

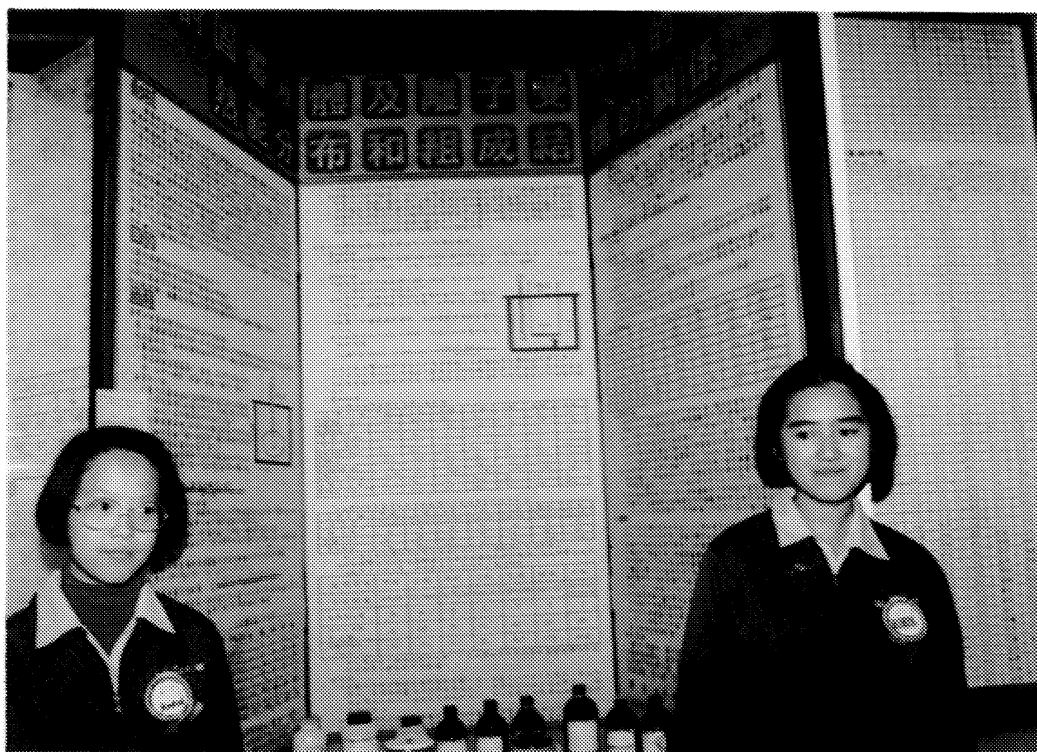
# 探討固體、液體及離子受熱時的熱能分佈 和組成結構的關係

國中組化學科第三名

台北縣福和國中

作者：陳美琴·陳宇平

指導教師：洪鈴雄



## 一、研究動機

在國中化學課本中和熱能有關的實驗單元包括化學反應熱的測量，物質燃燒熱的測量，溫度的高低怎樣影響反應速率以及溶液的比熱（課本把溶液的比熱值都設為  $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ，對濃度較高的溶液不太合理）……等。物質發生化學反應時常會造成吸熱或放熱的現象，吸熱或放熱的結果會使溫度下降或升高，而溫度的升降即表示物質所含的熱能（或動能）發生了增減的變化。又由溫度的高低會影響反應速率

的事實也說明物質的溫度越高時分子的動能就越大，分子的動能越大時，分子的運動速率就越快，因此分子與分子的碰撞機會就增加了，分子的碰撞機會增加，反應速率就加快。由於對這些觀念的瞭解，使我們更想加深一層的探討，物質吸收了熱能以後，這些熱能應該如何分佈在物質的內部？尤其電解質固體（分子狀態）溶於水後它的總熱容量是否會增加？有機化合物的液體分子又是如何吸熱，如何分配所吸收的熱能？這些問題是既新鮮又新奇，因此我們決定對固體、液體及離子做熱能分佈和化學結構關係的探討。

