

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 理化科

第二名、最佳創意獎

031612

揭開溶液的五四三

臺北縣立中平國民中學

作者姓名：

國二 吳宇 國一 林羿岑 國二 林庭安  
國二 林品良

指導老師：

陳玉玲 黃淑美

# 揭開溶液的五四三

## 壹、摘要

藉著物質可在相同密度溶液中懸浮的特性，利用密度差距極微小的 BB 彈，呈現許多溶液中不易察覺的現象，加以研究。本實驗探討許多主題：(一)在溶液濃度與密度的關係研究中，電解質與非電解質有很明顯的差異，可能與溶解後帶電的情形有關。(二)不均勻的溶液呈現水平層狀分布，要使靜止的溶液自行擴散到均勻非常不容易 (三)在溶液的溫度與密度關係研究中，在我們研究範圍內溫度每升高  $10^{\circ}\text{C}$  密度將會降低約  $0.001406\text{g}/\text{cm}^3$ 。(四)擴散研究中，不均勻溶液的溶質在濃度愈高的地方擴散的愈慢。

## 貳、研究動機

看過電影「明天過後」因為洋流的中止而帶來浩劫印象深刻，上網查了有關洋流的資料發現與我們課本所教的熱對流、濃度、密度、溫度都有關，於是構想以怎樣可以看出液體中極微小的密度變化。試了幾種材料後，我們發現 BB 彈可以懸浮在某個濃度範圍的食鹽水中，於是從收集、分類 BB 彈開始，遇到了許許多多失敗，最後終於掌握到一些關鍵技術，並且做了許多探討。課本中提到的許多化合物，我們只知道它的化學式，趁這次研究也把它們找出來研究研究。

## 參、研究目的

- 一、尋找到生活中能具體表現液體密度的媒介物。
- 二、觀察不均勻溶液內部密度(濃度)的分佈情形。
- 三、研究不同的溶質其濃度改變時對密度的影響。
- 四、研究溫度對液體密度的影響。
- 五、研究不均勻溶液中溶質擴散的情形。

## 肆、研究設備及器材

### 一、實驗器材：

名稱	規格	數量
BB 彈	直徑約 6mm	21000 顆
圓柱型容器	直徑 30 cm 高 30cm	1 個
量筒	1000、500、100、10mL	若干
加熱攪拌器	一般實驗用	1 個
數位相機	MINOLTA A1	1 部
麥克筆及補充液	各種顏色	各 1 支(瓶)
硬透明塑膠管	直徑約 2 cm	1 m
軟透明塑膠管	直徑約 6 mm	2 m

1. 很有創意，執行內容也很完整。
2. 所設計之溫度計具有相當的實用性。

編號 031612

安全吸球	一般實驗用	2 個
移液吸管	1mL、3mL	數支
定量瓶	125 mL	2 支
電子秤	可秤至 0.001 公克	1 個
電磁爐	尙朋堂	1 個
錐形瓶	125 mL	5 個
燒杯	1000、400、250 mL	若干
溫度計	酒精	6 支
湯鍋	中型	數個

表(一)

## 二、化學藥品：

硫酸銅晶體( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	硫酸銅粉末( $\text{CuSO}_4$ )
碳酸氫鈉( $\text{NaHCO}_3$ )	氯化鉀( $\text{KCl}$ )
硝酸鉀( $\text{KNO}_3$ )	氫氧化鈣( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )
碳酸鈉( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	蔗糖( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ )
甘油( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ )	葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )	硝酸鈣( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
氯化鎂( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	硝酸鎂( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ )
硫酸鎂( $\text{MgSO}_4$ )	硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
氯化鈉( $\text{NaCl}$ )	

表(二)

## 伍、研究過程及方法

### 一、挑選 BB 彈：

#### (一) 初步估計 BB 彈的密度範圍：

- 1、在鍋子中倒入 1000 mL 的水，再倒入 1 瓶 BB 彈(標示 2000 顆)，以電子秤秤一些食鹽加入攪拌均勻，等水靜止後看看有沒有 BB 彈浮起來。
- 2、重複以上操作直到開始有 BB 彈浮起來，紀錄總共加了多少鹽，計算重量百分濃度。
- 3、繼續加入食鹽重複 1 之操作，直到所有的 BB 彈都浮起來，計算此時重量百分濃度。
- 4、結果：BB 彈大約在 5%~10%左右的食鹽水溶液之間浮起來。
- 5、實驗過程中，發現有些 BB 彈會附著氣泡，這些氣泡會使得 BB 彈提早浮起。空氣會溶解在水中，溶解度會隨著溫度的上升而下降，因此我們將實驗要用的水煮沸，去除裡面的空氣，靜置一段時間使其冷卻再拿來使用。

#### (二) 調配 6.00%~9.00%的食鹽水精選 BB 彈：

- 1、在容器中倒入 5L 煮過冷卻的水，將約 11000 顆 BB 彈倒入，依序加入食鹽如下表(三)所示，即可調出 6.00%~9.00%每間隔 0.05%濃度的食鹽水。

水：5000 克 調配 6.00%~9.00%之濃度 溫度約 22°C							
重量百分 濃度	增加溶質 (g)	重量百分 濃度	增加溶質 (g)	重量百分 濃度	增加溶質 (g)	重量百分 濃度	增加溶質 (g)
6.00%	319.149	6.80%	2.877	7.60%	2.927	8.40%	2.978
6.05%	2.831	6.85%	2.880	7.65%	2.930	8.45%	2.981
6.10%	2.834	6.90%	2.883	7.70%	2.933	8.50%	2.984
6.15%	2.837	6.95%	2.886	7.75%	2.936	8.55%	2.988
6.20%	2.840	7.00%	2.889	7.80%	2.939	8.60%	2.991
6.25%	2.843	7.05%	2.892	7.85%	2.942	8.65%	2.994
6.30%	2.846	7.10%	2.895	7.90%	2.946	8.70%	2.998
6.35%	2.849	7.15%	2.898	7.95%	2.949	8.75%	3.001
6.40%	2.852	7.20%	2.901	8.00%	2.952	8.80%	3.004
6.45%	2.855	7.25%	2.905	8.05%	2.955	8.85%	3.007
6.50%	2.858	7.30%	2.908	8.10%	2.959	8.90%	3.011
6.55%	2.861	7.35%	2.911	8.15%	2.962	8.95%	3.014
6.60%	2.864	7.40%	2.914	8.20%	2.965	9.00%	3.017
6.65%	2.867	7.45%	2.917	8.25%	2.968		
6.70%	2.870	7.50%	2.920	8.30%	2.971		
6.75%	2.873	7.55%	2.923	8.35%	2.975		

