熟練這套功夫不可。可惜淺易的教本中，不肯多講；高深的文獻中，又不屑細說。即如方程式的配整（即平衡）罷，常用的幾種方法，並不艱深，然而許多高中教本裏，竟有完全從略的，編者真不解是何道理。

因此像根據方程式的計算，高中化學裏不過用到算術，初等代數之類，每個學生應該都已優爲之了，可是按諸實際，能夠游刃有余的，恐怕還是少數。

談起方程式來，就不得不先說化學式。要說化學式，又不得不先講分子量與原子量。至於電離，核反應，化學平衡，熱化學之類，這些當然也都是與方程式有關的問題，爲了篇幅的關係，只得一概從略了。

這本小冊子，顧名思義，本來卑之無甚高論。薄薄的幾頁，如果對於讀者多少有些貢獻，便是編者有收穫了。

一九四八年四月張汝訓誌於省立常州中學

目 次

壹 從分子量與原子量說起

1-1. 氣體定律	I
1-2. 怎樣測定分子量	3
1-3. 溶液的濃度與溶質的分子量	7
1-4. 怎樣測定原子量	11

貳 其次說到化學式

2-1. 關於化學符號	15
2-2. 化學式是怎樣定出來的	16
2-3. 化學式有些什麼用途	19
2-4. 價是什麼	11

叁 這纔說到化學方程式

3-1. 化學方程式是怎樣寫出來的	26
3-2. 學寫方程式要當心那些錯誤	29
3-3. 怎樣配整化學方程式	33

肆 再談到化學方程式有什麼用處

4-1. 化學方程式能夠表記些什麼	45
4-2. 化學方程式什麼都能表記麼	48
4-3. 怎樣根據方程式來作計算	50
4-4. 化學方程式還有什麼用途	60

壹

從分子量與原子量說起

一提起化學，大家恐怕都會聯想到化學方程式吧？誠然，我們隨手打開一本化學書來看看，它的面貌，與別種書籍究竟不同在那裏？不是滿紙的化學方程式嗎？化學方程式裏有的是化學式，所以要講方程式，得先講化學式。化學式是根據分子量，原子量與組成算出來的，所以要講化學式，又得先講分子量與原子量。至於組成，它是定性分析定量分析的結果。定性分析與定量分析，是化學的專門科目，這裏不細說了。

分子量與原子量的計算，要用到氣體與溶液的理論，所以這裏先從氣體定律說起。

1-1. 氣體定律

氣體是沒有一定體積的，除非說明了它的溫度與壓力。但是氣體不論那一種，溫度壓力與體積的關係，彼此都是一樣，雖然精密地講，多寡原不免有一些出入的。

波義耳定律(Boyle's law)。溫度不變，定量的任何氣體的體積與其壓力成反比例。公式是：

$$V_1 : V_2 = P_2 : P_1$$

查理定律(Charles' law)。壓力不變，定量的任何氣體的體

積與其絕對溫度成正比例。公式是：

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$$

所謂絕對溫度(absolute temperature)就是把攝氏溫標零下 273 度作為零度(稱為絕對零度)的溫度,所以

$$T(^{\circ}\text{A}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

簡單氣體方程式(simple gas equation)。合併上面兩個定律,我們知道定量的任何氣體的體積,與壓力成反比例,而與絕對溫度成正比例。公式是：

$$V_1 : V_2 = \begin{cases} P_2 : P_1 \\ T_1 : T_2 \end{cases}$$

或

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

氣體定律與重量的關係。如果在不同的溫度及壓力之下,氣體的重量又不相同,那末它的體積,與溫度,壓力,重量三者的關係,可以演證出來如下：

$$\left. \begin{array}{l} W_1 P_1 T_1 V_1 \\ W_1 P_0 T_0 v_1 \\ W_2 P_2 T_2 V_2 \\ W_2 P_0 T_0 v_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{P_0 v_1}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \\ \frac{P_0 v_2}{T_0} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \end{array} \quad v_1 : v_2 = \frac{P_1 V_1}{T_1} : \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

如果氣體同一,溫度與壓力又相同,那末

$$W_1 : W_2 = v_1 : v_2$$

$$\therefore W_1 : W_2 = \frac{P_1 V_1}{T_1} : \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

這個新公式,在分子量的計算裏,用途很大。

【例一】 27°C 與 77 [厘米] (氣壓計上水銀柱的高度) 時的氣體 5 [升], 在標準狀況 (standard conditions, 即 0°C 與 76 [厘米]) 下有多大的體積?

