

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

(鄉土)教材獎

030108

聽酒杯在唱歌－濃度與聲音頻率關係之探討

學校名稱：新北市立福和國民中學

作者：  國二 黃瀨瑩  國二 蕭宇岑  國二 梁沛如	指導老師：  丁亦男  周憲男
---	-----------------------------

關鍵詞：濃度、頻率、AUDACITY

## 摘要

用沾溼的手指摩擦杯子的邊緣會產生聲音，而且聲音的頻率會隨著杯子的不同，以及杯內所裝入液體的質量及濃度的不同而產生變化。

本實驗是藉由摩擦裝有溶液的杯子產生聲音並探討何種杯子比較適合本實驗之用，以及摩擦所產生聲音的頻率和杯中所裝溶液濃度之間的關係，再用得到的結果來預測和測量溶液的濃度及溶解度的大小。

## 壹、研究動機

我們知道測量溶液的濃度在化學上有很多不同的方法，因此查閱了很多資料，其中在「中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 國中組 物理科 第三名 大珠小珠落一盤—出水端水滴體積變化之研究」中得知：水滴在出口端的體積會受到重力與表面張力兩者的影響，而液體的表面張力又會受到濃度的影響，所以一開始我們是以每滴溶液的體積和溶液濃度關係為目標，但之後發現兩者之間沒有很明顯的關聯性。之後我們轉而以溶液滴水聲的頻率和溶液濃度的關係為研究重點，但因為滴水聲聲音過小，所以在收音時容易受到周遭雜音的影響，最後發現結果也沒有規律性，因此我們推斷這個研究方法是不可行的。但某天我在廚房洗玻璃杯發現摩擦杯子會發出聲音，且音量竟然出人意料的大，於是就產生了利用摩擦杯緣產生聲音，並藉由分析此聲音的頻率來測量溶液濃度的想法，也因此引發本實驗之動機。

## 貳、研究目的

我們知道測量溶液的濃度在化學上有很多不同的方法，但這些方法有時既費時又浪費藥品，所以想嘗試從摩擦杯緣產生聲音的現象著手，找出一個簡單又環保的測量方法及流程來測量溶液的濃度大小。

## 參、研究設備及器材

電子天平(0.01g)	桌上型麥克風	電腦	量筒
鐵架	容量瓶	燒杯	滴管
溫度計	氯化鈉	硝酸鉀	台糖晶冰糖(蔗糖)
硝酸鉛	硫酸鈉	葡萄糖	蒸餾水
1 號杯 (高腳杯) (最大容量 248.0mL) 	2 號杯 (高腳杯) (最大容量 277.0mL) 	3 號杯 (可樂杯) (最大容量 270.5mL) 	4 號杯 (高腳杯) (最大容量 77.0mL) 
5 號杯 (50mL 燒杯) (最大容量 69.0mL) 	6 號杯 (250mL 燒杯) (最大容量 310.0mL) 		

## 肆、研究過程或方法

研究一：如何用 AUDACITY 及 phyphox 軟體測出可代表摩擦杯子所產生聲音的頻率

研究步驟：

- (一)將簡易桌上型麥克風連接到電腦上，調整麥克風位置使其位於 1 號杯杯口附近，並將麥克風固定於鐵架上。同時開啟手機 app "phyphox"，並放置於酒杯杯口旁邊。如下圖(一)。



圖(一) 實驗儀器及設備圖

- (二)摩擦 1 號杯杯緣，然後以 phyphox 測量聲音頻率，並記錄下由 phyphox 測量到的聲音頻率；同時以 AUDACITY(免費音樂剪輯軟體)錄下聲音，再以 AUDACITY 內建頻率分析功能測量出頻率。
- (三)分析從 AUDACITY 測出的頻譜圖中找出最適合的頻率，來代表摩擦杯子所產生聲音的頻率。
- (四)重複步驟(二)~(三)3 次。

研究二：使用不同的杯子並在杯子中裝入不同體積蒸餾水時聲音頻率的變化

研究步驟：

- (一)1 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 1 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 1 號杯中分別加入 20mL、40mL、60mL、80mL、100mL、120mL、140mL、

160mL、180mL、200mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

#### (二)2 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 2 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 2 號杯中分別加入 20mL、40mL、60mL、80mL、100mL、120mL、140mL、160mL、180mL、200mL、220mL、240mL、260mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

#### (三)3 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 3 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 3 號杯中分別加入 20mL、40mL、60mL、80mL、100mL、120mL、140mL、160mL、180mL、200mL、220mL、240mL、260mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

#### (四)4 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 4 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 4 號杯中分別加入 5mL、10mL、15mL、20mL、25mL、30mL、35mL、40mL、45mL、50mL、55mL、60mL、65mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

#### (五)5 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 5 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 5 號杯中分別加入 5mL、10mL、15mL、20mL、25mL、30mL、35mL、40mL、45mL、50mL、55mL、60mL、65mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

#### (六)6 號杯

- 1.使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 6 號杯(空杯)所產生的聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.在 6 號杯中分別加入 20mL、40mL、60mL、80mL、100mL、120mL、140mL、160mL、180mL、200mL、220mL、240mL、260mL、280mL 蒸餾水後，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

### 研究三：溶液濃度是否會影響聲音頻率

#### 研究步驟：

- (一)配製重量百分濃度 2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的氯化鈉水溶液。
- (二)取以上不同濃度的氯化鈉溶液各 50mL 置入 1 號杯後摩擦杯緣，同時用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦杯子所產生的聲音，之後用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率，並重複此步驟三次。
- (三)改取不同濃度的氯化鈉溶液 125mL 及 200mL，重複上一步驟。
- (四)繪製平均頻率與氯化鈉溶液濃度關係圖。

### 研究四：在固定體積或固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉水溶液聲音頻率變化

#### 研究步驟：

##### (一)固定體積

- 1.配製重量百分濃度 2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的氯化鈉水溶液。
- 2.在 1 號杯中裝入重量百分濃度 2%的氯化鈉溶液 200mL，然後使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 1 號杯所產生聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 3.改取 4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的氯化鈉溶液 200mL，重複步驟 2.測出聲音的頻率。

##### (二)固定質量

- 1.在 1 號杯中裝入重量百分濃度 2%的氯化鈉溶液 200g，然後使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 1 號杯所產生聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。
- 2.改取 4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的氯化鈉溶液 200g，重複步驟 1.測出聲音的頻率。

### 研究五：溫度對聲音頻率的影響

#### 研究步驟：

- (一)在 1 號杯中裝入 200g 高溫的蒸餾水，以溫度計測量水溫後，然後使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 1 號杯所產生聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。

(二)當 1 號杯中 200g 蒸餾水的溫度每下降大約 5°C 時，重複步驟(一)。

(三)當水溫無法繼續下降時，加入適量冰水調整水溫，再重新量取低溫的蒸餾水 200g 置於 1 號杯中，並重複步驟(一)。

(四)以 4 號杯取代 1 號杯，然後在杯中裝入 50g 高溫的蒸餾水，並重複步驟(一)~(三)。

研究六：固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)溶液產生的聲音頻率  
研究步驟：

(一)在 4 號杯中裝入重量百分濃度 2%的氯化鈉水溶液 50g，然後使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 4 號杯所產生聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析功能測出並記錄頻率。

(二)改取 4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%、18%、20%的氯化鈉水溶液 50g，重複步驟(一)測出聲音的頻率。

(三)改取硝酸鉀水溶液及冰糖(蔗糖)水溶液，重複步驟(一)~(二)測出聲音的頻率。

研究七：在固定質量下測量不同容積莫耳濃度氯化鈉及硝酸鉀水溶液產生聲音的頻率  
研究步驟：

(一)在 4 號杯中裝入容積莫耳濃度 0.5M 的氯化鈉水溶液 50g，然後使用圖(一)的儀器及設備錄下摩擦 4 號杯所產生聲音三次，並用 AUDACITY 內建頻率分析軟體測出並記錄頻率。

