

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031634

能量會躲貓貓---蓄熱多就是比熱大

學校名稱：臺北縣立五峰國民中學

作者：

國二 周一宇

國二 林彥廷

國二 陳品元

國二 鄭安宏

指導老師：

黃義傑

游鳳苑

關鍵詞：水、比熱、蓄能

壹、摘要

選用六種常見化學藥品進行三種實驗，(1) 觀察藥品溶解於水的過程中溫度變化現象，並且測得的溶液比熱與一般固體比熱進行比較。(2) 以固定升溫方式測定不同濃度溶液的比熱，與化學專業網站的資料對照自測比熱的準確度，(3) 將不同濃度的溶液進行折射率的測定，討論不同離子濃度對折射率的影響，與不同離子濃度對比熱的影響，兩者進行對照比較，看是否能對應出比熱與折射率之間的關連性。我們發現：六種水溶液，不論濃度大小，比熱均小於純水的比熱，其中僅有蔗糖水溶液的比熱實驗值近似於純水的比熱。我們提出混合物比熱與化合物比熱的溶液理論模型，並進一步考慮水溶液中的離子作用力與成分物質內能之比較，合理地解釋了本實驗的結果。

關鍵字：水、比熱、蓄能

貳、研究動機

有人說比熱大就是蓄熱多。對嗎? 海洋覆蓋地球十分之七的表面積，由於水的比熱相當高，海洋對全球氣候的維持及氣溫的變化有著調節與緩衝作用。海島國家(如台灣)氣候變化很大，常受到風雨的肆虐；沙漠地區則是極熱與極冷氣候，讓人不敢領教。生活在地球上，因為地區不同，氣候與地理環境和物質之間藏有什麼玄機？

如果一種物質在日照之下，能量不能慢慢儲存或慢慢釋放，地球會是什麼樣子？比熱是重要的特性嗎？我們探討熱量、質量、和水溫變化之關係時，導入物質比熱的概念，逐漸了解物質的比熱與蓄熱的特性。除了固體的比熱觀念，溶液的比熱(如海水)又扮演什麼的角色呢？

參、研究目的

一、定量地探討化學藥品溶解於水的吸放熱過程，從比熱觀念討論有無能量轉移的現象，來討論溶解過程的能量變化過程。

二、探討水溶液的比熱計算方法，討論水溶液的比熱實驗值與文獻史料的作一比較。

三、建立混合物比熱與化合物比熱的溶液理論模型，解釋水溶液比熱的實驗值與理論值之比較結果。

四、探討溶液折射率的變化，與離子濃度之間的關係。希望能從離子濃度的方向衍生出對折射率的影響及對比熱的影響。

肆、研究設備及器材

器材	藥品
電磁爐(尙朋堂)、不銹鋼鍋	蔗糖
保麗龍決熱盒、溫度計	氯化鈉
雷射筆為設計、碼表、絕熱杯	氯化鉀
溫度計、折射用菱鏡容器	醋酸鈉
100g 法碼、電子秤、量尺、燒杯	碳酸鈉
	醋酸

伍、研究過程與方法

一、藥劑溶解水中的溫度變化實驗

(一) 將各種化學藥劑(如表 5.2.1)按照 5g、10g、20g、30g、40g 以電子秤量測重量，分別盛裝於個別燒杯裡。

(二) 以電子秤量測水的重量 100g，並且裝於 200CC 燒杯中。

(三) 將電子溫度計歸零(可測量此次實驗中的最高溫度及最低溫度)。

(四) 先將化學藥劑放入自製絕熱杯中(如圖 5.1.1)，之後再將秤好的水倒入絕熱

杯中，將裝有溫度計的絕熱杯蓋蓋上，約 15~20 分鐘之後紀錄此次實驗的溶劑/溶質/最高溫度/最低溫度等，並紀錄是否完全溶解。

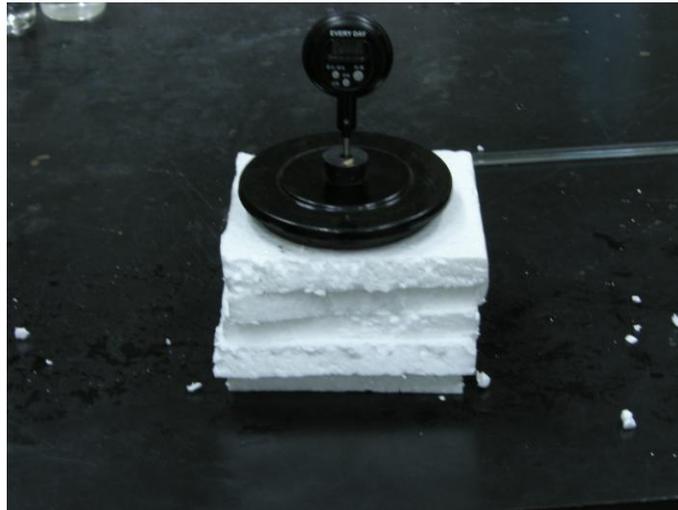


圖 5.1.1 自製絕熱杯(保麗龍板挖空後疊層再以白膠黏住，內置玻璃燒杯)

二、比熱值的測定實驗

以電磁爐在相同的不鏽鋼鍋中，固定的溶液，以固定的加溫速率下加溫不鏽鋼鍋裡各種不同的化學溶液，同時固定間隔時間記錄溫度的變化，再以水的升溫曲線與其他溶液的曲線比對計算出溶液的比熱。過程如下，假設

$\Delta H = m \cdot C \cdot \Delta T$ ，其中 ΔH : 外加熱量， m : 溶液質量， C : 比熱； ΔT 加溫過程的前後溫度差。已知純水在單位時間內 (Δt) 加熱 (電磁爐加熱功率 $\Delta H / \Delta t$ 為固定)，升溫過程可以表示如下：

$$\Delta H / \Delta t = m(\text{水}) \cdot C(\text{水}) \cdot (\Delta T(\text{水}) / \Delta t) \text{-----A}$$

也就是會發生水溫變化會隨時間改變 ($\Delta T(\text{水}) / \Delta t$)。

若有一未知溶液在單位時間 (Δt) 內加熱 (假設電磁爐加熱功率 $\Delta H / \Delta t$ 為固定)，升溫過程也可表示如下：

$$\Delta H / \Delta t = m(\text{未知溶液}) \cdot C(\text{未知溶液}) \cdot (\Delta T(\text{未知溶液}) / \Delta t) \text{----B}$$

因為加熱功率 $\Delta H / \Delta t$ 為固定，所以上述 A 與 B 兩式相等。合併後可得下式：

$$\begin{aligned} \rightarrow m(\text{水}) \cdot C(\text{水}) \cdot (\Delta T(\text{水}) / \Delta t) = \\ m(\text{未知溶液}) \cdot C(\text{未知溶液}) \cdot (\Delta T(\text{未知溶液}) / \Delta t) \end{aligned}$$

故整理後未知溶液比熱 $C(\text{未知溶液})$ 可計算 如下：

$$C(\text{未知溶液}) = \frac{m(\text{水})}{m(\text{未知溶液})} \cdot \frac{\frac{\Delta T(\text{水})}{\Delta t}}{\frac{\Delta T(\text{未知溶液})}{\Delta t}} \cdot C(\text{水})$$