表(三) 食鹽水濃度配方

- 2、每次加入食鹽之後都必須充分攪拌，將浮起來的 BB 彈以玻璃棒敲擊(信心大考驗)，去除可能附著的氣泡。
- 3、水流停止後，以篩網撈起浮在上面的 BB 彈。

(三) 幫 BB 彈取名字和上色：

- 1、去除密度小於 6.00%和大於 9.00%濃度食鹽水的 BB 彈，共分成 60 種密度等級，以夾鏈袋分裝，註明密度相當於食鹽水的濃度範圍。
- 2、以食鹽水濃度來充當各等級密度 BB 彈的代號。例如：在食鹽水濃度 6.05% 挑選出來的就稱為 6.05%，其密度就介於 22°C 時重量百分濃度 6.00%~6.05% 之間的食鹽水密度。
- 3、依據實驗需要的等級挑選出來上色，選用比較不易掉色的奇異筆上色。但奇異筆顏色太少，於是我們用奇異筆的補充墨水改變其顏色比例，調出幾種顏色來上色。(往後根據不同的需要再上顏色)
- 4、查食鹽水濃度與密度關係，以內插法算出每一等級 BB 彈的密度。

二、觀察不均勻溶液中密度分佈並檢驗 BB 彈分級的準確性：

- (一) 將煮沸過的水置於圓形透明容器中，緩慢的加入食鹽，再加入 BB 彈，適度攪拌但不要攪拌均勻，使其成明顯的漸層分佈。
- (二) 但是 BB 彈上有小氣泡「附身」，使實驗失敗。我們發現食鹽在溶解過程中，

也會產生許多小氣泡。可能是附著在食鹽顆粒表面的空氣帶入水中的。

(三) 將食鹽水先煮成飽和，放置冷卻到室溫再使用。

(四) 將上述食鹽水沿器壁慢慢倒入圓形透明容器中，緩慢加入煮沸過的清水，果然不再產生氣泡。

(五) BB 彈的分層很明顯，我們把顏色錯誤的 BB 彈挑掉，確保各顏色 BB 彈代表密度之準確性。

三、以 BB 彈測量不同溶質在不同濃度時的密度：

(一) 選擇課本中常出現的化學藥品。以煮沸過冷卻的水配製各溶液。

(二) 每個燒杯中都放入七顆著色的 BB 彈及磁攪拌子，如下表四所示。把燒杯放在電磁攪拌器上。

BB 彈代表的 濃度範圍(%)	BB 彈顏色
6.55-6.60	紫
6.75-6.80	綠
6.95-7.00	咖
7.35-7.40	深咖
7.55-7.60	藍
7.75-7.80	紅
7.95-8.00	土黃

表(四)用來測藥品溶液密度的七個等級 BB 彈

(三) 每種溶液都由濃度 5.00% 開始。加入溶質後，打開電磁攪拌器，等溶質完全溶解且攪拌均勻，停止攪拌。放一會兒，等燒杯內水流靜止(確定 BB 彈並不是因為水流浮起)，觀察 BB 彈的沉浮情形，並紀錄。

(四) 要是 BB 彈沒有浮起來，就一次增加重量百分濃度 0.5%，直到 BB 彈浮起來，才改成每次增加重量百分濃度 0.1%，直到燒杯中的七顆 BB 彈完全浮起來為止。

(五) 以溫度計測量溶液溫度的變化，以控制溫度因素。若溫度有明顯改變，則待溫度回復到原來溫度再判斷。

(六) 由以上研究中找出兩種相同濃度但是密度差別比較大的藥品，以定量瓶測定加入溶質之後體積的變化。操作如下：

- 1、 選擇碳酸鈉與蔗糖作比較，在兩個 125 mL 的定量瓶中加入煮過冷卻的水，到刻度為止。分別放入一顆磁攪拌子以攪拌均勻，再將超出刻度的水吸出。
- 2、 各加入 1 公克的碳酸鈉及蔗糖，溶質完全溶解後，用 1 mL 的移液吸管，將超出刻度的溶液吸出讀取刻度並紀錄。
- 3、 重覆以上操作，改加入 2 公克、3 公克的溶質。

四、以 BB 彈測量溫度對密度的影響：

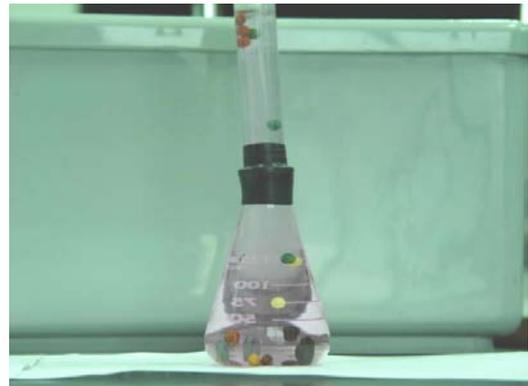
(一) 尋找直徑約小於 125 mL 錐形瓶口的透明硬塑膠管，鋸成約 12 公分，磨平後插入錐形瓶，並以膠帶緊密纏繞。

(二) 估計受溫度影響的 BB 彈等級：

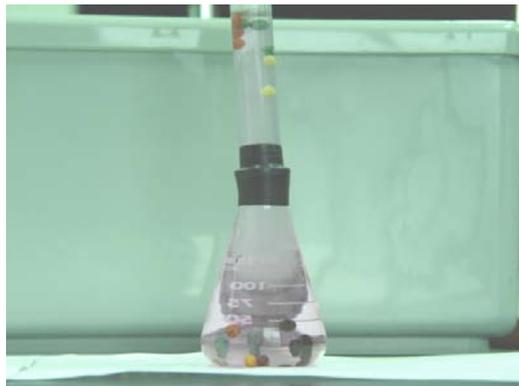
- 1、 6.60%~6.90%BB 彈各三顆放入濃度 7.30%食鹽水，看看全部的 BB 彈沉下去溫度多高？決定探討範圍。照片(一~六)為 BB 彈冷卻浮起來的過程。
- 2、 結果：溫度加到七十幾度才全部沉下去，但溫度太高蒸發掉很多水，且部分色素溶解到水裡，所以決定食鹽水濃度不要與 BB 彈差太多。
- 3、 挑選五組 BB 彈如下表(五)：