(二)改取 1M、1.5M、2M、2.5M、3M、3.5M、4M 的氯化鈉水溶液 50g，重複步驟(一)測出並記錄頻率。

(三)改取 0.5M、1M、1.5M、2M、2.5M、3M 硝酸鉀水溶液 50g，重複步驟(一)~(二)測出並記錄頻率。

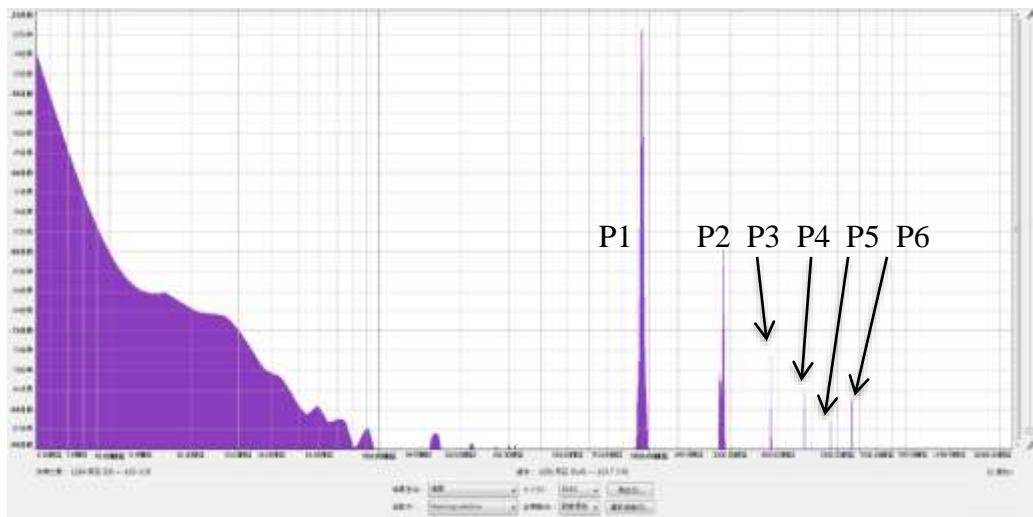
## 伍、研究結果

研究一：如何用 AUDACITY 及 phyphox 軟體測出可代表摩擦杯子所產生聲音的頻率

結果：

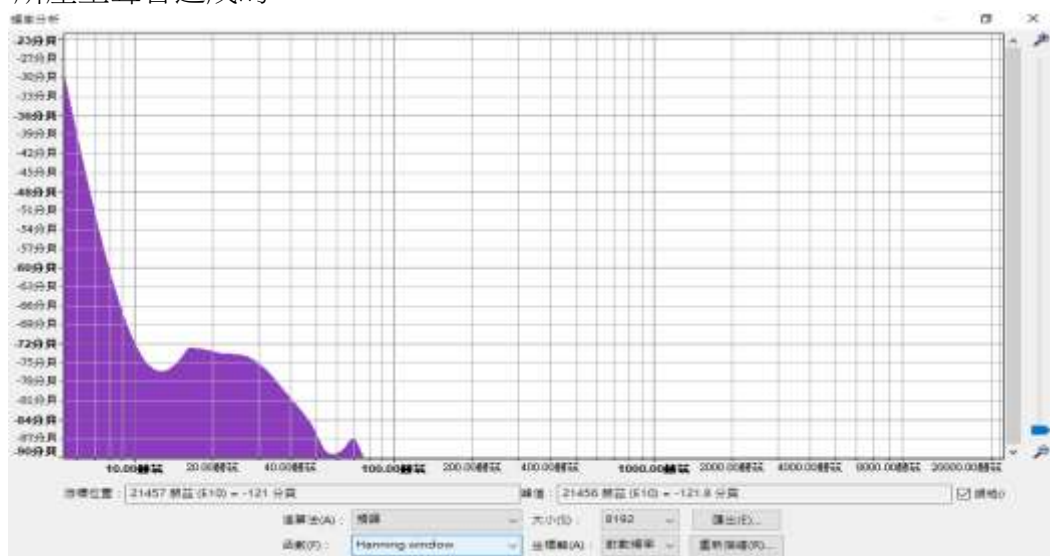
(一)用 AUDACITY 軟體如何測出代表摩擦杯子產生聲音的頻率

1. 摩擦 1 號杯杯緣後以 AUDACITY(免費音樂剪輯軟體)錄下聲音，再以其內建頻率分析功能測出頻率，而所測得的頻譜圖(分貝值與頻率關係圖)，如下圖(二)。



圖(二) 摩擦 1 號杯杯緣所測得聲音的頻譜圖

2. 由圖(二)可以發現摩擦杯緣產生的聲音是由很多不同頻率的聲音所組成的，再比對我們測得的背景噪音的頻譜圖，如下圖(三)。我們發現圖(三)中背景噪音的圖形主要集中於頻譜圖的左側，因此我們推測圖(二)右側所出現的峰線主要就是由摩擦杯子所產生聲音造成的。



圖(三) 背景噪音的頻譜圖



3.我們進一步找出圖(二)頻譜圖中 P1~P6 這 6 條峰線的頻率，其頻率大小如下表(一)所示。

表(一) 頻譜圖中 P1~P6 的頻率數據

編號	P1	P2	P3	P4	P5	P6
頻率(Hz)	940	1880	2820	3760	4702	5641
各峰線的頻率÷P1 頻率	1.000	2.000	3.000	4.000	5.002	6.001

4.從上表(一)我們發現 P2~P6 這 5 條峰線的頻率幾乎是 P1 頻率的整數倍，因此我們推測 P1 應該是摩擦杯子所產生的基音，而 P2~P6 則為泛音。

5.綜合以上理由，我們認為應該選擇「基音」來代表摩擦杯子所產生聲音的頻率，因為在頻譜圖中基音所產生的峰線通常是分貝數最大、能量最高而且是最明顯、最容易判讀的。

(二)用 phyphox 軟體如何測出代表摩擦杯子產生聲音的頻率

1.下表(二)是用 AUDACITY 軟體及以手機 app phyphox 測得摩擦杯子產生聲音的頻率對照表。

表(二) 用 AUDACITY 及 phyphox 軟體測得聲音頻率對照表

實驗次數	1	2	3
以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)	940	940	940
以 phyphox 軟體測得的頻率(Hz)	943.36	943.36	943.36

2.由表(二)可以發現以手機應用軟體 phyphox 測到的頻率比用 AUDACITY 軟體測得的頻率還大，而且所測得的數據可以達到小數點後第二位。但是就測量過程的數據判別度來說，用 AUDACITY 軟體所測得數據可以很容易從頻譜圖中讀取到數據，但是用 phyphox 軟體來測量頻率時，因為其頻率會一直呈現跳動狀況，所以就讀取數據而言，並不是那麼的容易、方便與正確。

研究二：使用不同的杯子並在杯子中裝入不同體積蒸餾水時聲音頻率的變化

結 果：

(一)在 1~6 號這 6 個不同杯子中裝入不同體積蒸餾水後，摩擦杯緣後所測得的頻率如下表(三)之 1~3。

表(三)之 1 在 1 及 2 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率

1 號杯(最大容積 248.0 mL)						2 號杯(最大容積 277.0 mL)					
蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)	蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)
0	0	937	936	936	936.3	0	0	1439	1440	1440	1439.7
20	0.081	937	936	936	936.3	20	0.072	1439	1438	1439	1438.7
40	0.161	931	932	931	931.3	40	0.144	1438	1438	1438	1438.0
60	0.242	920	919	918	919.0	60	0.217	1431	1432	1431	1431.3
80	0.323	896	897	897	896.7	80	0.289	1418	1417	1418	1417.7
100	0.403	867	867	867	867.0	100	0.361	1394	1394	1394	1394.0
120	0.482	822	822	822	822.0	120	0.433	1358	1358	1358	1358.0
140	0.565	771	772	773	772.0	140	0.505	1307	1307	1308	1307.3
160	0.645	709	711	709	709.7	160	0.578	1246	1246	1246	1246.0
180	0.726	645	644	643	644.0	180	0.650	1175	1175	1176	1175.3
200	0.806	572	571	572	571.7	200	0.722	1098	1098	1098	1098.0
						220	0.794	1016	1016	1016	1016.0
						240	0.866	934	933	934	933.7
						260	0.939	852	852	852	852.0