## 二、研究目的

- (一) 探討固體受熱時的熱能分佈情形。
- (二) 探討液體純物質受熱時的熱能分佈情形。
- (三) 探討離子受熱時的熱能分佈情形。
- (四) 比較固體、液體及游離子受熱時的熱能分佈和組成結構的關係。

## 三、過程

- (一) 探討金屬固體受熱時的熱能分佈情形：

爲了使實驗結果更合理，我們屏棄課本利用塑膠杯的方法，而用保溫杯做爲量熱器，因爲利用保溫杯可以防止熱的傳導與輻射出去。

### 1. 實驗器材：

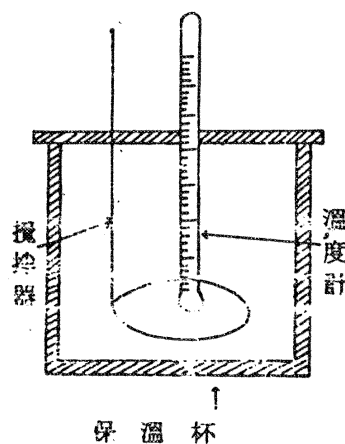
保溫杯和保麗龍蓋子，量筒， $0.1^{\circ}\text{C}$  刻度溫度計，天平，銅粒，鐵粒，鋁粒，鋅粒，錫粒。

### 2. 實驗步驟：

- (1) 首先測量保溫杯（包括攪拌器和溫度計）的水當量  $k$ 。（略）
- (2) 測量各種金屬的比熱值：（略）

### 3. 實驗結果：

- (1) 保溫杯水當量的測量值  $k$ ：



$m_1$ (g)	$t_1$ °C	$m_2$ (g)	$t_2$ °C	$t$ °C	k cal/°C	k cal/°C
200	55	100	19.6	43.4	5.1	
200	52	100	19.4	41.3	4.8	5.1
200	58	100	19.6	45.4	5.3	

故保溫杯的水當量k 爲5.1 cal/°C。

(2)各種金屬的比熱值

金 屬 名 稱	鋁	鐵	銅	鋅	錫
金屬質量 ( g )	200	300	300	300	300
熱水質量 ( g )	200	200	200	200	200
金屬與熱水初溫° C	51.6	54.6	57.1	57.7	54.7
冷水質量 ( g )	100	100	100	100	100
冷水初溫° C	19.5	19.4	19.5	19.6	19.6
混合後溫度° C	42.5	44.2	45.8	46.2	43.8
保溫杯水當量 cal /°C	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
金屬的比熱 cal /g·°C	0.23	0.109	0.092	0.089	0.055

(3)金屬一莫耳溫度升高1° C所需之熱量(莫耳熱容)：

金 屬 名 稱	鋁	鐵	銅	鋅	錫
金 屬 分 子 量	27	56	63.5	65.4	118.7
金 屬 比 熱	0.23	0.109	0.092	0.089	0.055
莫耳熱容 a cl / M	6.21	6.10	5.84	5.82	6.53

4. 討 論：

- (1)由實驗結果(3)可知各種金屬固體，不論其密度或分子量的大小爲何，每  $6 \times 10^{23}$  個金屬分子都是吸收了約6卡的熱量即可使其溫度升高1° C。
- (2)因爲各金屬固體都是單原子分子的結構，因此可以預測每個原子都代表一個吸熱單位，也就是說任何金屬原子只要

吸收了  $6 / 6 \times 10^{23}$  卡的熱量即表示其溫度升高了  $1^\circ\text{C}$

(3) 因為  $\text{H}_2\text{O}$  的比熱為  $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ，故使  $1 \text{ M H}_2\text{O}$  的溫度升高  $1^\circ\text{C}$  時要吸收 18 卡的熱量，又因為一莫耳  $\text{H}_2\text{O}$  是由 2 莫耳氫原子和 1 莫耳氧原子，共 3 莫耳原子所構成，故平均每莫耳原子可吸收 6 卡的熱量。這個情形和金屬原子的吸熱情形完全相同，因此使我們聯想到其它液體純物質的莫耳熱容量是否也是相當於它們分子式的總原子數乘 6 卡？為了解決和解釋這個問題，我們繼續設計如下之實驗來探討液體分子的熱能分佈。