所以我們只要從我們的實驗去量出溫度差對時間的變化關係，也就是知道水溫相對於時間的斜率與未知溶液的斜率，就可以算出未知溶液的比熱。

測量溫度差對時間的變化關係過程如下：

(一) 量測 200ml 的六種不同溶液 (如 5.2.1 表)，分別以燒杯盛裝。



圖 5.2.1 比熱值的測定裝置(電磁爐 不鏽鋼鍋 數位式溫度計)

(二) 將充分溶解的溶液個別置於不銹鋼鍋中，先測量溶液的起始溫度，然後以電磁爐固定功率下連續加熱 4~5 分鐘(如圖 5.2.1)，加熱時，每 20 秒記錄溫度一次。重複進行 2~3 次，以實驗平均數據減少誤差。

(三) 實驗數據以微軟的 Excel 軟體程式做出 $x-y(\Delta t - \Delta T, \text{時間對溫度})$ 的曲線圖。

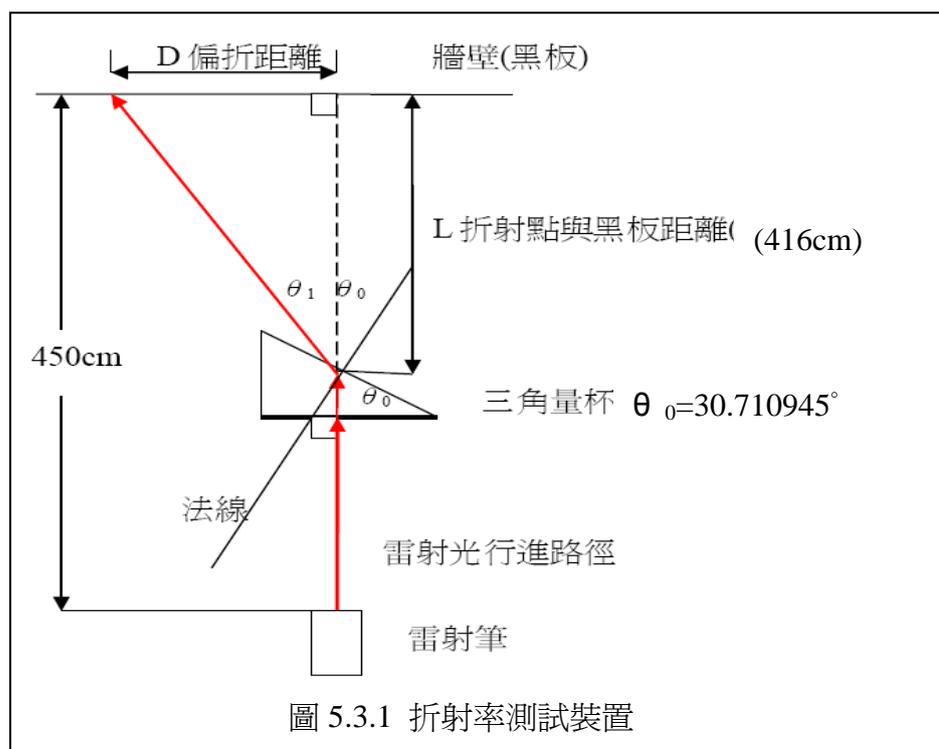
(四) 實驗數據以最小二次平方法，求出時間對溫度的二元一次直線方程式(回歸曲線 $y=ax+b$)。方程式的 X 項就是我們直線的斜率，常數項是截距，最後以所學到的數學來討論其中的物理意義。

5.2.1 表 六種不同濃度的水溶液

質量百分比(%)	NaCl	KCl	蔗糖	醋酸	醋酸鈉	碳酸鈉
0	0	0	0	0	0	0
4.7619	4.7619	4.7619	4.7619	4.7619	4.7619	4.7619
9.0909	9.0909	9.0909	9.0909	9.0909	9.0909	9.0909
16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667	16.667
23.077	23.077	23.077	23.077	23.077	23.077	23.077
25.58	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58	25.58

三、折射率測量實驗

(一) 折射率測量實驗裝置如圖 5.3.1，紅光雷射筆光線垂直於牆壁(校正的方法是在牆壁貼上反射鏡，雷射光經過反射鏡循原來路徑反射時，就表示雷射光路徑垂直牆面)。



(二) 將待測溶液置於折射量杯中，三角量杯與牆壁距離為 $L=416\text{cm}$ 。雷射光通過三角量杯後會有 θ_1 角度偏折， θ_0 角度為三角量杯的夾角，經過測量水的折射後校正出 θ_0 為 30.710945° 。如圖 5.3.2

(三) 測量偏折距離 D 後，代入下列公式
$$n = \frac{\sin(\theta_1 + \theta_0)}{\sin \theta_0}$$

其中 θ_1 為偏折角， $\theta_0 = 30.710945^\circ$ ， $\theta_1 = \tan^{-1}(D/L)$

$L = 416\text{cm}$ ， n 為折射率。

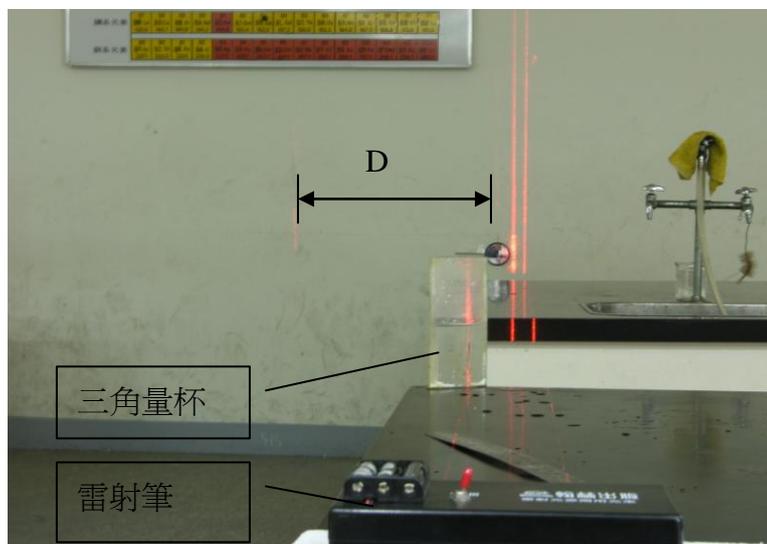


圖 5.3.2 折射率實驗的佈置

陸、研究結果

一、化學藥品與水混合溶解的吸放熱過程

水的比熱為 $1\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，NaCl 的比熱為 $0.2067\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，KCl 的比熱為 $0.2362\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，蔗糖的比熱為 $0.2963\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，醋酸的比熱為 $0.4904\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，醋酸鈉的比熱為 $0.2938\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ ，碳酸鈉的比熱為 $0.2509\text{Cal/g}^\circ\text{C}$ 。分別計算各溶質在與水混合前後所吸收或者放出的熱量，亦即分別計算溶劑(水)的熱含量 (Cal)，及溶質的吸收或者放出的熱量，在不考慮溶質與溶劑之間的內能變化之下(理想溶液)，所計算出的理想溶液熱量，並且依據這個結果利用 $\Delta H = m \cdot C \cdot \Delta T$ 算出理想溶液比熱 C。