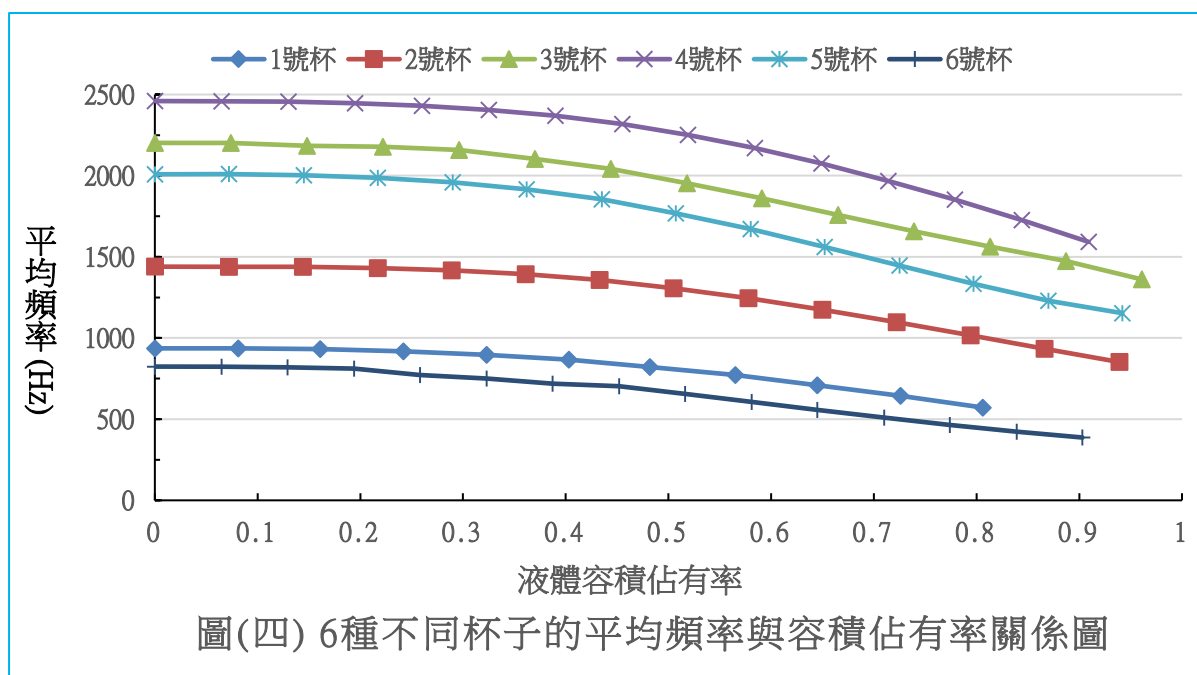
表(三)之 2 在 3 及 4 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率

3 號杯(最大容積 270.5 mL)						4 號杯(最大容積 77.0 mL)					
蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)	蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)
0	0	2200	2202	2201	2201.0	0	0	2460	2459	2460	2459.7
20	0.074	2202	2201	2202	2201.7	5	0.065	2459	2458	2458	2458.3
40	0.148	2187	2186	2178	2183.7	10	0.130	2455	2455	2456	2455.3
60	0.222	2178	2178	2176	2177.3	15	0.195	2446	2446	2447	2446.3
80	0.296	2157	2159	2158	2158.0	20	0.260	2429	2430	2430	2429.7
100	0.370	2102	2103	2103	2102.7	25	0.325	2405	2406	2406	2405.7
120	0.444	2041	2044	2041	2042.0	30	0.390	2368	2369	2369	2368.7
140	0.518	1954	1956	1953	1954.3	35	0.455	2317	2318	2317	2317.3
160	0.591	1861	1859	1860	1860.0	40	0.519	2252	2252	2252	2252.0
180	0.665	1757	1759	1758	1758.0	45	0.584	2170	2170	2170	2170.0
200	0.739	1657	1658	1659	1658.0	50	0.649	2075	2076	2076	2075.7
220	0.813	1563	1565	1562	1563.3	55	0.714	1968	1967	1967	1967.3
240	0.887	1473	1475	1475	1474.3	60	0.779	1854	1853	1853	1853.3
260	0.961	1361	1361	1361	1361.0	65	0.844	1728	1727	1727	1727.3

表(三)之 3 在 5 及 6 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率

5 號杯(最大容積 69.0 mL)						6 號杯(最大容積 310.0 mL)					
蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)	蒸餾水 體積 (mL)	液體 容積 佔有率	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均 頻率 (Hz)
0	0	2012	2008	2008	2009.3	0	0	824	824	824	824.0
5	0.072	2007	2012	2010	2009.7	20	0.065	823	824	824	823.7
10	0.145	2004	2004	2002	2003.3	40	0.129	820	819	820	819.7
15	0.217	1985	1988	1990	1987.7	60	0.194	812	812	812	812.0
20	0.290	1960	1960	1959	1959.7	80	0.258	773	771	772	772.0
25	0.362	1916	1915	1916	1915.7	100	0.323	751	750	751	750.7
30	0.435	1854	1860	1853	1855.7	120	0.387	719	719	719	719.0
35	0.507	1766	1768	1769	1767.7	140	0.452	702	702	703	702.3
40	0.580	1673	1669	1673	1671.7	160	0.516	657	655	657	656.3
45	0.652	1561	1562	1561	1561.3	180	0.581	606	606	606	606.0
50	0.725	1446	1448	1448	1447.3	200	0.645	558	557	558	557.7
55	0.797	1334	1335	1334	1334.3	220	0.710	510	509	510	509.7
60	0.870	1230	1231	1230	1230.3	240	0.774	464	464	464	464
65	0.942	1155	1156	1148	1153.0	260	0.839	424	423	422	423
						280	0.903	386	388	387	387

(二)繪出上表(三)之 1~3 中 6 個杯子所測得的平均頻率與容積佔有率的關係圖，如下圖(四)。(註：液體容積佔有率 = 杯中所裝液體的體積 ÷ 杯子的最大容積)