(二) 探討液體純物質的莫耳熱容與分子結構的關係：

1 實驗器材：

自製電熱式量熱器（在保溫杯內附加電熱線而成），電源供應器，三用電表， $0.1^\circ\text{C}$ 溫度計，甲醇，乙醇，丙醇，丁醇，戊醇，甘油，醋酸。

2 實驗步驟：

(1) 將質量為  $m$  克的液體（ $200 \sim 300 \text{ g}$ ）置於保溫杯內充分攪拌後測量初溫度  $t_1^\circ\text{C}$ 。

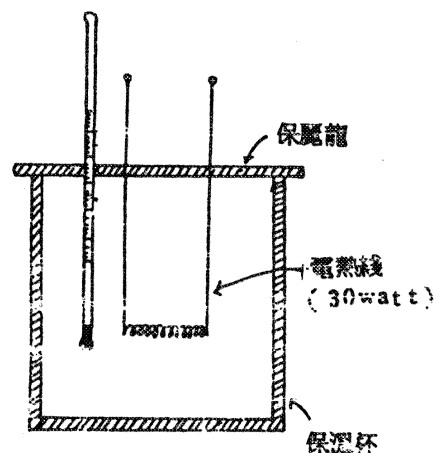
(2) 將電熱線並聯於伏特計和串聯於安培計，然後接上電源，調整電壓至 30 伏特，此時的電流恰為 1 安培。

(3) 通電 5 分鐘後關閉電源，充分攪拌後量取末溫  $t_2^\circ\text{C}$ 。

(4) 因為熱電阻所放出的熱量 = 保溫杯和液體所吸收的熱量或  $0.24IVt = (k + mS)(t_2 - t_1)$ ，故液體的比熱

$$S = \frac{0.24IVt - k(t_2 - t_1)}{m(t_2 - t_1)}$$

(5) 計算各液體的比熱值和分子量的乘積，此乘積就是液體的莫耳熱容量。



(6) 計算各液體分子式的總原子數與 6 卡的乘積是否約等於液體的莫耳熱容量。

(7) 如果步驟(6)的結果不可靠，則設法找出各液體莫耳熱容量和分子結構的關係。

### 3. 實驗結果：

(1) 液體的比熱和莫耳熱容量，如下表：

液體名稱	甲醇	乙醇	丙醇	丁醇	戊醇	醋酸	甘油
液體質量 (g)	237	230	250	250	250	265	299
液體初溫 $t^{\circ}\text{C}$	18.9	17.9	18.5	19.0	18.8	18.5	19.6
電壓 (伏特)	30	30	30	30	30	30	30
電流流 (安培)	1	1	1	1	1	1	1
通電時間 (sec)	300	300	300	300	300	300	300
液體末溫 $^{\circ}\text{C}$	33.7	33.0	34.0	35.1	35.5	35.8	31.0
保溫杯水當溫 $\text{cal}/^{\circ}\text{C}$	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
液體比熱 $\text{cal}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$	0.595	0.571	0.535	0.514	0.497	0.490	0.617
液體分子量	32	46	60	74.12	88	60	92
莫耳熱容 $\text{cal}/\text{M}$	19.0	26.3	32.1	38.1	43.7	29.4	56.8

(2) 液體的莫耳熱容量是否等於液體分子式的總原子數  $\times$  6 卡

液體名稱	甲 醇	乙 醇	丙 醇	丁 醇	戊 醇
分子式	$\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$
原 子 數	6	9	12	15	18
原子數 $\times$ 6 卡	36	54	72	90	108
莫耳熱容	19.6	26.3	32.1	38.1	43.7

液體名稱	醋 酸	甘 油
分子式	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$
原 子 數	8	14
原子數 $\times$ 6 卡	48	84
莫耳熱容	29.4	56.8