根據升溫法將自測的溶液比熱值代入比熱公式去計算混合後溶液真正吸收的熱量有多少，再與理想溶液的熱量作一比較。藉以探討溶液在混合過程中的熱量變化。

將各種溶液測試結果記錄與計算如表 6.1.1 至表 6.1.6。

表 6.1.1 不同濃度食鹽溶解前後的溫度變化與熱量變化

NaCl	水	質量 濃度 (%)	混合 前溫 度(°C)	混合 後溫 度(°C)	溶劑(水) 的熱含量 (Cal)	溶質的 熱含量 (Cal)	理想溶 液熱量 (Cal)	自測比熱值 計算熱量 (Cal)	理想溶液熱 量與自測值 的差異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.60	20.10	(50.0000)	(0.5168)	(50.517)	(49.879)	(0.638)
10	100.0	9.09	20.60	19.70	(90.0000)	(1.8603)	(91.860)	(91.572)	(0.288)
20	100.0	16.67	20.60	19.30	(130.0000)	(5.3742)	(135.374)	(137.441)	2.067
30*	100.0	23.08	20.60	19.10	(150.0000)	(9.3015)	(159.302)	(164.552)	5.250
40*	100.0	28.57	20.60	19.70	(90.0000)	(7.4412)	(97.441)	(102.310)	4.869

*未完全溶解

表 6.1.2 不同濃度 KCl 溶解前後的溫度變化與熱量變化

KCl	水	質量 濃度 (%)	混合 前溫 度(°C)	混合 後溫 度(°C)	溶劑(水)的 熱含量 (Cal)	溶質的熱 含量(Cal)	理想溶液 熱量(Cal)	自測比熱 值計算熱 量(Cal)	理想溶液 熱量與自 測值的差 異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.00	19.00	(100.0000)	(1.1810)	(101.181)	(98.775)	(2.407)
10	100.0	9.09	20.00	17.00	(300.0000)	(7.0860)	(307.086)	(296.577)	(10.509)
20	100.0	16.67	20.00	13.00	(700.0000)	(33.0680)	(733.068)	(693.196)	(39.872)
30	100.0	23.08	20.00	9.50	(1050.0000)	(74.4030)	(1124.403)	(1041.569)	(82.835)
40	100.0	28.57	20.00	8.50	(1150.0000)	(108.6520)	(1258.652)	(1142.709)	(115.943)

表 6.1.3 不同濃度蔗糖溶解前後的溫度變化與熱量變化

蔗糖	水	質量 濃度 (%)	混合 前溫 度(C)	混合 後溫 度(C)	溶劑(水) 的熱含量 (Cal)	溶質的 熱含量 (Cal)	理想溶 液熱量 (Cal)	自測比 熱值計 算熱量 (Cal)	理想溶液熱量與 自測值的差異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.40	20.40	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000
10	100.0	9.09	20.40	20.50	10.0000	0.2963	10.296	10.758	(0.461)
20	100.0	16.67	20.40	20.50	10.0000	0.5926	10.593	11.399	(0.807)
30	100.0	23.08	20.40	20.40	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000
40	100.0	28.57	20.40	20.00	(40.0000)	(4.7408)	(44.741)	(50.730)	5.989

表 6.1.4 不同濃度醋酸混合前後的溫度變化與熱量變化

醋酸	水	質量 濃度 (%)	混合 前溫 度(C)	混合 後溫 度(C)	溶劑(水) 的熱含量 (Cal)	溶質的 熱含量 (Cal)	理想溶液 熱量(Cal)	自測比熱 值計算熱 量(Cal)	理想溶液熱 量與自測值 的差異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.70	21.40	70.0000	1.7164	71.716	73.663	(1.946)
10	100.0	9.09	20.70	21.10	40.0000	1.9616	41.962	43.926	(1.964)
20	100.0	16.67	20.70	21.30	60.0000	5.8848	65.885	71.388	(5.503)
30	100.0	23.08	20.70	21.30	60.0000	8.8272	68.827	76.887	(8.060)
40	100.0	28.57	20.70	21.40	70.0000	13.7312	83.731	96.117	(12.386)

表 6.1.5 不同濃度醋酸鈉溶解前後的溫度變化與熱量變化

醋酸 鈉	水	質量濃 度(%)	混合前 溫度 (C)	混合 後溫 度(C)	溶劑(水) 的熱含量 (Cal)	溶質的熱 含量(Cal)	理想溶液 熱量(Cal)	自測比熱 值計算熱 量(Cal)	理想溶液 熱量與自 測值的差 異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.80	19.60	(120.0000)	(1.7628)	(121.763)	(122.173)	0.410
10	100.0	9.09	20.80	18.00	(280.0000)	(8.2264)	(288.226)	(290.646)	2.419
20	100.0	16.67	20.80	15.20	(560.0000)	(32.9056)	(592.906)	(603.590)	10.685
30	100.0	23.08	20.80	12.70	(810.0000)	(71.3934)	(881.393)	(905.305)	23.911
40	100.0	28.57	20.80	11.50	(930.0000)	(109.2936)	(1039.294)	(1076.456)	37.163

表 6.1.6 不同濃度碳酸鈉溶解前後的溫度變化與熱量變化

碳酸鈉	水	質量濃度(%)	混合前溫度(C)	混合後溫度(C)	溶劑(水)的熱含量(Cal)	溶質的熱含量(Cal)	理想溶液熱量(Cal)	自測比熱值計算熱量(Cal)	理想溶液熱量與自測值的差異
0	85.0	0.00	20.50	20.50	0.0000	0.0000	0.000		
5	100.0	4.76	20.70	26.00	530.0000	6.6489	536.649	551.452	(14.803)
10	100.0	9.09	20.70	26.00	530.0000	13.2977	543.298	562.569	(19.271)
20	100.0	16.67	20.70	26.30	560.0000	28.1008	588.101	617.904	(29.803)
30	100.0	23.08	20.70	36.80	1610.0000	121.1847	1731.185	1844.014	(112.829)
40	100.0	28.57	20.70	41.10	2040.0000	204.7344	2244.734	2422.092	(177.358)

二、升溫法比熱的測試結果

依據研究過程所敘述的比熱值的測定實驗，先測量出水的 $\Delta T(\text{水}) / \Delta t$ 曲線表如表 6.2.1，再以 Excel 軟體求出 $\Delta T(\text{水}) / \Delta t$ 的方程式為 $T(\text{水}) = [0.1856 \cdot (\Delta t)] + 22.812$ 其中水的升溫曲線斜率就是 0.1856。

表 6.2.1 定功率加溫的純水升溫曲線

升溫時間(sec)	水溫 1	水溫 2	水溫 3	平均值
0	21.4	23.5	22.3	22.45
20	24.8	26.4	29.1	25.6
40	28.9	30.9	34.3	29.9
60	33.1	35.4	39.1	34.25
80	35.8	40.4	42.1	38.1
100	40.2	43.6	44	41.9
120	43.2	47.8	48.6	45.5
140	47.5	51.5	51.4	49.5
160	51.5	55.3	55	53.4
180	54.2	58.4	58	56.3
200	58.3	61	61.6	59.65
220	60.1	64.2	64.5	62.15
240	62.6	67.4	66.1	65
260	65.7	70.2	69.2	67.95
280	68.3	72		
300	71.2	73.6		
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.1809	0.1856
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	25.937	22.812