(三)摩擦這六個杯子時，以摩擦高腳杯(1、2及4號杯)最容易發出聲音且音量也比較大，而摩擦燒杯(5及6號杯)最不容易發出聲音且音量也最小。

研究三：溶液濃度是否會影響聲音頻率

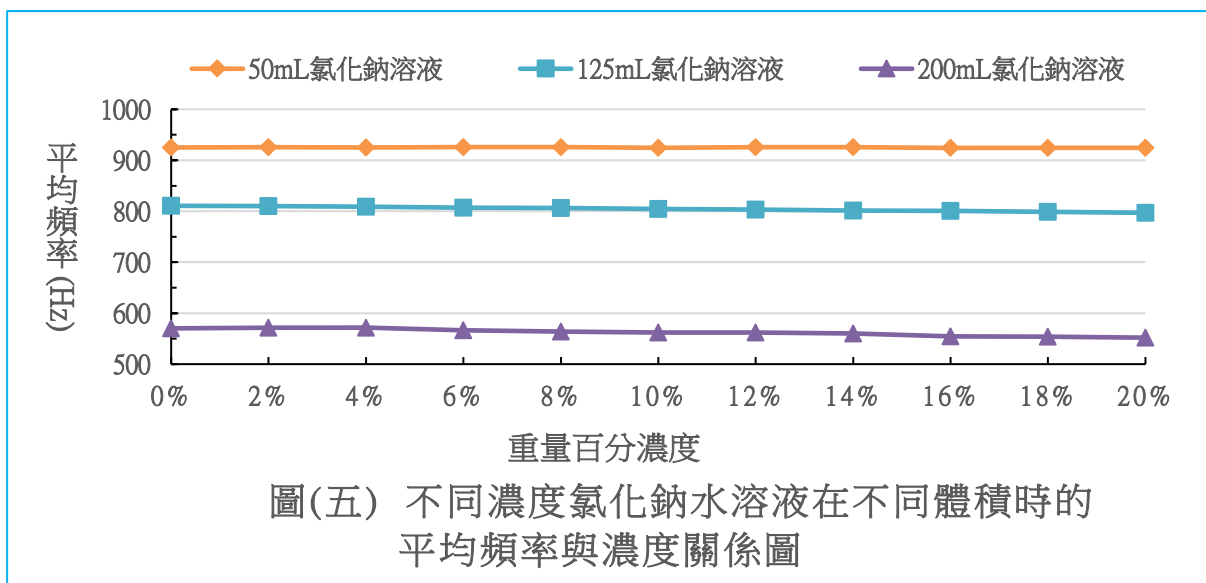
結果：

(一)在 1 號杯中分別裝入 50mL、125mL 及 200mL 不同濃度的氯化鈉水溶液，所測得聲音的頻率如下表(四)。

表(四) 不同濃度氯化鈉水溶液以不同體積裝入 1 號杯中測得的頻率

重量百分濃度	50mL 氯化鈉水溶液				平均頻率 (Hz)	125mL 氯化鈉水溶液				平均頻率 (Hz)	200mL 氯化鈉水溶液				平均頻率 (Hz)
	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)					以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)					以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)				
0%	926	925	925	925	925.3	811	810	811	810.7	810.7	570	570	570	570	570
2%	925	926	926	926	925.7	810	811	810	810.3	810.3	571	571	572	571.3	571.3
4%	925	926	925	925	925.3	809	809	808	808.7	808.7	572	572	571	571.7	571.7
6%	926	926	926	926	926	807	808	807	807.3	807.3	567	567	565	566.3	566.3
8%	926	926	926	926	926	807	806	806	806.3	806.3	564	563	565	564	564
10%	925	925	924	924	924.7	804	805	804	804.3	804.3	562	563	562	562.3	562.3
12%	926	926	925	925	925.7	803	803	803	803.0	803.0	562	563	562	562.3	562.3
14%	926	925	926	926	925.7	801	802	801	801.3	801.3	561	560	560	560.3	560.3
16%	925	924	924	924	924.3	801	800	801	800.7	800.7	555	554	555	554.7	554.7
18%	924	925	925	925	924.7	799	799	799	799.0	799.0	555	554	553	554	554
20%	925	924	925	924	924.7	797	797	797	797.0	797.0	552	552	552	552	552

(二)依表(四)的數據畫出不同濃度氯化鈉水溶液在不同體積時的平均頻率與重量百分濃度關係圖，如下圖(五)。



研究四：在固定體積或固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉水溶液聲音頻率變化

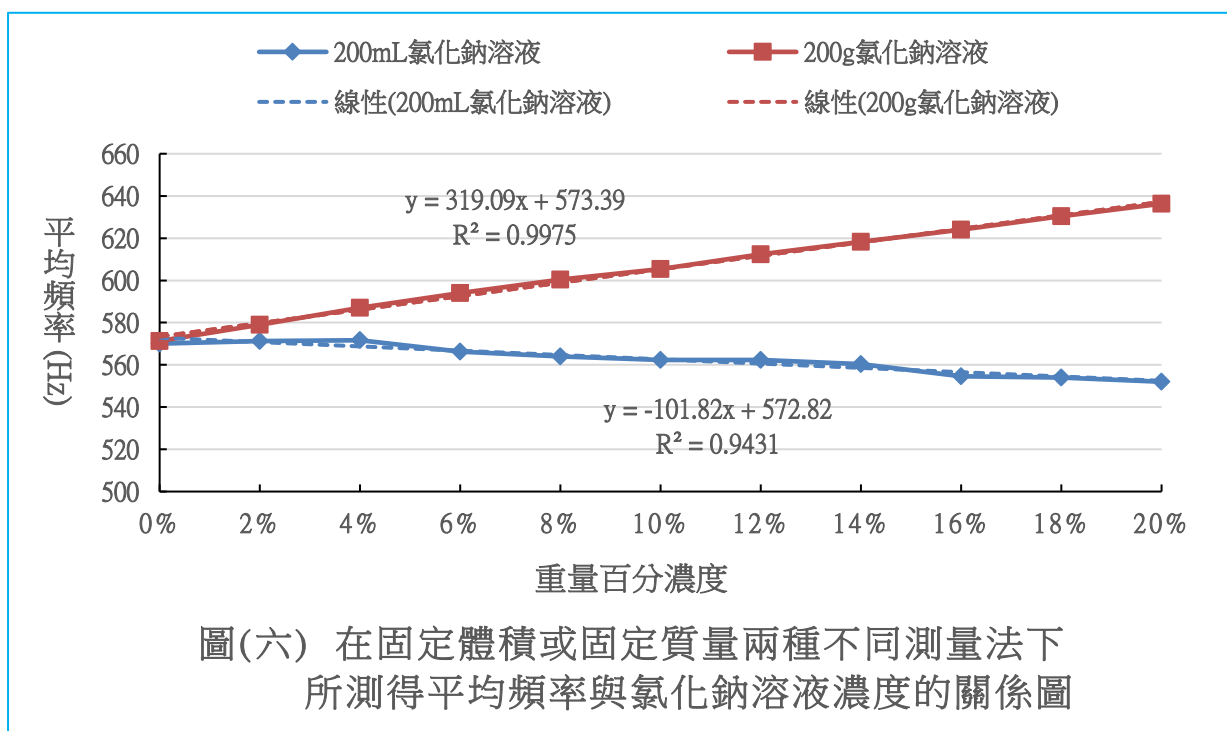
結果：

(一)將不同濃度氯化鈉水溶液以固定取 200mL 或固定取 200g 的方式在 1 號杯中進行實驗，所得到的實驗數據如下表(五)。

表(五) 不同濃度氯化鈉溶液以固定體積或固定質量方式在 1 號杯中測得的頻率

200mL 氯化鈉溶液				200g 氯化鈉溶液					
重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)	重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)
0%	570	570	570	570	0%	572	571	571	571.3
2%	571	571	572	571.3	2%	579	579	579	579.0
4%	572	572	571	571.7	4%	588	587	586	587.0
6%	567	567	565	566.3	6%	594	594	594	594.0
8%	564	563	565	564	8%	600	601	600	600.3
10%	562	563	562	562.3	10%	606	605	605	605.3
12%	562	563	562	562.3	12%	612	613	612	612.3
14%	561	560	560	560.3	14%	619	618	618	618.3
16%	555	554	555	554.7	16%	624	624	624	624.0
18%	555	554	553	554	18%	630	631	630	630.3
20%	552	552	552	552	20%	636	637	636	636.3

(二)下圖(六)是依上表(五)數據繪製而成。



## 研究五：溫度對聲音頻率的影響

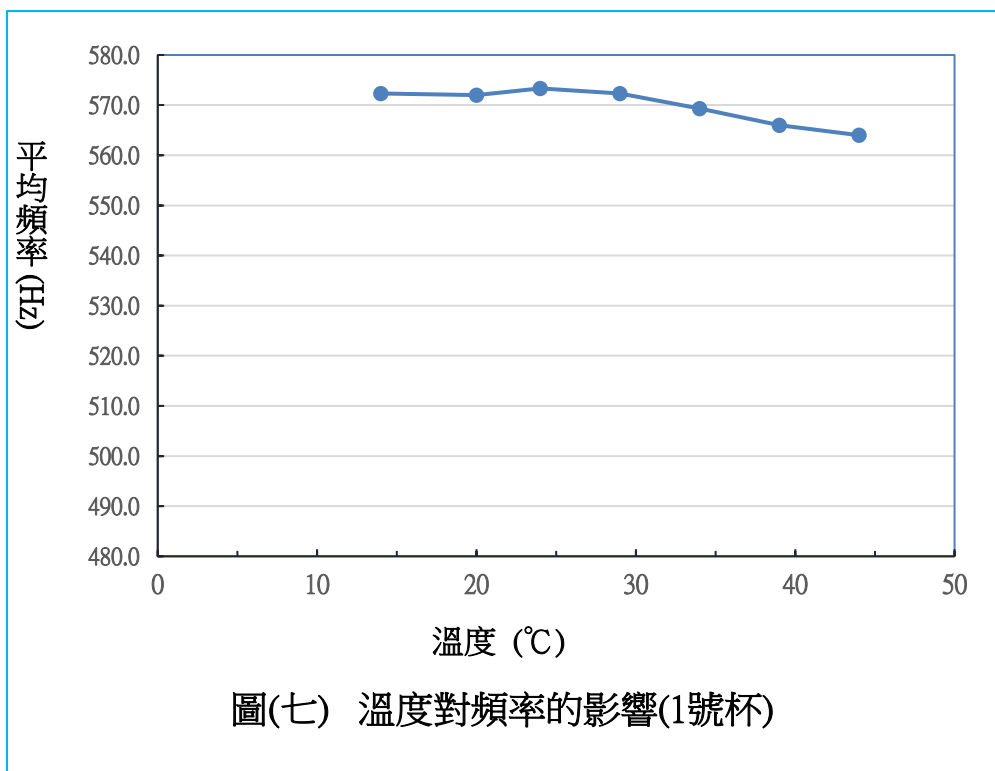
結 果：

(一)200g 蒸餾水(1 號杯中)在不同溫度時測得聲音的頻率如下表(六)，而圖(七)是依表(六)數據繪製而成的平均頻率與溫度的關係圖。

由所測得的數據，我們可以看出在 30°C 以上時，頻率變化比較大，但在 30°C 以下時頻率較為平穩變化不大。

表(六) 200g 水在不同溫度時測得的頻率(1 號杯)