由上表可見液體的莫耳熱容量並不等於原子總數與 6 卡的乘積。

(3)若將液體分子式中的每個碳原子及其附屬的氫原子視爲一個吸熱單位而其它的原子也皆代表一個吸熱單位，則得到下表的結果：

液體名稱	甲醇	乙醇	丙醇	丁醇
分子結構	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH	CH <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH
吸熱單位數	3	4	5	6
6 卡 × 吸熱單位數	18	24	30	36
液體莫耳熱容 cal / M	19.6	26.3	32.1	38.1

液體名稱	戊醇	醋酸	甘油
分子結構	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> OH	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> CH(OH) CH(OH)OH
吸熱單位數	7	5	9
6 卡 × 吸熱單位數	42	30	54
液體莫耳熱容 cal / M	43.7	29.4	56.8

由上表的最下面兩列數目比較，可見液體的莫耳熱容量相當於液體分子式的吸熱單位數和 6 卡的乘積。

#### 4. 討論：

(1)液體化合物受熱時的吸熱量和金屬不同，金屬是以分子（或原子）爲吸熱單位，每莫耳金屬分子的熱容量爲 6 卡。液體不是以分子爲吸熱單位，每個液體分子內可以包括若干個吸熱單位，而且每莫耳吸熱單位的熱容量仍然是 6 卡。

(2) H<sub>2</sub>O 的三個原子都是吸熱單位，故 H<sub>2</sub>O 的莫耳熱容量爲

6 卡  $\times$  3 = 18 卡。

(3)液體醇類的吸熱單位包括碳原子數和羥基中的氧原子數及氫原子數。

(4)醋酸的分子結構為  $\text{CH}_3 - \text{COOH}$  共有 5 個吸熱單位，故醋酸的莫耳熱容量很接近 30 卡。

(5)甘油的分子式為  $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$  有 3 個碳原子和 3 個  $-\text{O}-\text{H}$  基故甘油共有 9 個吸熱單位，因此甘油的莫耳熱容量很接近  $6 \text{ 卡} \times 9 = 54 \text{ 卡}$ 。

(6)爲什麼碳原子和它周圍的氫原子只能擔當一個吸熱單位，而羥基 ( $-\text{O}-\text{H}$ ) 却擔當 2 個吸熱單位，個中原因尙不瞭解，也許它跟原子間的結合力有關，但由於我們對於原子間的結合力問題所知有限，無法給予合理的解釋。但是由於這個問題的發現，已經引起我們繼續探討下去的興趣。希望將來繼續研究的結果能夠獲得合理的解答。

㊦探討電解質溶解後受熱時的熱能分佈情形：

1. 實驗項目：

$\text{NaOH}$  ,  $\text{NaCl}$  ,  $\text{CaCl}_2$  ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$

2. 實驗步驟：

(1)將欲測試之電解質 40g 溶於 250g 的水中，其中將  $\text{NaOH}$  溶於冷水後即因放熱而變成熱溶液，而  $\text{NaCl}$  ,  $\text{CaCl}_2$  與  $\text{NH}_4\text{Cl}$  則溶於熱水中，溶解後的溫度仍然保持在  $50^\circ\text{C}$  以上。

(2)將熱溶液移至保溫杯量熱器，充分攪拌後，測量液體的初溫度  $t_1^\circ\text{C}$ 。

(3)將溫度爲  $t_2^\circ\text{C}$  的冷水（約等於室溫）100g 倒入熱溶液中，使之充分混合後測量混合溫度  $t^\circ\text{C}$ 。

(4)則熱水和溶質和保溫杯所放出的熱量 = 冷水所吸收的熱量。

(5)計算溶質形成游離子後的莫耳熱容量  $\text{cal} / \text{M}$ 。

3. 實驗結果：

溶 質 名 稱	NaOH	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> Cl
溶質質量 ( g )	40	40	40	40
熱水質量 ( g )	250	250	250	250
熱溶液初溫 °C	68.2	62.3	52.4	54.2
冷水質量 ( g )	100	100	100	100
冷水初溫 °C	18.2	18.2	18.4	18.3
混合後溫度 °C	54.8	50.3	43.3	44.4
保溫杯水當量 cal/°C	5.1	5.1	5.1	5.1
溶質溶解後比熱	0.48	0.196	0.15	0.23
溶質溶解後莫耳熱容	19.2	11.5	16.7	12.3