表 6.2.2 NaCl 不同濃度的定功率升溫曲線與測量比熱值

NaCl 升溫時間(sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	21.2	20.7	20.3	24.4	20.8
20	24.8	26.4	23.9	23.6	24.8	28.5	24.4
40	28.9	30.9	32.4	27.6	29	32.5	29.9
60	33.1	35.4	37	34.2	34.2	40.1	37.4
80	35.8	40.4	41.6	38.9	40.3	47	43.4
100	40.2	43.6	46	42.9	44.6	50.8	48
120	43.2	47.8	49.7	46.6	48.7	55	51.9
140	47.5	51.5	53.5	50.7	52.3	58.6	56.1
160	51.5	55.3	56.2	53.7	55.7	62.6	59.2
180	54.2	58.4	60.1	58.1	59.3	65.7	61.4
200	58.3	61	63	60.8	62.3	69	65.5
220	60.1	64.2	66	65.1	65.2	71.7	69.7
240	62.6	67.4	68.8	66.8	67.8	73.9	70.9
260	65.7	70.2	70.4	69.8	71.1		
280	68.3	72	74.2	71.8	73.3		
300	71.2	73.6	74.5	73.6	74.6		
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.2052	0.2051	0.2062	0.2293	0.2297
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	22.007	21.012	21.819	20.55	22.305
測量比熱	1	1	0.9042	0.90468	0.89121	0.8092	0.8078

表 6.2.3 KCl 不同濃度的定功率升溫曲線與計算比熱

KCl 升溫時間(sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	23.4	17.2	23.6	14.9	14.2
20	24.8	26.4	25.5	20.7	27.3	23	18.1
40	28.9	30.9	32	27.3	32.5	25.5	27
60	33.1	35.4	39.3	31.9	39.2	28.9	33
80	35.8	40.4	43.8	37.6	44.7	39.8	38.6
100	40.2	43.6	47.8	42.6	49.6	45.5	44.1
120	43.2	47.8	51.5	46	54.8	49.6	48.7
140	47.5	51.5	54.3	48.8	58.3	54.2	53.1
160	51.5	55.3	58.1	53	61.1	57.9	60.3
180	54.2	58.4	60.4	56.9	64.7	62.2	62.4
200	58.3	61	63.8	60	68.3	66.6	65.7
220	60.1	64.2	67.2	63.6	71.4	69.6	68.8
240	62.6	67.4	70	66.2	74.2	72.4	72.3
260	65.7	70.2					
280	68.3	72					
300	71.2	73.6					
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.2018	0.2064	0.2305	0.2437	0.2555
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	25.056	19.216	24.591	17.682	16.396
測量比熱	1	1	0.9195	0.89898	0.80499	0.76139	0.7262

表 6.2.4 蔗糖不同濃度水溶液的定功率升溫曲線與計算比熱

蔗糖升溫時間(sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	21.9	21.7	21.5	21.6	21.5
20	24.8	26.4	24	23.5	24.2	21.9	24.4
40	28.9	30.9	29.7	28.4	28.8	27.1	28.4
60	33.1	35.4	35.1	32.1	34.5	33.4	36.7
80	35.8	40.4	39.3	35.3	39.3	37.6	40.8
100	40.2	43.6	43	39.7	43.7	42.4	45.1
120	43.2	47.8	47.4	44.1	46.7	46.8	49.7
140	47.5	51.5	50.6	47.8	50.8	50.9	53.6
160	51.5	55.3	54.4	52	54.2	55.3	56.2
180	54.2	58.4	57.3	54.3	58.8	57.9	60
200	58.3	61	59.3	57.5	61.2	61	63.6
220	60.1	64.2	63.8	60.8	64.5	64.7	66.6
240	62.6	67.4	66.2	62.6	66.5	66.6	69.8
260	65.7	70.2					
280	68.3	72					
300	71.2	73.6					
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.1889	0.1803	0.1953	0.2025	0.2063
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	22.87	21.422	22.31	20.873	22.664
測量比熱	1	1	0.9823	1.02912	0.95008	0.9163	0.8994

表 6.2.5 醋酸不同濃度水溶液的定功率升溫曲線與計算比熱

CH ₃ COOH 升溫時間(sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	21.2	21.5	21.4	21.4	21.9
20	24.8	26.4	24.4	25.1	29	25.2	24.9
40	28.9	30.9	28.5	31.3	34.4	31.6	30.9
60	33.1	35.4	33.5	35.9	36.7	36.5	35.2
80	35.8	40.4	37.4	40	40.4	40.5	38.6
100	40.2	43.6	41.2	44.2	46.7	43.9	43.1
120	43.2	47.8	45	47.7	49	48.5	46.8
140	47.5	51.5	48.3	50.8	51.9	51.8	50.3
160	51.5	55.3	52.2	55.1	55.2	56.4	53.4
180	54.2	58.4	55.8	57.9	58.4	59	57.2
200	58.3	61	58.2	60.9	62.1	62	60
220	60.1	64.2	61.1	64.2	64.3	65.5	63.1
240	62.6	67.4	64	66.4	66.2	68	67.2
260	65.7	70.2					
280	68.3	72					
300	71.2	73.6					
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.1821	0.1885	0.1802	0.195	0.1874
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	22.06	23.612	25.735	23.543	23.101
測量比熱	1	1	1.0189	0.98435	1.02969	0.95154	0.9901

表 6.2.6 碳酸鈉不同濃度水溶液的定功率升溫曲線與計算比熱

NaCO ₃ 升溫時間 (sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	22.3	22.5	23.9	24.4	24.9
20	24.8	26.4	24.6	24.8	26	26.1	25.6
40	28.9	30.9	29.5	28.6	29.9	31.3	28.2
60	33.1	35.4	34.7	35.1	35.1	33.8	31.1
80	35.8	40.4	38.7	38.9	40.6	40.5	36.6
100	40.2	43.6	42.3	42.4	45.4	47.7	42.2
120	43.2	47.8	46.1	47.1	49.6	51.3	48.3
140	47.5	51.5	50.1	49.7	52.2	55.6	52.8
160	51.5	55.3	53.5	53.7	56.2	59.4	57.5
180	54.2	58.4	56.7	55.8	58.5	63.2	62.4
200	58.3	61	59.8	60.2	63.8	65	66.4
220	60.1	64.2	62.7	62.8	66.2	67.7	68.6
240	62.6	67.4	65.8	65.8	68.6	71.1	72.7
260	65.7	70.2					
280	68.3	72					
300	71.2	73.6					
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.1857	0.1855	0.1959	0.2144	0.2227
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	22.849	22.925	23.879	23.578	20.883
測量比熱	1	1	0.9992	1.00027	0.94717	0.86544	0.8332