溫度(°C)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
44	564	564	564	564
39	566	566	566	566
34	570	569	569	569.3
29	572	572	573	572.3
24	574	573	573	573.3
20	572	572	572	572
14	572	572	573	572.3

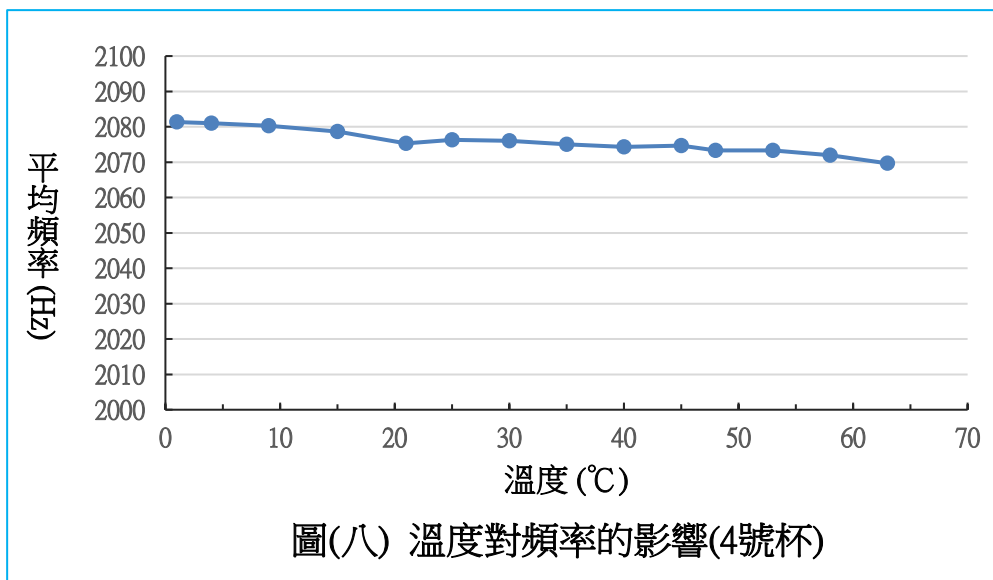


(二)50g 蒸餾水(4 號杯中)在不同溫度時測得聲音的頻率如下表(七)，而圖(八)是依表(七)數據繪製而成的平均頻率與溫度的關係圖。

由所測得的數據，我們可以看出對容量比較小的 4 號杯來說，當溫度變化時，其頻率變化不大。

表(七) 50g 水在不同溫度時測得的頻率(4 號杯)

溫度(°C)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
63	2069	2071	2069	2069.7
58	2072	2073	2071	2072
53	2073	2073	2074	2073.3
48	2073	2073	2074	2073.3
45	2074	2075	2075	2074.7
40	2075	2073	2075	2074.3
35	2075	2075	2075	2075
30	2076	2075	2077	2076
25	2076	2075	2078	2076.3
21	2077	2075	2074	2075.3
15	2078	2079	2079	2078.7
9	2080	2080	2081	2080.3
4	2081	2081	2081	2081
1	2080	2082	2082	2081.3





研究六：固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)溶液產生的聲音頻率  
結 果：

(一)取 50g 不同濃度的氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)水溶液置於 4 號杯，並以 AUDACITY 軟體來測量頻率，所測得的實驗數據如下表(八)之 1~3，而圖(九)是依表(八)之 1~3 數據繪製而成的平均頻率與氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)水溶液重量百分濃度的關係圖。

表(八)之 1 50g 不同濃度的氯化鈉水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2077	2076.7
2%	2085	2085	2086	2085.3
4%	2094	2093	2092	2093
6%	2102	2102	2102	2102
8%	2115	2115	2116	2115.3
10%	2122	2122	2123	2122.3
12%	2131	2130	2131	2130.7
14%	2141	2140	2140	2140.3
16%	2146	2148	2147	2147
18%	2160	2161	2160	2160.3
20%	2169	2169	2169	2169

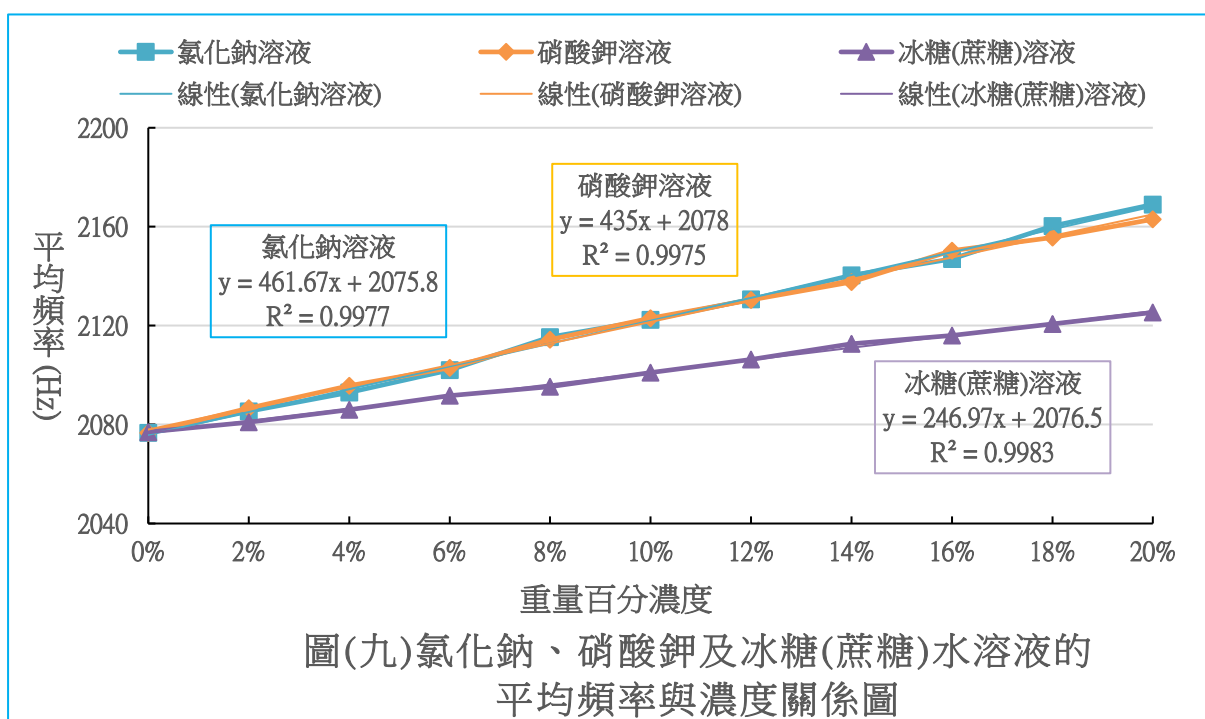
表(八)之 2 50g 不同濃度的硝酸鉀水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2077	2076.7
2%	2086	2087	2087	2086.7
4%	2095	2096	2096	2095.7
6%	2103	2103	2103	2103
8%	2114	2115	2114	2114.3
10%	2122	2123	2124	2123
12%	2131	2130	2130	2130.3
14%	2137	2138	2138	2137.7
16%	2150	2151	2150	2150.3
18%	2155	2156	2156	2155.7
20%	2163	2163	2163	2163

表(八)之 3 50g 不同濃度的冰糖(蔗糖)水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2078	2077
2%	2082	2080	2081	2081
4%	2086	2087	2085	2086
6%	2092	2092	2091	2091.7
8%	2095	2095	2096	2095.3
10%	2101	2102	2100	2101
12%	2106	2107	2106	2106.3
14%	2113	2112	2113	2112.7
16%	2117	2115	2116	2116
18%	2120	2121	2121	2120.7
20%	2126	2126	2124	2125.3

(二)50g 氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)水溶液的平均頻率與濃度關係圖，如下圖(九)。