#### 4. 實驗討論：

- (1) NaOH 溶解於水後變成 Na<sup>+</sup> 和 OH<sup>-</sup>，其中 Na<sup>+</sup> 為一個吸熱單位，OH<sup>-</sup> 為兩個吸熱單位，故 NaOH 溶解後的莫耳熱容實驗值 ( 19.2 cal / M ) 接近於 6 卡 × 3 = 18 卡。
- (2) NaCl 溶解於水後變成 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup>，Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 都各別代表一個吸熱單位，故 NaCl 溶解後的莫耳熱容量實驗值 ( 11.5 cal / M ) 接近於 6 卡 × 2 = 12 卡。
- (3) CaCl<sub>2</sub> 溶解於水後變成 Ca<sup>+</sup> 和 2 個 Cl<sup>-</sup> 每個離子都代表一個吸熱單位，故 CaCl<sub>2</sub> 溶解後的莫耳熱容量實驗值 ( 16.7 cal / M ) 接近於 6 卡 × 3 = 18 卡。
- (4) NH<sub>4</sub>Cl 溶解於水後變成 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup>，其中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 代表一個吸熱單位，Cl<sup>-</sup> 代表一個吸熱單位，故每個 NH<sub>4</sub>Cl 分子溶解後變成 2 個吸熱單位，而其莫耳熱容量實驗值 ( 12.3 cal / M ) 也接近於 6 卡 × 2 = 12 卡。
- (5) 很有趣的事情是 OH<sup>-</sup> 可代表 2 個吸熱單位，而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 却只能夠擔任一個吸熱單位，這種情形和醇類很相似，醇中的甲、乙、丙、丁、戊基分別代表 1, 2, 3, 4, 5 個吸熱單位，而各羥基 ( -OH ) 則可代表 2 個吸熱單位。



## 四、總 結

- (一)任何金屬固體在適當的高溫下，它們的莫耳熱容量都接近於 6 卡。老師說，在很低的溫度時，金屬固體的莫耳熱容量很可能小於 6 卡。
- (二)液體純物質的莫耳熱容量為 6 卡和吸熱單位數的乘積，吸熱單位數隨液體的分子構造而定，醇類或有機酸的甲、乙、丙……基分別代表 1，2，3……個吸熱單位， $-\text{COOH}$  代表 4 個吸熱單位， $-\text{OH}$  代表 2 個吸熱單位。
- (三)電解質固體（它的莫耳熱容可能都接近於 6 卡）溶解於水後，它的莫耳熱容量增加， $\text{NaOH}_{(s)}$  溶解於水後它的莫耳熱容量變成原來的 3 倍， $\text{NaCl}_{(s)}$  變成 2 倍， $\text{CaCl}_2_{(s)}$  變成 3 倍，而  $\text{NH}_4\text{Cl}_{(s)}$  則變成原來的 2 倍。
- (四)由物質莫耳熱容量的探討，使我們很容易的瞭解到物質吸熱後的熱能分佈情形，由物質的熱能分佈也更進一步使我們瞭解到那些原子是個別在接受熱運動，那些原子是結合成群的接受熱運動（如  $\text{NH}_4^+$ ， $-\text{CH}_3$ ， $-\text{CH}_2$ ，……等），而對於這些個別或成群原子的接受熱運動或許將有助於我們探討物質的組成原理。

## 五、參考資料

- (一)國中化學課本 國立編譯館
- (二)國中物理課本 國立編譯館
- (三)高級中學化學下冊 東華書局
- (四)物理學 第二冊 王唯農、王明建、蔡正治譯 東華書局

### 評 語

- 1 探討金屬固體，電解質固體及液體受熱時的熱能分佈。係將國中化學實驗延伸測定比熱並計算莫耳熱容量，數質尚肯定。
- 2 學生表達能力強。