表 6.2.7 醋酸鈉不同濃度水溶液的定功率升溫曲線與計算比熱

醋酸鈉升溫時間 (sec)	200/0	200/0	200/10	200/20	200/40	200/60	200/80
0	21.4	23.5	20.8	20.1	19.1	18.3	22.9
20	24.8	26.4	23.6	23	22.5	22.6	24
40	28.9	30.9	28.4	27.2	26.7	25.8	27.8
60	33.1	35.4	32.5	32.8	32.5	33.3	35.4
80	35.8	40.4	36.3	37.7	38.5	39.5	35.2
100	40.2	43.6	40.4	42	43.3	44.6	44.1
120	43.2	47.8	44.5	46.3	45.9	48.2	48
140	47.5	51.5	47.6	49.7	48.9	51.5	47.7
160	51.5	55.3	51	53.6	52.8	54.2	52.2
180	54.2	58.4	54.8	56.2	57.9	58.6	55.3
200	58.3	61	57.4	59.2	59.9	61.4	60.4
220	60.1	64.2	60.3	62.2	61.5	64.8	62.5
240	62.6	67.4	63.1	65.3	64.9	67.2	64.5
260	65.7	70.2					
280	68.3	72					
300	71.2	73.6					
回歸曲線(X 項)	0.1808	0.1903	0.1804	0.1937	0.1959	0.2085	0.184
回歸曲線(常數項)	21.691	23.932	21.478	21.015	20.679	20.363	22.534
測量比熱	1	1	1.0285	0.95792	0.94717	0.88993	1.0084

表 6.2.8 六種溶液不同濃度定功率升溫曲線與計算比熱

溶液濃度	NaCl	KCl	蔗糖	醋酸	碳酸鈉	醋酸鈉
0	1	1	1	1	1	1
4.7619	0.9042	0.9195	0.9823	1.0189	0.9992	1.0285
9.0909	0.9047	0.899	1.0291	0.9844	1.0003	0.9579
16.667	0.8912	0.805	0.9501	1.0297	0.9472	0.9472
23.077	0.8092	0.7614	0.9163	0.9515	0.8654	0.8899
28.571	0.8078	0.7262	0.8994	0.9901	0.8332	1.0084
回歸曲線(X 項) Y=ax+b	-0.0058	-0.0097	-0.0037	-0.0009	-0.006	-0.0019
回歸曲線(常數項)	0.977	0.9869	1.0116	1.0065	1.0195	0.9982

三、不同離子濃度下的折射率

按照實驗進行了幾種溶液的折射率測試，測試的結果如表 5.3.1~ 5.3.7。我們量到各種溶液在不同濃度下，經折射後的偏折距離，再利用電算機依據實驗過程所提的折射公式，先計算出折射角 θ_1 ，之後代入折射率計算公式算出折射率 n 。

表 6.3.1 NaCl 水溶液不同濃度下的折射率

NaCl	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	折射率
0.0	85.0	0.000	80.4	83.4		81.9	11.14	1.33600
5.0	100.0	4.762	83.6	83.2		83.4	11.34	1.47141
10.0	100.0	9.091	84.8	84.8		84.8	11.52	1.54555
20.0	100.0	16.667	89.3	91.9		90.6	12.29	1.29437
30.0	100.0	23.077	91.8	82	不溶	86.9	11.80	1.55736
40.0	100.0	28.571	92.3	94.4	不溶	93.35	12.65	0.89880

表 6.3.2 KCl 水溶液不同濃度下的折射率

KCl	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	折射率
0.0	85.0	0.000	80.4	83.4		81.9	11.14	1.33600
5.0	100.0	4.762	83.1	83.4		83.25	11.32	1.46041
10.0	100.0	9.091	84.6	84.9		84.75	11.52	1.54380
20.0	100.0	16.667	86.5	87.8	不溶	87.15	11.83	1.55076
30.0	100.0	23.077	88.9	88.2	不溶	88.55	12.02	1.48302
40.0	100.0	28.571	89.4	89.9	不溶	89.65	12.16	1.39439

表 6.3.3 蔗糖水溶液不同濃度下的折射率

蔗糖	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	糖水折射率
0.0	85.0	0.000	80.4	83.4		81.9	11.14	1.33600
5.0	100.0	4.762	82.8	83		82.9	11.27	1.43251
10.0	100.0	9.091	83.6	85.1		84.35	11.46	1.52741
20.0	100.0	16.667	87	87		87	11.81	1.55492
30.0	100.0	23.077	90.4	89	不溶	89.7	12.17	1.38966
40.0	100.0	28.571	91.9	91.7	不溶	91.8	12.44	1.13959

表 6.3.4 醋酸水溶液不同濃度下的折射率

醋酸	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	折射率
0.0	85.0	0.000	80.4	83.4		81.9	11.14	1.33600
5.0	100.0	4.762	83.2	81.9		82.55	11.22	1.40152
10.0	100.0	9.091	83.2	82.2		82.7	11.24	1.41518
20.0	100.0	16.667	83.2	82.6		82.9	11.27	1.43251
30.0	100.0	23.077	82.7	83.8		83.25	11.32	1.46041
40.0	100.0	28.571	84.7	83.9		84.3	11.46	1.52506

表 6.3.5 醋酸鈉水溶液不同濃度下的折射率

醋酸鈉	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	折射率
0.0	85.0	0.000	78.5	78.5		78.5	10.69	1.33598
5.0	100.0	4.762	79	79.1	80.5	79.05	10.76	1.44032
10.0	100.0	9.091	79.4	80	81.2	79.7	10.85	1.55361
20.0	100.0	16.667	81.5	81.5	83.3	81.5	11.08	1.80437
30.0	100.0	23.077	82.9	82.6	不溶	82.75	11.25	1.91868
40.0	100.0	28.571	84.1	83.6	不溶	83.85	11.40	1.97583

表 6.3.6 碳酸鈉水溶液不同濃度下的折射率

碳酸鈉	水	質量濃度 (%)	折射距離 1	折射距離 2	折射距離 3	平均距離	θ_1	折射率
0.0	85.0	0.000	78.5	78.5		78.5	10.69	1.33598
5.0	100.0	4.762	79.9	80.6	81.5	80.25	10.92	1.64041
10.0	100.0	9.091	82	82.6	83.4	82.3	11.19	1.88346
20.0	100.0	16.667	86	86.4	87.9	86.2	11.71	1.95753
30.0	100.0	23.077	88.4	88	不溶	88.2	11.97	1.79421
40.0	100.0	28.571	88.2	88.5	不溶	88.35	11.99	1.77677

表 6.3.7 六種水溶液不同濃度下的折射率

濃度	KCl 折射率	蔗糖折射率	NaCl 折射率	醋酸折射率	碳酸鈉 折射率	醋酸鈉 折射率
0.00	1.33600	1.33600	1.33600	1.33600	1.33598	1.33598
4.76	1.46041	1.43251	1.47141	1.40152	1.64041	1.44032
9.09	1.54380	1.52741	1.54555	1.41518	1.88346	1.55361
16.67	1.55076	1.55492	1.29437	1.43251	1.95753	1.80437
23.08	1.48302	1.38966	1.55736	1.46041	1.79421	1.91868
30.28	1.39439	1.13959	0.89880	1.52506	1.77677	1.97583

*紅字表示 溶液無法完全融解

柒、討論

一、混合過程的吸放熱

實驗選用的化學藥品包含有機物及無機物，其中也包含一些鹽類與弱酸。在與水混合的過程中有些會吸熱也有一些會放熱，將表 6.1.1 至 6.1.6 的質量濃度 16.67% 的各種溶液前後溫度變化整理如表 7.1.1。藉此探究物質溶解過程的機制有哪些？從實驗所獲得的比熱值能說明哪些機制？