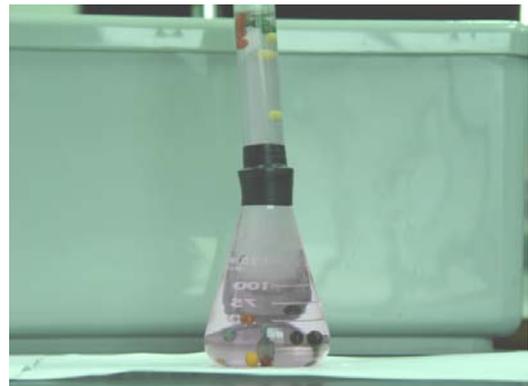
照片(一)



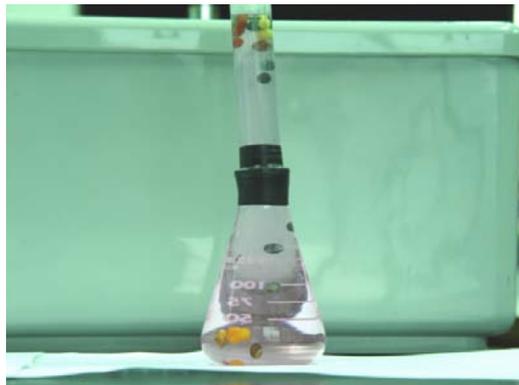
照片(二)



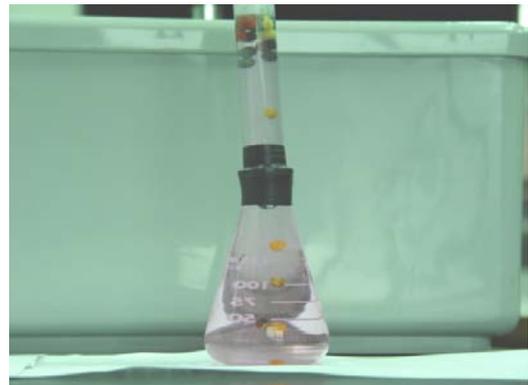
照片(三)



照片(四)



照片(五)



照片(六)

照片(一)~(六) 溫度下降過程 BB 彈陸續上升

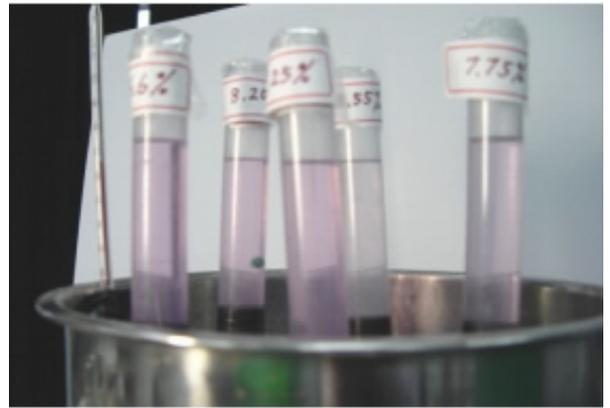
組別	A	B	C	D	E
BB 彈等級	6.10%~6.40%	6.75%~7.05%	7.25%~7.55%	7.70%~8.00%	8.05%~8.35%
食鹽水濃度	6.60%	7.25%	7.75%	8.20%	8.55%

表(五)

(三) 將 BB 彈與食鹽水放入錐形瓶後以保鮮膜包住管口，如照片(七)。放進鍋子中隔水加熱至約  $60^{\circ}\text{C}$ ，靜置使其慢慢冷卻，紀錄各瓶中各色 BB 彈浮起來時的溫度，如照片 (八)。作圖分析。



照片(七) 加熱前

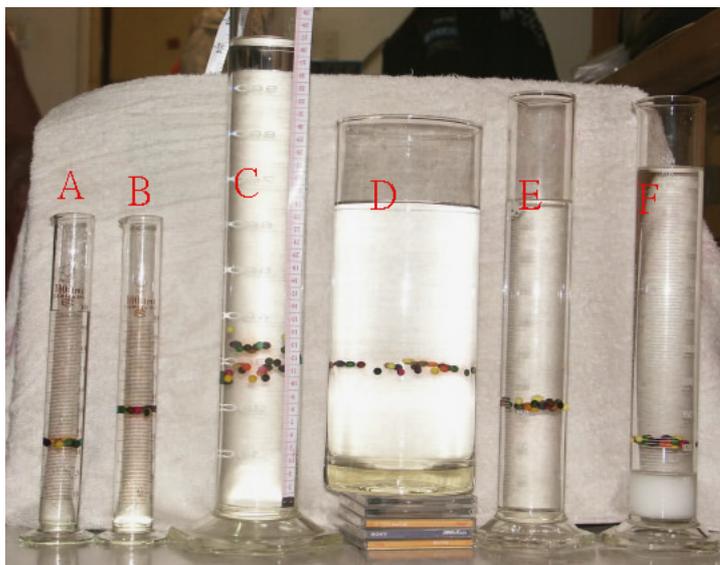


照片(八)加熱裝置

五、以 BB 彈測量不均勻食鹽水中的擴散現象：

(一) 比較各種情況下飽和食鹽水與清水之間擴散現象。如照片(九)所示各容器下面三分之一為飽和食鹽水，上面三分之二為清水。略有不同以便比較。

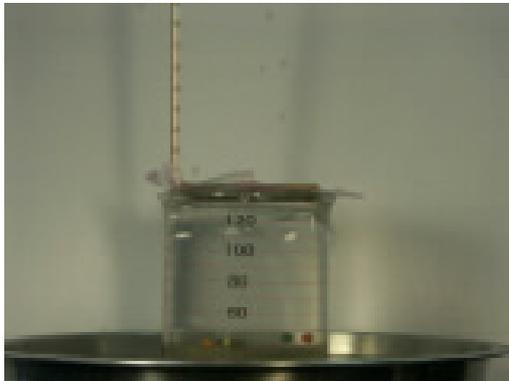
- 1、 A 裝到 100 mL 刻度處；B 裝到管口。
- 2、 C 略為攪拌，其餘盡量不攪拌。
- 3、 F 底層留有許多煮沸溶解(排除空氣)之後再沉澱的食鹽。
- 4、 結果：靜置了幾個星期除 F 內的 BB 彈一起緩慢上升外，其餘的改變很少。