【解】 1. 根據查理定律, 溫度降低, 體積要縮小, 所以 5 [升] 先要用小於 1 的數來乘,

$$\frac{273}{273 + 27} \times 5 \text{ [升]}$$

2. 又根據波義耳定律, 壓力變小, 體積要變大, 所以還要用大於 1 的數來乘, 纔得標準狀況下的體積,

$$\frac{77}{76} \times \frac{273}{273 + 27} \times 5 \text{ [升]} \quad (\text{答})$$

這樣的解法, 比呆代公式不易錯誤。

【例二】 在 76 [厘米] 與 20°C 時, 13 [呎³] 的空氣重 1 [磅]。問 55 [厘米] 與 15°C 時, 900 [呎³] 的空氣重幾 [磅]?

$$\text{【解】} \quad 1 : W = \frac{76 \times 13}{273 + 20} : \frac{55 \times 900}{273 + 15}$$

$$W = 50.98 \text{ [磅]} \quad (\text{答})$$

如果先去求 1 [磅] 空氣在 55 [厘米] 與 15°C 時的體積, 再來求 900 [呎³] 的重量, 畢竟不如這樣一步計算來得簡捷吧!

1-2. 怎樣測定分子量

說過了氣體體積的換算, 接着可以說分子量的測定了。

分子量與原子量是什麼。 分子與原子太小了, 沒法把它來秤, 所以所謂分子量與原子量都不是真實重量或質量。化學上卻有方法來比較它們的重量, 所以分子量與原子量都是相對重

量,都是不名數。什麼是比较的標準呢?爲了從分子量定原子量方便起見,要揀化合物最多的元素來做標準,所以幾經改革,現今的標準是氧。氧的原子量與分子量各是多少呢?爲了原子量近乎整數的元素愈多愈好,所以1865年,斯塔斯氏(Stas)最後改成氧的原子量等於16,或是氧的分子量等於32作標準。再總說一遍,現今化學裏的所謂原子量與分子量,是各種原子與分子,對於氧原子量作16,或是氧分子量作32來比較所得的相對重量。有一天這個標準改了,所有的原子量與分子量都要跟着它成比例地改過,試看下列:

【例一】 原子量與分子量的標準,達爾頓氏(Dalton)本來用氫的原子量作爲1。1825年,湯姆生氏(Thomson)改成氧的原子量作爲1;1814年,武拉斯吞氏(Wollaston)改成氧的原子量作爲10;1830年,柏齊利阿斯氏(Berzelius)改成氧的原子量作爲100。現今水的分子量是18.016,氫的原子量是1.008。問照以前那些標準算,水的分子量各等於多少?

【解】 1. 照達氏標準算,設水的分子量是 x ,則

$$1.008 : 18.016 = 1 : x$$

$$x = 17.87 \quad (\text{答})$$

2. 照湯氏標準算,設水的分子量是 y ,則

$$16 : 18.016 = 1 : y$$

$$y = 1.126 \quad (\text{答})$$

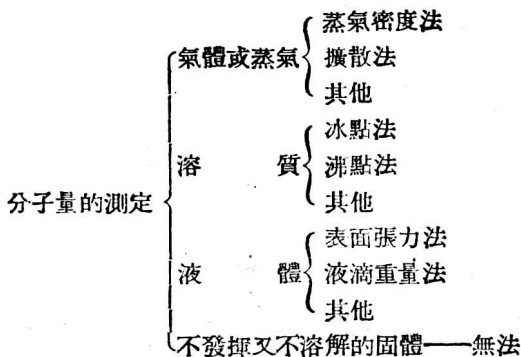
3. 照武氏標準算,是

$$11.26 \quad (\text{答})$$

4. 照柏氏標準算,是

$$112.7 \quad (\text{答})$$

測定分子量有那些方法。 化學中測定分子量的方法很多:



這裏先說蒸氣密度法，下面再說冰點法，與沸點法，其餘的不說了。至於不揮發又不溶解的固體，像碳，矽等素質，砂，澱粉，纖維素等化合物，至今還定不出分子量來的例子，化學中正不知有多少哩。

先說阿佛加德羅氏假說(Avogadro's hypothesis)。同溫度與同壓力下，同體積的各種氣體裏，含有同數的分子。這個假說的用途很多，先以測定分子量的蒸氣密度法為例。

所謂蒸氣密度法(method of vapor densities)。因為所謂某氣體或蒸氣對於氧的相對密度(relative density), S

$$= \frac{\text{某氣體或蒸氣的重量}}{\text{同溫度與同壓力下同體積氧的重量}}$$

依照阿氏的假說，

$$= \frac{n \text{ 個某分子的重量}}{n \text{ 個氧分子的重量}}$$

根據分子說，知同種分子，重量相等，

$$= \frac{1 \text{ 個某分子的重量}}{1 \text{ 個氧分子的重量}}$$

依照分子量的定義，

$$= \frac{\text{某氣體或蒸氣的所謂分子量, } M}{\text{氧的分子量, } 32}$$

$$\therefore M = 32S$$

同理，

$$M = 2.016S'$$

式中的 S' 是氣體或蒸氣對於氫的相對密度。這是第一個公式。

$$\text{又因 } S = \frac{\text{某氣體或蒸氣的密度, } D[\text{克/升}]}{\text{氧的密度, } 1.429[\text{克/升}]}$$

$$\therefore M = 32 \times \frac{D}{1.429}$$

$$M = 22.4D$$

這是第二個公式。如果在壓力 P [毫米] 水銀柱高與絕對溫度 T° 時， W [克] 某氣體或蒸氣的體積是 $V\text{cc.}$ ，那末

$$W : M = \frac{PV}{T} : \frac{760 \times 22400}{273}$$

這是第三個公式，用途最大。

【例二】 27°C 與 800 [毫米] 時，90 cc. 某蒸氣的重量是 350 [毫克]，試計算它的分子量。

$$\text{【解】 } 0.35 : M = \frac{800 \times 90}{273 + 27} : \frac{760 \times 22400}{273}$$

$$M = 90.92$$

(答)

再說克分子，克分子量，與氣體的克分子體積。 分子量既然

是不名數，本來可以採用任何重量單位。用〔克〕做單位的，叫做克分子量。物質的重量〔克〕數，恰等於其分子量的，算是 1 〔克分子〕，或 1 〔摩爾〕(mole)，所以

$$[\text{克分子}] \text{數} = \frac{\text{重量}[\text{克}] \text{數}}{[\text{克分子量}]}$$

又從上面第二個公式，

$$M[\text{克}] = 22.4[\text{升}] \times D[\text{克/升}]$$

我們可以看到標準狀況下，任何氣體 1 〔克分子〕的體積都是 22.4 〔升〕，或是 22,400cc。這稱為氣體的克分子體積 (molar volume of gases)，用途很大。

1-3. 溶液的濃度與溶質的分子量

這裏該接着講冰點法與沸點法了，不過得先講溶液的濃度。

若干容積的溶液(solution)裏，含有若干重量的溶質(solute)叫做溶液的容積濃度(volume concentration)。普通化學裏，容積濃度比較通用些，所以往往就稱為濃度。

(I) 〔克分子/容量〕濃度(molarity)。1 〔升〕即 1000 cc. 的溶液中含有溶質若干〔克分子〕的，叫做若干〔克分子/升〕溶液 (molar solution)，簡稱若干〔克分子〕溶液。並以正體 'M' 為其縮寫。

(II) 〔克當量/容量〕濃度(normality)。1 〔升〕即 1000cc. 的溶液中含有溶質若干〔克當量〕(gram-equivalents) 的，叫做若干〔克當量/升〕溶液 (normal solution)，簡稱若干〔克當量〕溶液。並以正體 'N' 為其縮寫。至於

$$\text{化合物的當量} = \frac{\text{分子量或式量}}{\text{陽根或陰根之價}}$$

$$\therefore [\text{克當量}] \text{數} = \frac{\text{重量[克]數}}{[\text{克當量}]}$$

根是什麼？根之價怎樣知道？請看 § 2-4.