表 7.1.1 各種溶液混合前後的溫度變化

溶液種類 (16.67%)	NaCl	KCl	蔗糖	醋酸	醋酸鈉	碳酸鈉
混合前溫度	20.60	20.00	20.40	20.70	20.80	20.70
混合後溫度	19.30	13.00	20.50	21.30	15.20	26.30
溫度差異	-1.30	-7.00	0.10	0.60	-5.60	5.60
吸熱/放熱	吸熱	吸熱	不反應	放熱	吸熱	放熱

從一般常識知道，強酸或強鹼與水混合多半會釋放出熱量，如硫酸與水混合，或者是 NaOH 也都如此，因此醋酸與水會放出熱量是可以理解的。氯化物則是會吸收熱量，這也是課本上常說的冷劑。至於醋酸鹽類可能就是吸收熱量，碳酸鹽類就可能是釋放熱量了。這裡面是否有什麼原理呢？

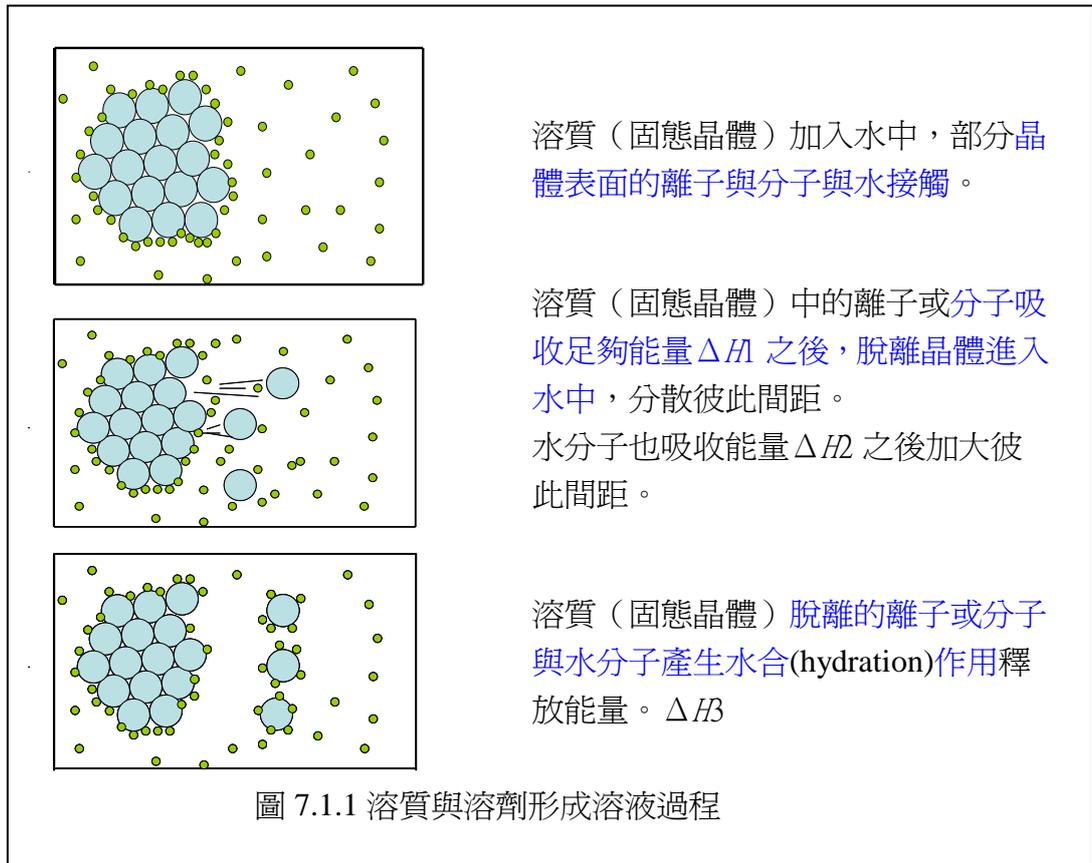
鹽類與水混合，就會形成我們熟悉的電解質，溶液裡的各種離子、分子之間也許會有化學反應，也有極性的問題，有些離子間更有靜電力的相互吸引或排斥作用。其間也會有凡德瓦爾力的微小作用，使得溶液的問題更加複雜。所以溶液不僅僅是混合而已吧？

液體溶液形成過程，大致可以以這樣的模型來解釋：

溶質的分子由集中而變成分散，溶質的離子或分子需要吸收能量來加大彼此間距，

於是吸收熱能 $\Delta H1$ ；溶劑的分子由集中而變成分散，溶劑的離子或分子需要吸收能量來加大彼此間距，這也是吸收熱能 $\Delta H2$ 。

分散的溶劑與溶質的離子或分子經交互作用(靜電力相互吸引或排斥)釋放出能量 $\Delta H3$ 形成溶液。圖 7.1.1 為溶質與溶劑形成溶液的簡單說明圖。



因此化學藥劑加入水中的常伴隨著溫度變化，主要是來自於溶質與溶劑之間的庫侖力交互作用，與能量吸收或釋放現象。我們觀察吸熱或放熱的現象，基本上就是 $\Delta H1 + \Delta H2 + \Delta H3$ 總體表現。所以

$$\Delta H = (\Delta H1 + \Delta H2) + \Delta H3 =$$

晶格能(形成結晶時所放出的能量，破壞結晶時則必需吸收同樣的熱量)

+

水合能(離子與水中的氫離子或氫氧離子產生庫倫力的作用所釋放的能量)

破壞固態晶體結構的能量可以說就是溶解於水所吸收的熱量(晶格能)，溶入的離子與水中的 H^+ 與 OH^- 產生水合作用釋放出能量。表 7.1.1 中 可以解釋 NaCl、蔗糖、醋酸等的晶格能與水合能是近乎相等。KCl 與醋酸鈉的水合能均遠小於晶格能，以致於溶解時吸收熱能，使得混合後的溫度降低許多。碳酸鈉溶解於水時，水合能遠大於晶格能，混合後的溫度則上升。

在表 6.1.1 至表 6.1.6 中的溶劑熱含量與溶質熱含量分別計算時，在沒有任何的化學反應時，比熱可以混合物來推估計算，計算結果與其關係如下：

理想溶液熱含量 = 溶劑熱含量 + 溶質熱含量

$$= m(\text{溶劑}) \cdot C(\text{溶劑}) \cdot (T_f - T_s) + m(\text{溶質}) \cdot C(\text{溶質}) \cdot (T_f - T_s)$$

結果如表 6.1.1 至表 6.1.6[理想溶液熱含量]欄所列。

但是，若再以後續實驗求得的自測比熱值計算時，則

$$\text{自測比熱計算溶液熱含量} = m(\text{溶液}) \cdot C(\text{自測比熱值}) \cdot (T_f - T_s)$$

結果如表 6.1.1 至表 6.1.6[自測比熱計算溶液熱含量]欄所列。

若將[理想溶液熱含量]與[自測比熱計算溶液熱含量]兩欄結果比較可以知道，其間的差異[理想溶液熱含量與自測值差異]。

理想溶液熱含量與自測值差異 = 理想溶液熱含量 - 自測比熱計算溶液熱含量

除了蔗糖之外，這兩者之間的能量很難會相同的。

若再從混合物的觀點與有化學反應的化合物來討論，其間最大的差別就是溶解過程中，混合物只是單純的混合，化合物卻有溶質離子或分子與溶劑離子或分子之間的庫倫靜電力相互作用，產生離子或者共價價鍵，也有了能量的吸收或者釋放，而且這樣的現象也因溶液的質量濃度不同而有所變化。再從另一觀點來說，若能從巨觀上用比熱的觀念來討論兩者的差別，單純混合物的比熱是可以簡單估算出來，化合物的比熱確實需要實驗測定的，這兩種混合溶液的比熱是當然截然不同的。

二、比熱的測量與估算

(自測比熱精度夠高嗎?能解釋物質溶解吸放熱過程的合理性嗎?)