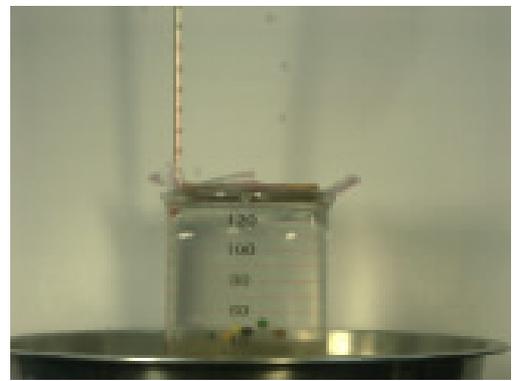
照片(九)

(二) 設計裝置，改變起始條件重測。

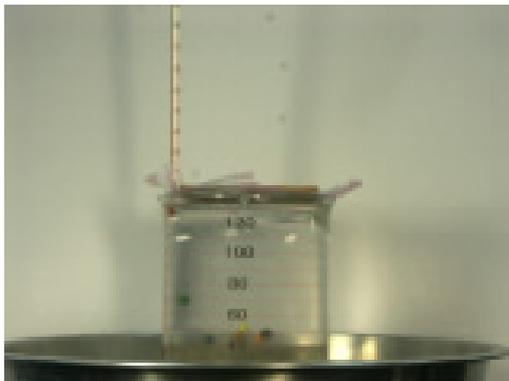
- 1、以電腦畫刻度線列印在投影片上，再將投影片剪裁成一個厚度約 1 公分的扁盒子，恰好可以直立於 1000 mL 的燒杯中，在周圍打洞以便內外相通。
- 2、取一個鍋子裝約八分滿的水放在電磁爐上加熱，設保溫功能於  $90^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$  處。鍋內以瓷磚墊高以方便放入燒杯，避免燒杯底部直接受熱產生對流。
- 3、在燒杯內加入約 900 mL，6.60% 熱食鹽水，另一燒杯放入飽和食鹽水，一起放在鍋內加熱至溫度穩定(約  $76^{\circ}\text{C}$ )，以塑膠軟管慢慢將飽和食鹽水加至 6.60% 食鹽水底層直到滿。
- 4、將 BB 彈槽直插入杯內，放入 6.75%~7.05% BB 彈各一顆，上面覆蓋塑膠袋減少蒸發，每隔 1 分鐘拍照一次，紀錄七顆 BB 彈的高度如照片(十)~(十七)為擴散過程的幾張照片。
- 5、作圖分析溶液擴散情形。
- 6、改變定溫重覆以上操作 2~5。



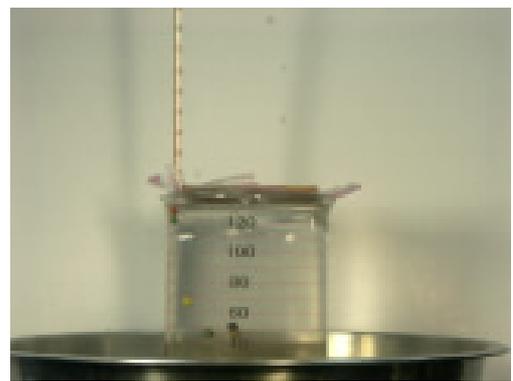
照片(十)



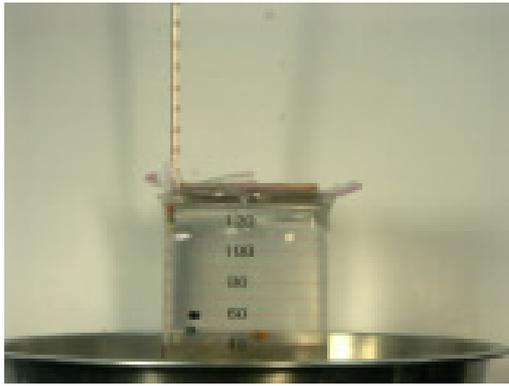
照片(十一)



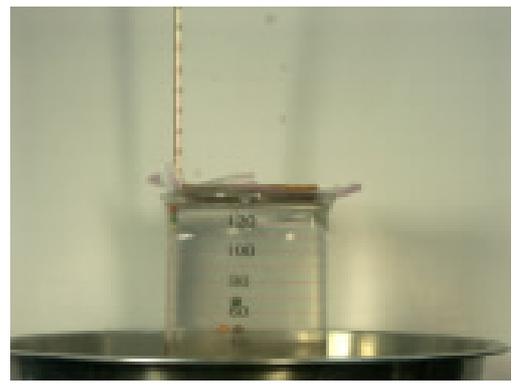
照片(十二)



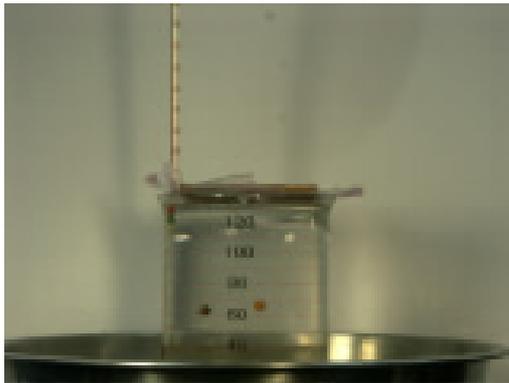
照片(十三)



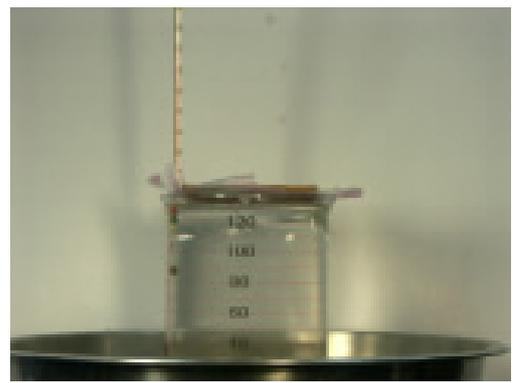
照片(十四)



照片(十五)



照片(十六)



照片(十七)

## 陸、研究結果

### 一、挑選 BB 彈：

60 種密度的 BB 彈。我們先選擇 16 種等級來上色，由內插法算出 BB 彈之密度如表(六)。濃度每相差 0.1% 的 BB 彈約可區分  $0.0007 \text{ g/cm}^3$  的密度差別。

重量百分 濃度	溶液密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	BB 彈 顏色	重量百分 濃度	溶液密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	BB 彈 顏色
6.45%-6.50%	1.0446	橙	7.55%-7.60%	1.0526	深藍
6.55%-6.60%	1.0453	紫	7.75%-7.80%	1.0541	深紅
6.65%-6.70%	1.0461	紅	7.95%-8.00%	1.0555	土黃
6.75%-6.80%	1.0468	綠	8.15%-8.20%	1.0570	深綠
6.85%-6.90%	1.0475	黑	8.35%-8.40%	1.0585	亮橙
6.95%-7.00%	1.0482	咖啡-1	8.55%-8.60%	1.0501	咖啡-2
7.15%-7.20%	1.0497	淺綠	8.75%-8.80%	1.0615	墨綠
7.35%-7.40%	1.0512	深咖啡	8.95%-9.00%	1.0629	黃