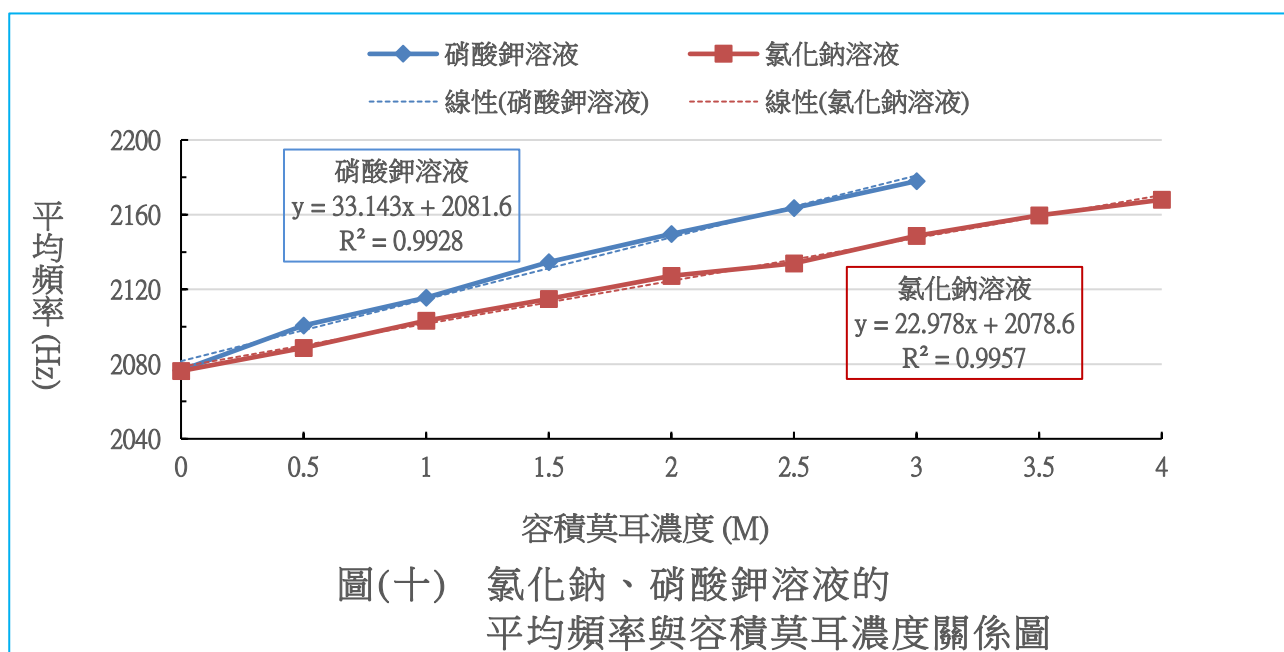
研究七：在固定質量下測量不同容積莫耳濃度氯化鈉及硝酸鉀水溶液產生聲音的頻率

結果：

(一)取 50g 不同容積莫耳濃度的氯化鈉及硝酸鉀水溶液置於 4 號杯，並以 AUDACITY 軟體來測量頻率，所測得的實驗數據如下表(九)，而圖(十)是依表(九)數據繪製而成的平均頻率與氯化鈉及硝酸鉀水溶液容積莫耳濃度關係圖。

表(九) 50g 不同莫耳濃度的氯化鈉及硝酸鉀水溶液測得的頻率數據

50g 氯化鈉水溶液				50g 硝酸鉀水溶液					
莫耳濃度 (M)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)	莫耳濃度 (M)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)
0	2076	2076	2077	2076.3	0	2076	2077	2077	2076.7
0.5	2089	2089	2088	2088.7	0.5	2101	2101	2100	2100.7
1.0	2103	2104	2103	2103.3	1.0	2116	2115	2116	2115.7
1.5	2115	2115	2115	2115	1.5	2135	2134	2135	2134.7
2.0	2126	2128	2128	2127.3	2.0	2150	2150	2149	2149.7
2.5	2134	2134	2134	2134	2.5	2163	2163	2165	2163.7
3.0	2150	2148	2148	2148.7	3.0	2178	2178	2178	2178
3.5	2160	2160	2159	2159.7					
4	2168	2169	2167	2168					



(二)圖(十)中氯化鈉及硝酸鉀水溶液的圖形也都是接近直線，而且圖形的  $R^2$  也達 0.99 以上，這代表兩種測溶液所測得的頻率都和濃度也存在著線性關係。

## 陸、討論

一、由研究一我們發現：

- (一)雖然手機體積小且攜帶方便，但就正確性與操作便利性來比較 AUDACITY 及 phyphox 這二種軟體，我們認為用 AUDACITY 軟體來測量頻率比用 phyphox 軟體來測量頻率更為可行與可靠。
- (二)摩擦酒杯所發出聲音利用 AUDACITY 軟體內建掃描頻譜功能所測出的頻率都位於頻譜圖的中間或右方，其產生的聲音是由基音與泛音所組成，而且基音在當中是能量最大、最容易判讀，因此我們選擇用基音來代表該聲音的頻率。

二、由表(三)之 1~3 及圖(四) 中我們可以發現：

- (一)當這 6 個杯子裝入的水愈多時摩擦所發出聲音則愈低，而且在液體容積佔有率較小時(亦即杯中裝有液體體積較少)，摩擦所發出聲音的頻率變化不大；相反的當液體容積佔有率愈大時(亦即杯中裝有液體體積較多)，聲音頻率變化的幅度則比較大。
- (二)圖(四)中的這六條曲線形狀相似度非常高，因此我們推測這種頻率的變化趨勢和杯子的形狀、輕重、大小、厚薄沒有關係，完全是玻璃杯本身的特性所造成的。
- (三)摩擦這六個杯子時，以摩擦高腳杯最容易發出聲音且音量也最大，而摩擦其他的杯子則音量較小，這應該是摩擦時為求穩固，所以我們會以一手固定杯子，而高腳杯可以直接壓住杯腳固定，因此摩擦時不會影響杯體的振動；但是其他杯子必須直接握住杯底，所以摩擦時就會影響杯體的振動而發出的音量就比較小。

三、由表(四)及圖(五)中我們可以發現：

- (一)從圖中可以看到 50mL 氯化鈉溶液的圖形近似一水平直線，這表示雖然氯化鈉溶液的濃度不同，但是測到的頻率幾乎不變，這也代表當液體容積佔有率較小時，摩擦所造成的聲音頻率幾乎呈現固定狀態，所以無法有效區別氯化鈉溶液濃度的不同。
- (二)反觀 125mL 及 200mL 的不同濃度氯化鈉溶液所測到的頻率，雖然頻率變化不是很大，但畫出的圖形卻有逐漸下降的趨勢。這也表示當液體容積佔有率較大時，摩擦所造成的聲音頻率是有可能做為分辨濃度的依據，但是實驗的方法及流程還有很大的調整改善空間。
- (三)另外還可以發現本實驗的結果和研究二的結果相符合，也就是當液體容積佔有率愈小時，聲音頻率變化的幅度比較小且不同濃度之間頻率的差異也比較小；當液體容積佔有率愈大時，聲音頻率變化的幅度則愈大且不同濃度之間頻率的差異也比較大。所以我們推測若是要使用此類方法來測量溶液的濃度時，液體容積佔有率應該要

大於 0.5 以上，頻率的變化程度才會比較明顯。

四、由表(五)及圖(六)中我們可以發現：

(一)若是以固定取 200mL 氯化鈉溶液的方式，則所測得的頻率會隨著氯化鈉溶液的濃度增加而逐漸變小。這可能是因為氯化鈉溶液的濃度愈大則其密度也愈大，當固定體積時濃度愈大的氯化鈉溶液質量就越大，也就越不容易振動，故頻率會變小。若是改以固定取 200g 氯化鈉溶液的方式來測量，則濃度愈大的氯化鈉溶液因為密度較大，體積也就越小，液面的高度就愈低，也就越容易振動，故頻率變大。

(二)從圖(六)中還可看到，以固定體積方式測出頻率的圖形較無規律性，但是以固定質量方式繪出的圖形卻近似一條直線，而造成這種現象的原因我們認為可能是測量工具不同所造成的。因為測量體積時是以最小刻度為 2mL 的量筒來測量；而測量質量時是以最小刻度 0.01g 的電子天平來測量，故在測量體積時會產生較大的誤差，也因此以固定體積方式的測量法就不容易出現像固定質量方式測出近似直線的圖形。