從研究過程的比熱值測定實驗步驟，可很精準的測試出比熱值。將表 6.2.2 至表 6.2.7 的結果綜整為各種溶液於不同濃度的比熱變化關係如圖 7.2.1。並且將各溶液的比熱回歸曲線程式於圖中表示。圖 7.2.1 的實驗結果顯示出幾個特徵：

(一) 各種溶液的比熱回歸曲線，它的曲線截距大多趨近於 1，表示各溶液的質量濃度趨近於 0 時，正代表純水的比熱值為 1。

(二) 各溶液曲線的比熱值隨質量濃度增加而降低，也就是曲線的斜率都是負值，這結果符合一般溶液特性。從表 7.2.2 各種化學物質的比熱表中顯示，純固體物質均低於 1 甚多，也驗證比熱隨濃度高而降低。

(三) 從比熱曲線的斜率大小排序為醋酸>醋酸鈉>蔗糖>碳酸鈉>氯化鈉>氯化鉀。其中比熱變化最小的是醋酸。

(四) 從各項比熱實驗數據顯示，溫度高於 65C 以上時，水會開始加速蒸發，因此高溫獲得的回歸曲線會有扭曲現象，所以測試運算的數據以低於 65C 較佳。超過 60C~70C 時，實驗作完後的溶液中的水重蒸發約~3%。

比熱實驗的結果需要自我驗證，上網查詢化學專業網站的比熱理論值做出表 7.2.3 的比較表，明顯表示升溫法比熱測試方式可以得到精度極高的溶液比熱值。

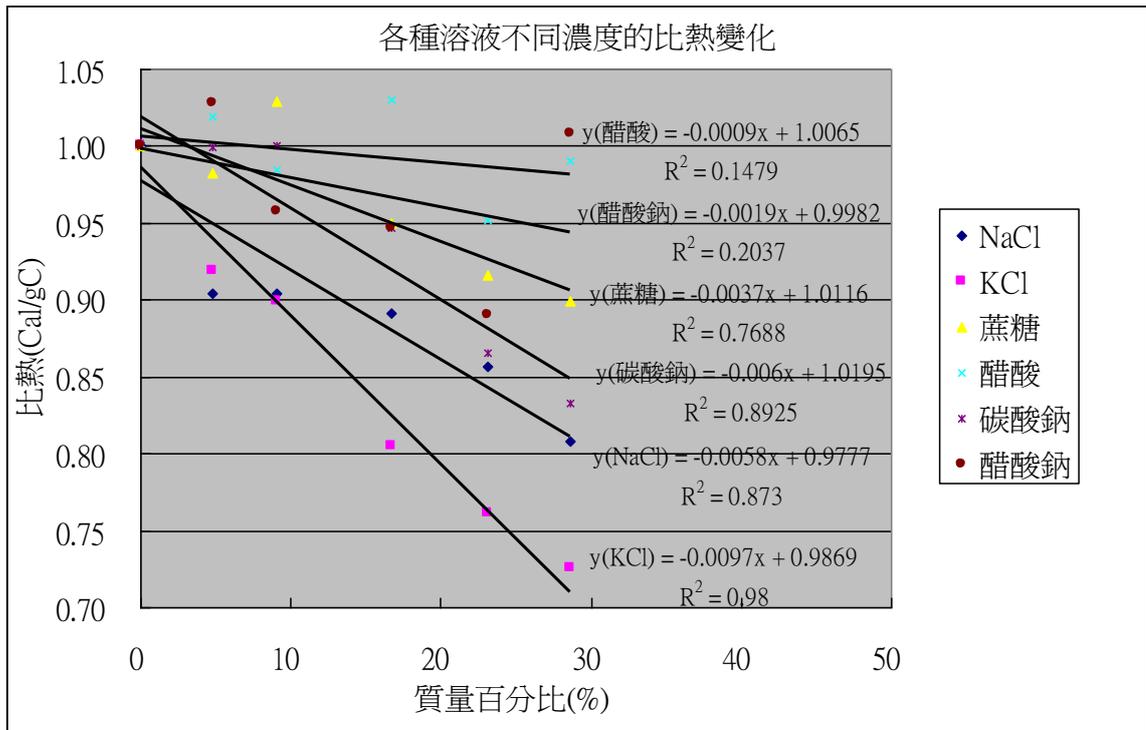


圖 7.2.1 各種溶液於不同濃度的比熱變化關係圖

表 7.2.2 各種化學物質的比熱

物質	水	NaCl	KCl	蔗糖	醋酸	醋酸鈉	碳酸鈉
比熱值 (Cal/g°C)	1.0000	0.2067	0.2362	0.2963	0.4904	0.2938	0.2509

若將比熱的回歸曲線代入表 7.2.2 的回歸曲線程式，濃度為 100 所得到的各種物質比熱值遠大於實際固體物質的比熱值，這也說明了庫倫力的作用之下，比熱並非是直線正比的關係。

表 7.2.3 自測比熱質與比熱理論值比較表

水溶液 (10%)	蔗糖 水溶液	NaCl 水溶液	KCl 水溶液	醋酸鈉 水溶液	碳酸鈉 水溶液	醋酸水溶液
混合過程之 吸熱或放熱	不吸熱也 不放熱	吸熱	吸熱	吸熱	放熱	放熱
實驗數據之回歸 曲線程式	$Y=-0.0037x+1.0116$	$Y=-0.0058x+0.9777$	$Y=-0.0097x+0.9869$	$Y=-0.0019x+0.9982$	$Y=-0.006x+1.0195$	$Y=-0.0009x+1.0065$
自測比熱值 (cal/g°C)	0.9746	0.9277	0.8899	0.9792	0.9595	0.9975
比熱理論計算值 (Cal/g°C)	0.9296	0.9207	0.9207	0.9294	0.9251	X

From <http://webbook.nist.gov/chemistry/>

三、折射率的測試

延續前次科展的研究方法，從折射率中觀察折射率與比熱之間的關連性，我們的想法是溶液中散佈著許多的離子或分子，當離子或分子的濃度越高時，折射率會有不同的變化。似乎比熱的變化也與離子或分子含量有一定關係存在。想要從本次實驗中去探索其間的關係。從表 6.3.1 至表 6.3.7 所列的結果整理成圖 7.3.1。