表(六)

### 二、檢驗 BB 彈：

(一) 層狀分佈每一層都是水平，如照片(十八)、(十九)所示為 6.55%~9.00% 間隔 0.2% 之 BB 彈。

(二) 層狀分布在沒有攪拌及對流等干擾的情況下可以維持很久(至少一個星期)。



照片(十八)



照片(十九)

三、以 BB 彈測量不同溶質在不同濃度時密度：

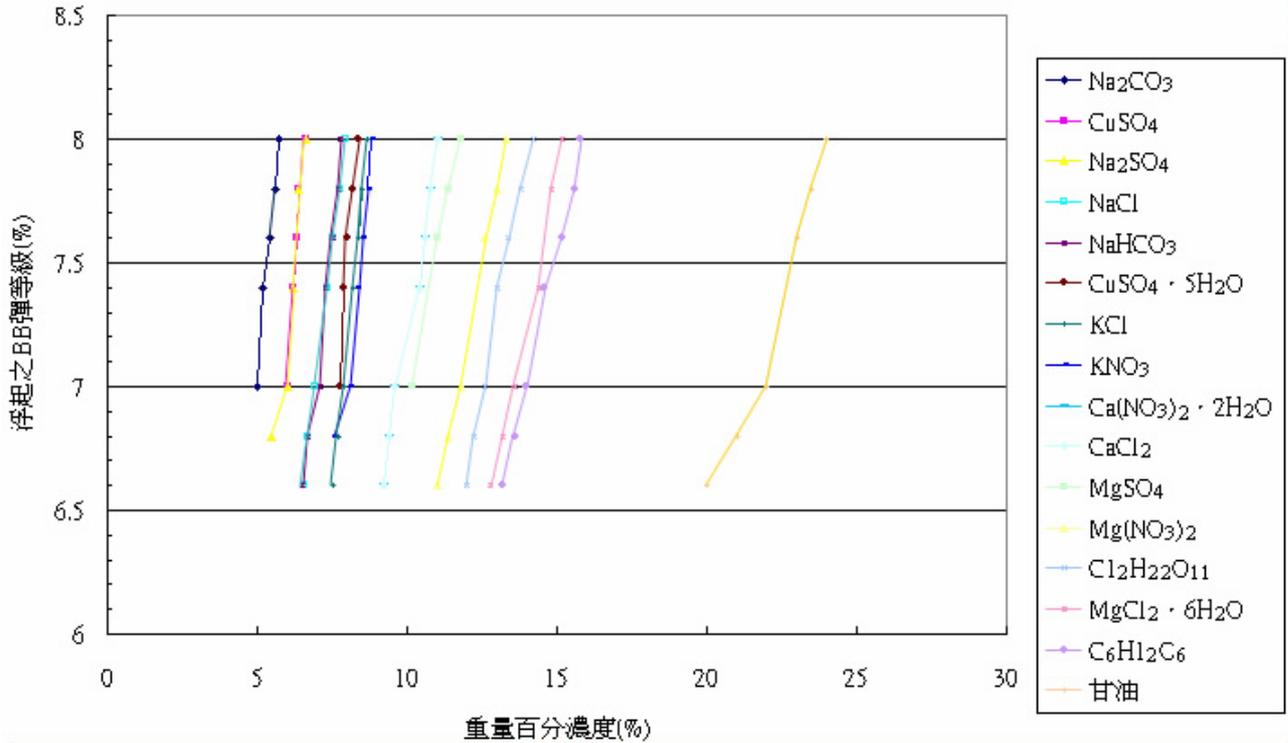
(一) 各種藥品濃度與密度關係如下：

溶質 \ BB 彈 溶液濃度	紫色	綠色	咖啡色	深咖啡色	藍色	紅色	土黃色
	(6.55-6.60)	(6.75-6.80)	(6.95-7.00)	(7.35-7.40)	(7.55-7.60)	(7.75-7.80)	(7.95-8.00)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			5.00%	5.20%	5.40%	5.60%	5.70%
CuSO <sub>4</sub>			6.00%	6.20%	6.30%	6.40%	6.60%
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		5.50%	6.00%	6.20%		6.40%	6.60%
NaCl	6.60%	6.80%	7.00%	7.40%	7.60%	7.80%	8.00%
NaHCO <sub>3</sub>	6.50%	6.70%	7.10%	7.30%	7.50%	7.70%	7.80%
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O			7.80%	7.90%	8.00%	8.20%	8.40%
KCl	7.50%	7.70%	7.90%	8.20%	8.40%	8.50%	8.70%
KNO <sub>3</sub>		7.50%	8.10%	8.30%	8.50%	8.70%	8.80%
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	9.20%	9.40%	9.60%	10.40%	10.60%	10.80%	11.00%
CaCl <sub>2</sub>	9.20%	9.40%	9.80%	10.40%	10.60%	10.80%	11.20%
MgSO <sub>4</sub>			10.20%		11.00%	11.40%	11.80%
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	11.00%	11.40%	11.80%		12.60%	13.00%	13.30%
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	12.00%	12.20%	12.60%	13.00%	13.40%	13.80%	14.20%
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	12.80%	13.20%	13.60%	14.40%		14.80%	15.20%
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	13.20%	13.60%	14.00%	14.60%	15.20%	15.60%	15.80%
甘油	20.00%	21.00%	22.00%	23.00%	23.00%	23.50%	24.00%

表(七) 各溶液中 BB 彈浮起時的重量百分比濃度

- (二) 氫氧化鈣可能是溶解度很低，加至 5% 便飽和了。但七顆 BB 彈都沒浮起來，因此放棄氫氧化鈣的實驗。由此可知氫氧化鈣對於水的溶解度小於 5.00%。
- (三) 蔗糖、葡萄糖、甘油等到 12.00%、13.20%、20.00% 時，第一顆才浮起。代