(三)圖(六)中以固定質量方式繪出的圖形近似一直線而且圖形的趨勢線其  $R^2$  值（決定係數 Coefficient of determination）高達 0.9975，這代表濃度與頻率有高度的線性相關性，因此我們認為在固定質量且液體容積佔有率超過 0.5 的情況下用此實驗法來測量濃度應該是一種可行的方法。

五、在實驗過程中，我們發現當酒杯中的液體溫度升高時，其頻率會改變，所以溫度的變化會影響到本實驗對頻率的測量及對濃度的預測。

但我們在網路上搜尋到一篇文獻(Discussion on Principle and Influence Factors of the Acoustic Excitation of the Wine Glasses)，從文獻中的實驗數據發現，當溫度較低時，溫度對摩擦杯子時所產生聲音頻率的影響不大。另外在該文獻中還提到，容量愈大的酒杯對溫度的靈敏性愈強。

(一)我們從研究五所測得的數據(表(六)及圖(七))中，我們可以看出在 30°C 以下時，溫度對 1 號杯頻率影響不大，和文獻中所提到的相當一致。也就是說在 30°C 以下時用摩擦酒杯的方法來預測濃度應該還是可行的，只不過能應用的溫度範圍太狹隘了。

(二)另外我們從表(七)及圖(八)中可以看出溫度對於容量較小的 4 號杯影響並不大，這也相當符合文獻中所提到的。所以溫度變化不是很大的情況下，對於較小容量的 4 號杯而言，溫度的因素對於本實驗的影響其實是可以忽略的。

六、由圖(九)中我們可以發現氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖) 這三種溶液的圖形都是近乎一直線，而且圖形趨勢線的  $R^2$  值也都高達 0.99 以上，這代表以上這三種測溶液所測得的頻

率都和重量百分濃度有高度的線性關係，因此也都適合用我們設計的方法來測量重量百分濃度。

為了驗證本實驗的正確性，所以我們做了以下實驗：

(一)預測氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)的溶解度

我們配製了氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)在室溫下(約 25°C)的飽和溶液，並測量這三種飽和溶液的頻率，然後將此頻率代入圖(九)中三種溶液的趨勢線方程式並推算這三種飽和溶液的重量百分濃度，再和從網路上查到的溶解度標準值做比較，其結果如下表(十)。

表(十) 預測氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)溶解度的相關數據

溶質 (測量時室溫)	氯化鈉 (25°C)			硝酸鉀 (25°C)			冰糖(蔗糖) (25.5°C)		
飽和溶液重量百分濃度 (溶解度)	26.48% (36.02g/100g 水)			27.01% (37.00g/100g 水)			67.33% (206.13g/100g 水)		
測得頻率 (Hz)	2194	2194	2193	2198	2198	2197	2239	2239	2238
平均頻率 (Hz)	2193.7			2197.7			2238.7		
實驗所測得趨勢線方程式	$y = 461.67x + 2075.8$			$y = 435x + 2078$			$y = 246.97x + 2076.5$		
預測飽和溶液重量百分濃度	25.53%			27.52%			65.68%		
誤差	3.59%			1.89%			2.45%		

(二)由上表可以知道，我們測出的氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)飽和溶液的重量百分濃度的誤差值都很小，代表使用這種測量方法來測量重量百分濃度是可行的。

七、由圖(十)中我們看到氯化鈉及硝酸鉀水溶液的頻率與莫耳濃度的圖形也都是接近直線，而且圖形趨勢線的  $R^2$  值也達 0.99 以上，代表使用這種方法來測量溶液的莫耳濃度似乎也是可行的。

為了驗證本實驗的正確性，所以我們做了以下實驗

(一)預測氯化鈉、硝酸鉀的莫耳濃度

預先配製 1.2M 的氯化鈉水溶液及硝酸鉀水溶液，並分別測量這二種溶液的頻率，然後將頻率代入圖(十)中溶液的趨勢線方程式並推算這二種溶液的莫耳濃度，其結果如下表(十一)。

表(十一) 預測氯化鈉、硝酸鉀莫耳濃度的相關數據

溶 液	1.2M 氯化鈉溶液			1.2M 硝酸鉀溶液		
測得頻率 (Hz)	2109	2108	2109	2125	2126	2127
平均頻率 (Hz)	2108.7			2126		
實驗所測得趨勢線方程式	$y=22.978x+2078.6$			$y=33.143x+2081.6$		
預測溶液的莫耳濃度	1.31M			1.34M		
誤 差	9.17%			11.67%		

(二)在圖(十)中我們可以看到氯化鈉及硝酸鉀水溶液的頻率與莫耳濃度的圖形都有著明顯的線性關係，但是利用圖形中趨勢線方程式所預測出來的莫耳濃度誤差卻比較大，而造成誤差究竟是因為實驗方法、器材或過程所產生的，還是有其他原因，需要日後再進一步的探討。

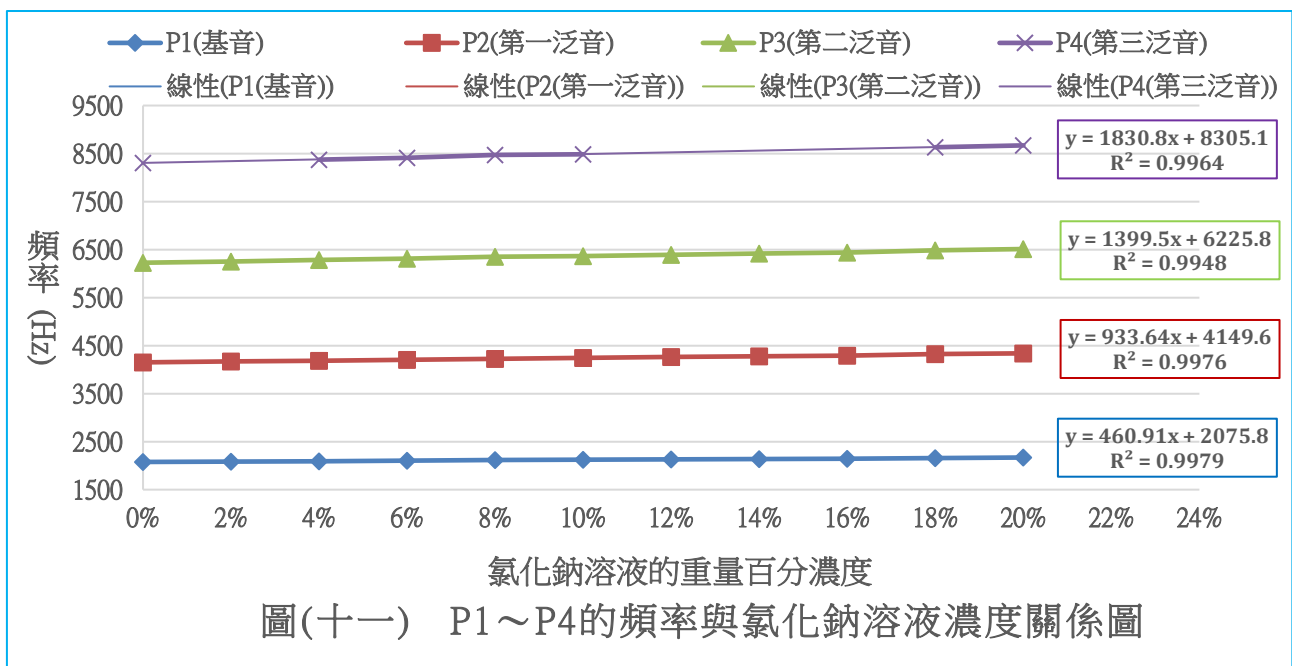
#### 八、是否能以泛音取代基音做為濃度預測的依據

(一)從測得的氯化鈉溶液頻譜圖中找出 50g 不同濃度氯化鈉水溶液的基音及第一～第三泛音(即 P1～P4)的頻率大小，其數據如下表(十二)，並將 P1～P4 的頻率大小與氯化鈉溶液的重量百分濃度繪製成關係圖，如下圖(十一)。

表(十二) 不同濃度的氯化鈉溶液所測得基音及第一～第三泛音之頻率

濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			
	P1	P2	P3	P4
0%	2077	4151	6226	8305
2%	2085	4170	6248	×
4%	2093	4185	6282	8373
6%	2102	4204	6313	8410
8%	2115	4226	6350	8469
10%	2122	4244	6364	8483
12%	2131	4261	6393	×
14%	2140	4279	6416	×
16%	2147	4292	6437	×
18%	2160	4322	6483	8634
20%	2169	4339	6511	8670
飽和溶液	2194	4387	6580	×