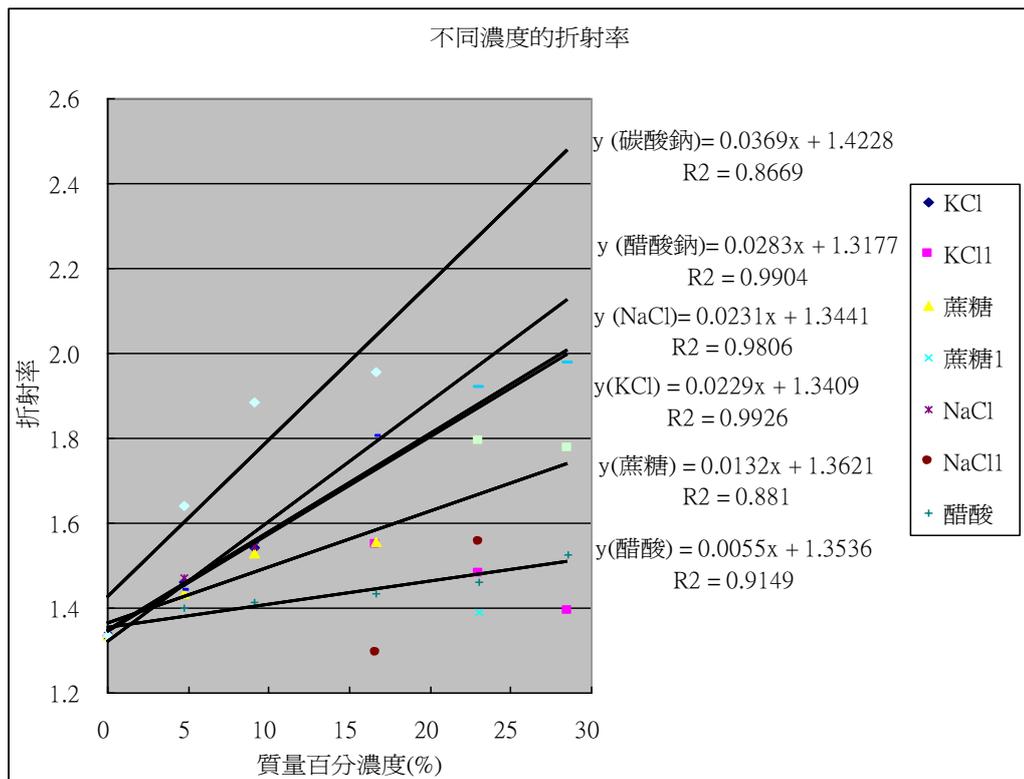


圖 7.3.1 各種溶液於不同濃度下的折射率關係

從研究過程可以很精準的測試出折射率隨濃度不同的變化。圖 7.3.1 中也顯示各種溶液的折射率對不同濃度的回歸曲線程式。

圖中的結果顯示出幾個特徵：

(一) 各種溶液的比熱回歸曲線，它的曲線截距大多趨近於 1.336，這表示各溶液的質量濃度趨近於 0 時，正代表純水的折射率為 1.336(溫度 20C)。

(二) 各溶液曲線的折射率隨溶質質量濃度增加而改變，其中曲線斜率全部是正值。也就是水溶液的折射率均為隨濃度增加而增加，這結果符合一般溶液特性。從表 7.2.2 各種化學物質的比熱表中顯示，純固體物質均低於 1 甚多，也驗證比熱隨濃度高而降低。

(三) 從折射率曲線的斜率大小排序為碳酸鈉>醋酸鈉>氯化鈉>氯化鉀>蔗糖>醋酸，此結果與比熱值的大小排序 醋酸>醋酸鈉>蔗糖>碳酸鈉>氯化鈉>氯化鉀，正好相反。從排列順序上有某種程度上的類似。文獻未有提出相關的說明。

表 7.3.2 折射率比較表

水溶液 (10%)	蔗糖 水溶液	NaCl 水溶液	KCl 水溶液	醋酸鈉 水溶液	碳酸鈉 水溶液	醋酸 水溶液
混合過程之 吸熱或放熱	不吸熱也 不放熱	吸熱	吸熱	吸熱	放熱	放熱
實驗數據之回歸 曲線程式	$y(\text{蔗糖}) = 0.0132x + 1.3621$	$y(\text{NaCl}) = 0.0231x + 1.3441$	$y(\text{KCl}) = 0.0229x + 1.3409$	$y(\text{醋酸鈉}) = 0.0283x + 1.3177$	$y(\text{碳酸鈉}) = 0.0369x + 1.4228$	$y(\text{醋酸}) = 0.0055x + 1.3536$
純物質折射率	1.5200	1.54427	1.49044	1.4318	1.5126	1.3716

捌、結論

一、混合過程的吸放熱

- (一) 化學藥品溶解於水中，是排列整齊的分子(或離子)吸收能量後，脫離晶體結構分散開的現象，解離的分子或離子與水分子產生化學反應釋放熱能。
- (二) 同樣是鹽類並無法判定是否一定放熱或吸熱，而需考慮鹽類溶出的離子是否與水產生水合反應。
- (三) 從溶解的實驗中可以顯示以固體比熱方式計算比熱與升溫法的自測比熱值之間有極大的差異，理想固體比熱只考慮熱能傳遞，而溶液的比熱卻需要再考慮分子(或離子)分散排列的問題，也需要考慮是否與水產生水合作用的放熱問題。

二、比熱的測量與估算

- (一) 升溫法測試溶液的比熱精度極高，與文獻資料所列相近。
- (二) 溶液比熱值隨各種溶液濃度的增加而降低，從所得到的回歸曲線程式知

道，就算是代入 100%濃度之溶質，也無法得到與溶質相同的比熱，顯示溶質溶解過程，離子與水分子之間有相互作用力依存有關。

(三) 比熱曲線的斜率大小排序為醋酸>醋酸鈉>蔗糖>碳酸鈉>氯化鈉>氯化鉀。

(四) 升溫法的測試方式僅適用於不容易蒸發的溶劑，避免測試結果有很大誤差。

三、折射率的測試

(一) 先前折射率研究顯示，折射率與溶液中的離子濃度有關，亦即是濃度越高的溶液，折射率也隨之增高。

(二) 折射率曲線的斜率大小排序為碳酸鈉>醋酸鈉>氯化鈉>氯化鉀>蔗糖>醋酸，折射率曲線斜率為正值，而且隨濃度增加而增加，雖然溶質的折射率都比水高，但是卻發生排列順序與比熱不同，我們也使用綠光雷射重複實驗，所得到的實驗斜率也是正值，斜率大小也是排序為碳酸鈉>醋酸鈉>氯化鈉>氯化鉀>蔗糖>醋酸，或許折射率僅與離子濃度有關，而比熱有牽涉能量的儲存問題，可能與離子團的鍵結有關聯性。

玖、參考文獻

一、 <http://202.119.33.32/jingpin2004/courseware/dxhxsy/content/ToolBox/rjd.htm#A>

二、 94 年度中小學科展，光怪陸離之光的折射應用篇，五峰國中

三、 43 屆中小學科展，比熱，誰比水熱

四、 國中理化課本。

五、 44 屆中小學科展，熱包，新莊高中

六、 醋酸鈉過飽和溶液及其結晶

http://pckchem.ncue.edu.tw/laboratory/chemdemo/中學_理化示範實驗.htm

七、 化學化工百科辭典(曉園出版社)

八、 各種物質的比熱 <http://webbook.nist.gov/chemistry/>

【評語】 031634

測定物質溶解的比熱，實驗設計良好，唯需加強溫度測量的準確度，應可得到更佳的比熱值。實驗中測定溶液的折射率似乎與比熱無關，應作進一步說明。