- 表這些物質溶於水時密度相對於其他物質的水溶液的密度小。參見表(七)
- (四) 碳酸鈉溶液最早有 BB 彈浮起來，在重量百分濃度 5.0%時就浮起了三顆。這表示在重量百分濃度為 5%時，溶液的密度已經超過 1.0482 g/cm<sup>3</sup>了。
- (五) 由實驗結果得知，重量百分濃度相同的溶液，密度並不見得相同。
- (六) 由圖(一)可知，密度(以咖啡色 BB 彈為參考)由大到小：碳酸鈉>硫酸銅粉末=硫酸鈉>氯化鈉>碳酸氫鈉>硫酸銅晶體>氯化鉀>硝酸鉀>硝酸鈣晶體>氯化鈣>硫酸鎂>硝酸鎂>蔗糖>氯化鎂晶體>葡萄糖>甘油。

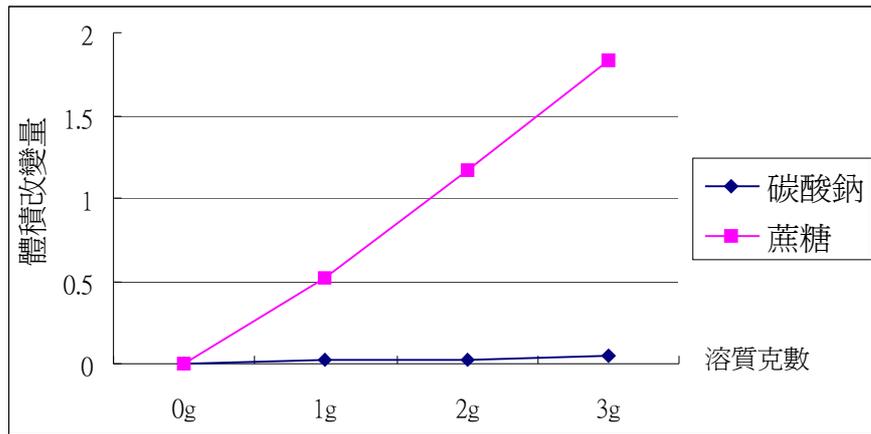


圖(一) 將表(七)的數據以圖呈現

- (七) 除氯化鎂外大部份物質在相同濃度時非電解質密度比電解質小。代表電解質在水中佔的體積比非電解質佔的體積小。
- (八) 溶質溶於水會吸或放出熱量，但溶解前後溫差很小，且實驗過程中等待溶質溶解及靜止的時間，足以讓溶液與室溫接近熱平衡，故忽略溫度的影響。
- (九) 實際測量碳酸鈉與蔗糖溶於水時溶液的體積變化如下，可見蔗糖溶於水體積增加很多，而碳酸鈉則增加得極少。

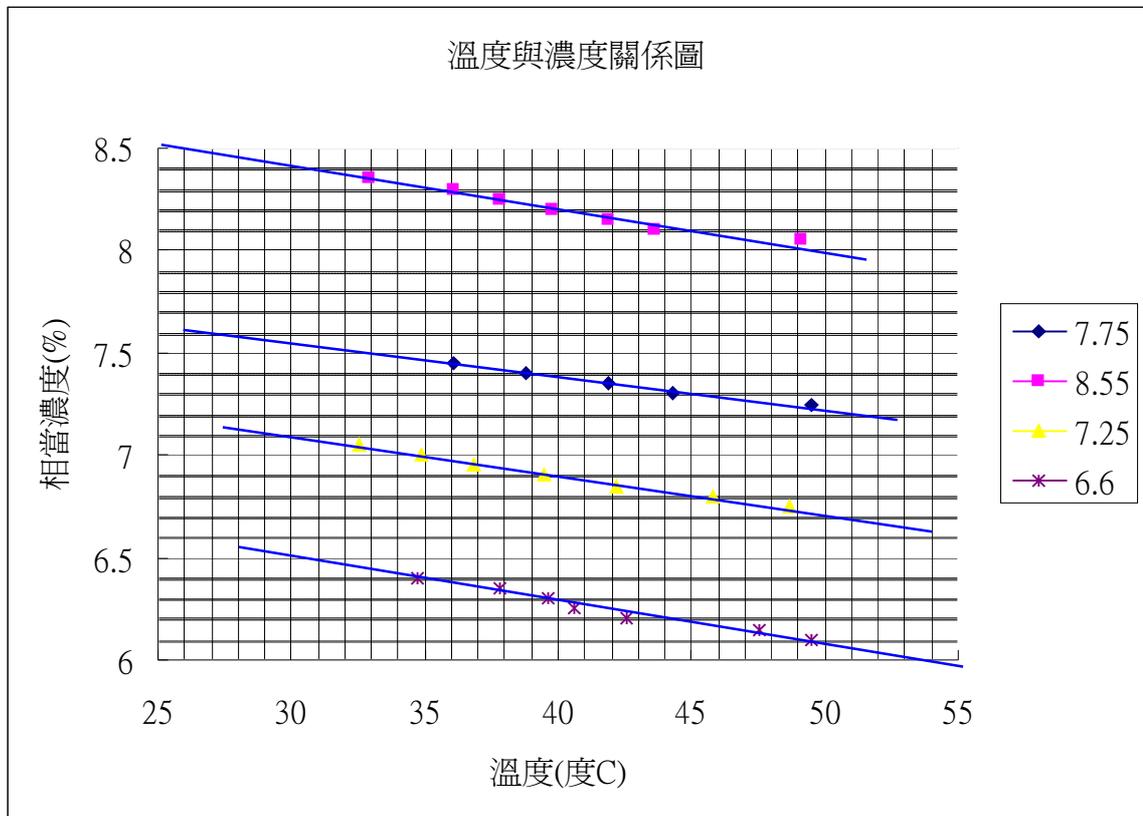
溶質質量	碳酸鈉溶液體積增加量	蔗糖溶液體積增加量
0g	0	0
1g	0.019 mL	0.519 mL
2g	0.024 mL	1.169 mL
3g	0.047 mL	1.830 mL

表(八) 溶質對溶液體積的影響



圖(二) 溶質質量與體積改變量關係

四、以 BB 彈測量溫度對密度的影響實驗結果如下：



圖(三)

- (一) 此關係圖表示濃度 6.60%、7.25%、7.75%、8.55% 的食鹽水在上述溫度範圍時密度相當於 22°C 時多少濃度的食鹽水，其中所對應浮上來的 BB 彈均是溫度愈低濃度愈大，表示食鹽水具有熱脹冷縮的特性。
- (二) 四種濃度的食鹽水其溫度與濃度關係曲線均接近直線且比值約每升高 10°C 濃度相當於減少 22°C 時的 0.2%，相當於密度降低  $0.001406\text{g}/\text{cm}^3$ 。
- (三) 上述關係須假設 BB 彈隨溫度改變時體積的變化極小才成立。
- (四) 其中濃度 8.20% 的食鹽水裡面的 BB 彈浮沉情況混亂無法整理出結果，可能