若干重量的溶劑(solvent)裏，溶有若干重量的溶質，叫做重量濃度(weight concentration).

(III) [克分子/重量]濃度(molality). 1000 [克]溶劑中溶有溶質若干[克分子]的，稱為若干[克分子/仟克]溶液 (molal solution). 並以斜體 'M' 為其縮寫。

(IV) [克當量/重量]濃度(weight normality). 1000 [克]的溶劑中溶有溶質若干[克當量]的，稱為若干[克當量/仟克]溶液 (weight normal solution). 並以斜體 'N' 為其縮寫。

(V) 克分子分率(mole fraction). 就[克分子]說，溶質與溶劑各占全體的幾分之幾，各稱為它們的克分子分率。

設溶質的[克分子]數是 n_u ，溶劑的[克分子]數是 n_v ，則

$$\text{溶質的克分子分率, } X_u = \frac{n_u}{n_u + n_v}.$$

$$\text{溶劑的克分子分率, } X_v = \frac{n_v}{n_u + n_v}.$$

【例一】氯化鋇 208.29 [克]，溶解在 1801.6 [克] 的水中，15°C 時這溶液的比重是 1.0976。試計算氯化鋇的克分子分率，再求這溶液的克當量濃度。

【解】 1. $\text{BaCl}_2 = 208.29$, $\text{H}_2\text{O} = 18.016$

怎樣從化學式計算式量，請看 § 2-3.

溶液的濃度與溶質的分子量

2. 故氯化鋇的克分子分率, 是

$$\frac{208.29/208.29}{\frac{208.29}{208.29} + \frac{1801.6}{18.016}} = \frac{1}{101}$$

3. 因 1000 [克] 水裏溶有溶質的重量, 是

$$208.29 : 1801.6 = x : 1000$$

$$x = \frac{208.29 \times 1000}{1801.6} \text{ [克]}$$

故這種溶液的 [克當量/重量] 濃度, 是

$$\frac{208.29 \times 1000}{1801.6} \div \frac{208.29}{2} = 1.11 N.$$

4. 又因這溶液每 [升] 中溶有溶質的重量, 是

$$\frac{208.29 + 1801.6}{1.0976} \text{ cc} : 1000 \text{ cc} = 208.29 \text{ [克]} : y \text{ [克]}$$

$$y = \frac{1000 \times 208.29 \times 1.0976}{2009.89} \text{ [克]}$$

故這溶液的 [克當量/容量] 濃度, 是

$$\frac{1000 \times 208.29 \times 1.0976}{2009.89} \div \frac{208.29}{2} = 1.092 N. \quad (\text{答})$$

再說測定溶質分子量的冰點法與沸點法。

(I) 冰點法。溶液的冰點, 總比純溶劑的要低些, 這叫做溶液的冰點下降 (freezing point lowering)。冬天怕花瓶會冰破, 常加些酒在瓶內水裏, 就是這個道理。布拉格屯氏定律 (Blagden's law) 指出溶液的冰點下降, 與溶質的克分子分率成正比。

$$\Delta T_f \propto \frac{n_u}{n_u + n_v}$$

就稀薄的溶液說,

$$\Delta T_f \propto \frac{n_u}{n_v}$$

所以稀溶液的冰點下降，可以說與溶液的〔克分子/仟克〕濃度成正比。不揮發也不電離的溶質 1〔克分子〕，溶解在 1000〔克〕的溶劑裏，這一溶液的冰點下降，叫做冰點常數， K_f 。水的 K_f 是 1.86°C 。所以 w 〔克〕的溶質，溶解在 W 〔克〕的溶劑裏，如果溶液的冰點下降測定出來了，那末溶質的分子量 m 就可以根據下式來求：

$$\Delta T_f : K_f = \frac{w/m}{W/M} : \frac{1}{1000/M}$$

式中的 M 是溶劑的分子量，但在計算中是消去的，不必顧及。這便是測定溶質分子量的冰點法。

【例二】 17.79〔克〕的雙氧水裏，含過氧化氫 0.1834〔克〕，其冰點是 -0.571°C ，試計算溶質的分子量。

【解】 1. 溶劑(水)的重量，是

$$17.79 - 0.1834 = 17.6066 \text{〔克〕}$$

冰點下降是

$$0^\circ - (-0.571^\circ) = 0.571^\circ\text{C}.$$

$$2. \quad \therefore 0.571 : 1.86 = \frac{0.1834/m}{17.6066} : \frac{1}{1000}$$

$$m = 33.9$$

(答)