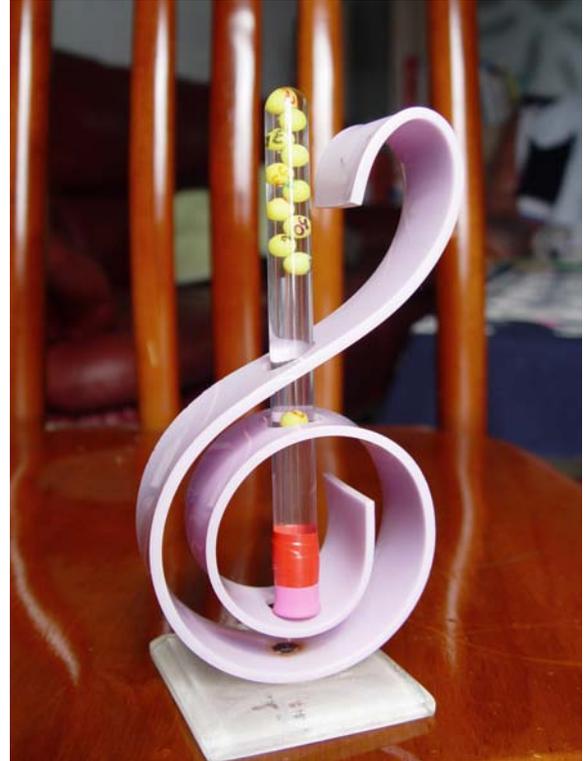
是裡面有氣泡影響結果。

(五)把這個現象應用來做溫度計：在一定濃度鹽水中利用溫度來挑選 BB 彈，從 24°C 到 37°C，每一度前後誤差約 0.1 度範圍內挑選一批 BB 彈。用奇異筆寫上溫度，放到試管或細玻璃管裡，BB 彈會在自己所代表的溫度浮上來，就成了一個溫度計。如照片(二十)~(二十三)



照片(二十)

把 BB 彈裝在試管裡，以 CD 做底座。



照片(二十一)

最成功的溫度計。利用氣球封住底部，一方面排除空氣，一方面緩和熱脹冷縮時的變化。



照片(二十二)

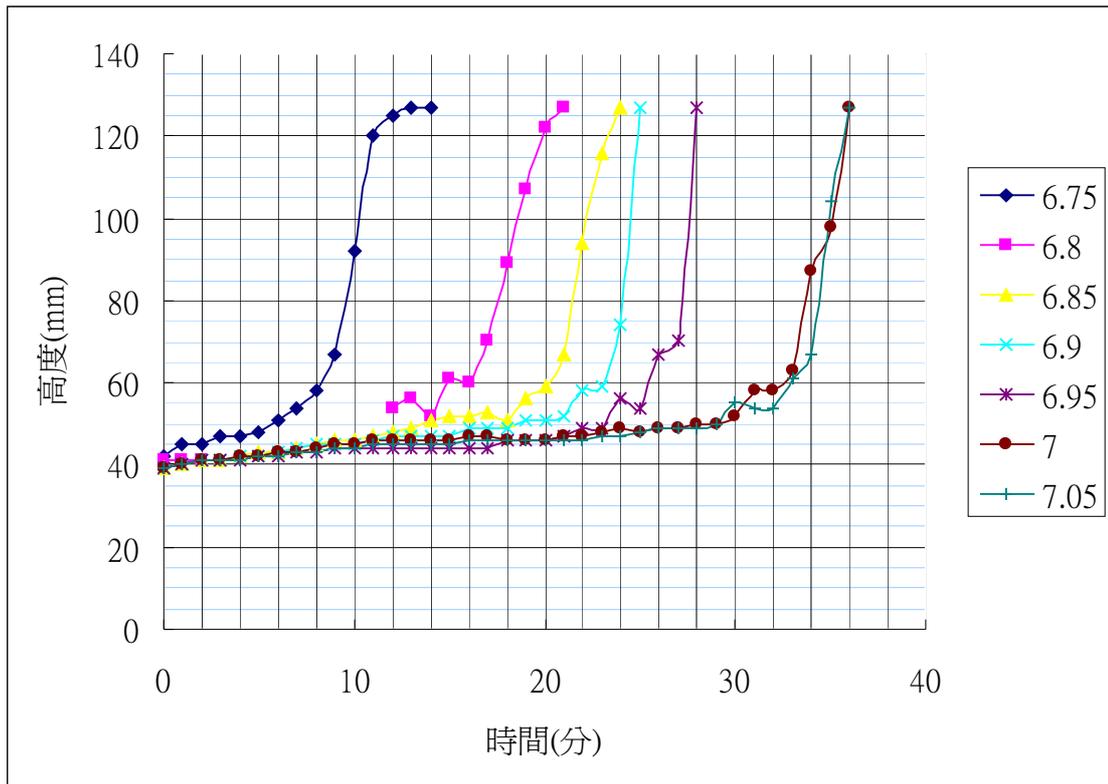
使用細玻璃管，讓 BB 彈排成一排。用氣球封住管口，在頭尾加了吸盤方便吸附在玻璃等光滑表面上。



照片(二十三)

照到太陽後溫度升高了，31°C 以下的 BB 彈就沉下去。這款溫度計缺點是玻璃管太細，BB 彈移動須克服較大的阻力，反應較慢。

## 五、食鹽水中的擴散現象



圖(四) 各種濃度食鹽水擴散高度與時間關係圖

- (一)圖(四)表示溫度穩定於 76°C 時測得的擴散情形。可看出，隨著時間 BB 彈由密度小的開始依序浮升，且每一顆都是先緩慢升高後逐漸加快。
- (二)從 BB 彈的反應可以判斷在濃度落差很大的介面(40mm)附近溶質不容易分散開來，反而是在濃度較稀薄的區域溶質擴散的比較快。
- (三) 圖形上同一縱座標值就代表燒杯中同一高度(位置)的濃度隨著時間而增加的變化情形。