(II) 沸點法。溶液的沸點，總比純粹溶劑的要高些，這叫做溶液的沸點上升(boiling point elevation)。沸點上升與冰點下降，原因相同，都是由於溶劑的狀態變化，受到了溶質分子的牽制。所以沸點法的公式，可以照冰點法的樣子立出如下：

$$\Delta T_b : K_b = \frac{w/m}{W/M} : \frac{1}{1000/M}$$

公式裏 ΔT_b 是沸點上升; K_b 是沸點常數, 水的 K_b 是 0.52°C 。

【例三】 碘 2.0579 [克], 溶解在 30.14 [克] 的醚裏, 沸點上升了 0.566°C , 醚的沸點常數是 2.1°C , 試求碘的分子量。

【解】 1. 在 1000 克醚裏所溶解碘的重量, 是

$$\frac{2.0579}{30.14} \times 1000 \text{ [克]}$$

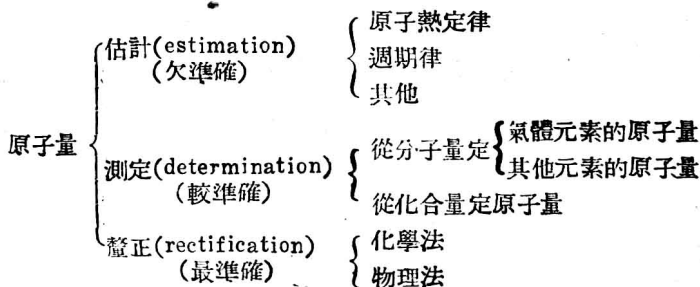
2. 故碘的分子量; 是

$$\frac{2.0579 \times 1000}{30.14} \times \frac{2.1}{0.566} = 253.3 \quad (\text{答})$$

如果照代公式, 結果當然一樣, 所以化學計算, 不一定非代公式不可。養成了非代公式不可的習慣, 反會把自己聰明的頭腦, 變成了呆板的機械, 碰到稍有曲折的問題, 便束手無策了。

1-4. 怎樣測定原子量

分子量的測定說過了, 其次說到原子量的測定。



測定原子量共有那些方法。化學裏雖有無法測定的分子量，卻沒有無法測定的原子量。測定原子量的方法太多了，這裏只說到其中最重要的幾種。

原子熱定律(Dulong and Petit's law)。丟隆與柏提二氏曾發見固體元素的比熱(specific heat)，與其原子量的相乘積，所謂原子熱(atomic heat)，約等於 6 到 6.4。所以

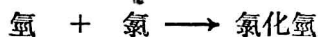
$$\frac{6 \text{ 到 } 6.4}{\text{比熱}} = \text{固體元素原子量的約數。}$$

這類原子量的約數，雖不準確，用途卻大。

從分子量定氣體元素的原子量。氣體素質的分子量是沒有問題的，總可以測定出來。如果再能決定了每個分子所含原子的個數，那末氣體元素的原子量，就立刻可以算出。

$$\text{氣體元素的原子量} = \frac{\text{氣體素質的分子量}}{\text{分子中所含原子的個數}}。$$

至於分子中所含原子的個數，本該要從氣體的定壓比熱與定容比熱的比值來決定，不過有些時候也可以勉強地用下面的方法來決定。



實驗測得的容積比， $1 : 1 : 2$

照阿氏假說，分子數之比， $1 : 1 : 2$

氫與氯各一個分子，既可以變成氯化氫兩個分子，足見氯與氫的分子裏，至少各含有兩個原子。至於何以不是四個，六個，或其他偶數個，當然還得用兩種比熱之比來決定。所以這不過是一