## 柒、討論

一、不同的溶質對溶液密度的影響：

(一) 依溶液的導電性分為電解質溶質與非電解質溶質：

- 1、 電解質溶質：如碳酸鈉、硫酸銅粉末、硫酸鈉等，這些溶液在較小濃度時，BB 彈就會浮起來。非電解質溶質：如：蔗糖、葡萄糖、甘油等，這些直到重量百分度達 12.00%時，BB 彈才開始浮起來。加入相同質量溶質時，溶液的密度是電解質溶液大於非電解質溶液。
- 2、 水分子中的氫原子端帶正電；氧原子端帶負電，電解質溶於水解離為正離子與負離子，負離子會吸引氫原子端而正離子吸引氧原子端，吸引力讓溶液中分子靠的比較緊密。所以雖然加入溶質時體積增加，但又因正負離子的吸引力讓體積增加的比較少，所以溶液的體積會因溶質不同，吸引力也不同而變化。
- 3、 非電解質在水中不會解離成離子，水溶液的體積就比較不會縮小。

(二) 溶質含結晶水與否：

- 1、由硫酸銅粉末與硫酸銅晶體，我們發現有結晶水的存在的確會影響，可能是因為加入相同質量時，硫酸銅晶體所含的硫酸銅成份比較少，溶解在水中的正、負離子也就比較少。
- 2、氯化鎂的實驗中，BB 彈一直到 12.80% 才浮起，可能是氯化鎂潮解非常嚴重。秤氯化鎂時，秤紙上都溼溼的。

(三) 以咖啡色 BB 彈比較負離子的關係：

含 Na <sup>+</sup> 溶質	濃度(%)	含 K <sup>+</sup> 溶質	濃度(%)	含 Ca <sup>2+</sup> 溶質	濃度(%)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5.00	KCl	7.90	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	9.60
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.00	KNO <sub>3</sub>	8.10	CaCl <sub>2</sub>	9.80
NaCl	6.95				
NaHCO <sub>3</sub>	7.10				

表(九)

- 1、負離子密度大小關係： $\text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-、\text{NO}_3^-$ 。
- 2、發現： $-2$  價( $\text{CO}_3^{2-}、\text{SO}_4^{2-}$ )  $>$   $-1$  價( $\text{Cl}^-、\text{NO}_3^-$ )，且  $\text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$ 。
- 3、可能原因：
  - (1)  $-2$  價  $>$   $-1$  價： $\text{Na}^+、\text{K}^+$  都是 I A 族，所以正離子數目是  $-2$  價比  $-1$  價多。正離子數目多，則吸引力也就比較大。
  - (2)  $-2$  價( $\text{CO}_3^{2-}、\text{SO}_4^{2-}$ )：碳酸根由四個第二週期的原子(C、O)所組成，硫酸根由四個第二週期(O)及一個第三週期(S)所組成，第三週期比較大，而第二週期原子比較小顆。含五個原子的原子團比四個的大，原子團大的距離遠吸引力也就小(因為太遠了，吸不到)。
  - (3)  $\text{Cl}^-、\text{NO}_3^-$ ：不一定， $\text{K}^+$  是  $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ ；而  $\text{Ca}^{2+}$  是  $\text{Cl}^- < \text{NO}_3^-$ 。

(四) 以咖啡色 BB 彈比較正離子的關係：

含 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 溶質	濃度(%)	含 Cl <sup>-</sup> 溶質	濃度(%)	含 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 溶質	濃度(%)
CuSO <sub>4</sub>	6.00	NaCl	6.95	KNO <sub>3</sub>	8.10
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6.00	KCl	7.90	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	9.60
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	7.80	CaCl <sub>2</sub>	9.80	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	11.80
MgSO <sub>4</sub>	10.20	MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	13.60		

表(十)

- 1、正離子大小關係： $\text{Cu}^{2+}、\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$ 。
- 2、發現：
  - (1)  $\text{Cu}^{2+}$  與  $\text{Na}^+$  在濃度 6.00% 密度相同。
  - (2) 相同濃度時的硫酸銅水溶液，含結晶水的硫酸銅水溶液密度較小。
  - (3) I A  $>$  II A ( $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$ )。
  - (4) I A 中： $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 。
  - (5) II A ( $\text{Ca}^{2+}、\text{Mg}^{2+}$ ) 因為溶質分子中含結晶水的數目不同，所以無法比較。

### 3、可能原因：

- (1) 鈉是第二週期而鉀是第三週期，鈉的原子半徑較小，所以吸引力較強。
- (2) I A > II A，可能是因為 I A 族與碳酸根、硫酸根等結合時，溶質溶於水中時，I A 族所含的正離子數目多較 II A 族多的原因。

二、實驗中氣泡的排除是非常重要的，否則附著在 BB 彈上面會影響密度，因此每次操作一定要使用煮沸至少 10 分鐘以上的水才能進行實驗。又，食鹽溶解到水裡也會產生許多氣泡，在固態食鹽完全溶解完之後氣泡還會陸陸續續產生出來，所以配製食鹽水溶液除了煮沸還要攪拌很久才能趕走氣泡。

三、查資料知道 20°C 的食鹽水其濃度與密度關係：

重量百分濃度(%)	密度(g/cm <sup>3</sup> )
4	1.0268
6	1.0413
8	1.0559
10	1.0707

此範圍內濃度與密度大致成線性關係。以內插法算出每一等級的 BB 彈，密度差距大約 0.00037g/cm<sup>3</sup>，可見本實驗所探討的一些變化都是非常的微小，平常無法察覺的現象。

## 捌、結論

本實驗成功的以食鹽水挑選出密度等級相差約 0.00037 g/cm<sup>3</sup> 的 BB 彈來進行溶液微小變化之探討：

- 一、發現未攪拌均勻的溶液其水平的層狀分佈可以維持非常久而無法均勻。
- 二、電解質溶於水時增加的體積普遍且明顯的小於非電解質，推測可能與其解離後成為帶電離子較易吸引水分子有關。
- 三、發現食鹽水溫度每升高 10°C 密度大約下降 0.001406 g/cm<sup>3</sup>。
- 四、嚴選 BB 彈放入特定濃度鹽水中可製作溫度計。
- 五、分布不均勻的溶液中，溶質擴散的速率隨濃度愈高愈慢，愈稀薄愈快。

## 玖、參考資料及其他

- 南一版，國中自然與生活科技二上，第一章，第二節 物質的密度；第三節 水溶液的濃度。
- John. A. Dean. *Lange's Handbook of Chemistry*. Eleventh edition.
- 范光龍。物理海洋學導論。民 94 年 3 月 31 日，取自：  
<http://w3.oc.ntnu.edu.tw/chap6/chap6.htm>

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

國中組 理化科

第二名、最佳創意獎

031612

揭開溶液的五四三

臺北縣立中平國民中學

評語：

1. 很有創意，執行內容也很完整。
2. 所設計之溫度計具有相當的實用性。