(表格中×代表無法測到頻率)



(二)再由圖(十一)中趨勢線的方程式來推測飽和氯化鈉水溶液的重量百分濃度，所得數據及結果如下表(十三)。

表(十三) 用基音及第一~第三泛音的頻率來預測氯化鈉溶解度的相關數據

	P1	P2	P3	P4
25°C 飽和溶液 重量百分濃度 (溶解度)	26.48% (36.02g/100g 水)			
飽和氯化鈉 水溶液的 頻率 (Hz)	2194	4387	6580	×
圖(十一)中 趨勢線方程式	$y=460.91x+2075.8$	$y=933.64x+4149.6$	$y=1399.5x+6225.8$	$y=1830.8x+8305.1$
預測飽和溶液 重量百分濃度	25.64%	25.43%	25.31%	×
誤差	3.17%	3.97%	4.42%	×

(三)由上表(十三)可以發現若改用第一~第三泛音的頻率來推測飽和氯化鈉水溶液的重量百分濃度時，其誤差值雖然都小於 5%，但都比用基音(P1)推測所得的誤差值大，而且還有逐漸變大的趨勢。另外第三泛音(P4)可能因為能量太小無法測到頻率，所以無法用來預測飽和氯化鈉水溶液的濃度。綜合以上原因用泛音取代基音做為濃度預測



的依據基本上是不適合的。

九、在圖(九)中，我們發現氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)水溶液這三種溶液的平均頻率與重量百分濃度關係圖中氯化鈉及硝酸鉀溶液的圖形幾乎重疊在一起，而且比冰糖(蔗糖)圖形的斜率還大。為了解這是否跟氯化鈉及硝酸鉀是電解質而冰糖(蔗糖)是非電解質有關，所以我們又做了以下實驗。

(一)配製不同重量百分濃度的葡萄糖、硫酸鈉與硝酸鉛水溶液，然後分別取 50g 置於 4 號杯中，並以圖(一)的實驗裝置測出聲音的頻率，所得數據如下表(十四)之 1~3。

表(十四)之 1 50g 不同濃度的葡萄糖水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2075	2078	2076.3
2%	2082	2083	2084	2083
4%	2087	2087	2088	2087.3
6%	2092	2093	2092	2092.3
8%	2101	2100	2100	2100.3
10%	2102	2104	2102	2102.7
12%	2109	2108	2108	2108.3
14%	2114	2114	2114	2114
16%	2120	2120	2120	2120
18%	2125	2124	2124	2124.3
20%	2128	2127	2127	2127.3

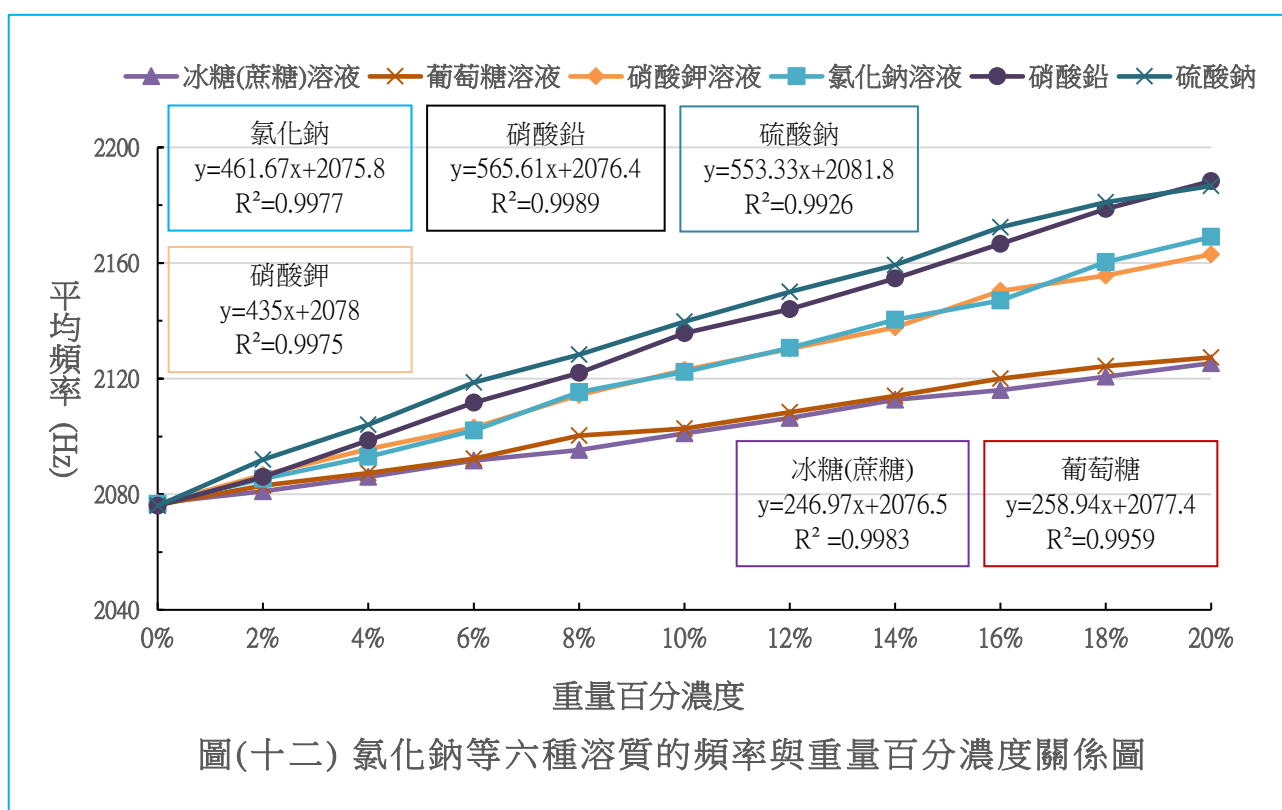
表(十四)之 2 50g 不同濃度的硫酸鈉水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2076	2076	2076
2%	2092	2092	2092	2092
4%	2104	2104	2104	2104
6%	2118	2119	2119	2118.7
8%	2129	2127	2129	2128.3
10%	2140	2139	2140	2139.7
12%	2149	2150	2151	2150
14%	2160	2160	2158	2159.3
16%	2173	2171	2173	2172.3
18%	2180	2181	2182	2181
20%	2187	2186	2187	2186.7

表(十四) 之 3 50g 不同濃度的硝酸鉛水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2077	2075	2076	2076
2%	2086	2085	2087	2086
4%	2099	2099	2098	2098.7
6%	2112	2111	2112	2111.7
8%	2122	2121	2123	2122
10%	2136	2136	2135	2135.7
12%	2144	2143	2145	2144
14%	2156	2154	2154	2154.7
16%	2167	2166	2167	2166.7
18%	2179	2179	2178	2178.7
20%	2188	2188	2189	2188.3

(二)將表(十四) 之 1~3 的數據加上氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)這三種水溶液的數據(即表(八) 之 1~3 的數據)合併繪製成關係圖，如下圖(十二)。



(三)由圖(十二)可以發現：

- 1.這六條曲線可分成三組，即冰糖(蔗糖)、葡萄糖為一組，氯化鈉、硝酸鉀一組，最後一組則是硫酸鈉與硝酸鉛。而且每一組的兩條圖形趨勢線的斜率幾乎相等，圖形幾

乎重疊。而且這三組溶質的斜率大小順序如下。

硫酸鈉、硝酸鉛 > 氯化鈉、硝酸鉀 > 冰糖(蔗糖)、葡萄糖。

2. 硫酸鈉與硝酸鉛為強電解質，而且每個分子在水中共可以解離出三個離子。



而氯化鈉、硝酸鉀也是強電解質，但每個分子在水中只能解離出二個離子。



另外冰糖(蔗糖)、葡萄糖則為非電解質，在水中無法解離。

所以這三組不同溶質，一個溶質分子在水中解離後粒子數的多寡順序如下。

硫酸鈉、硝酸鉛 > 氯化鈉、硝酸鉀 > 冰糖(蔗糖)、葡萄糖。

3. 綜合以上敘述，我們猜測這六種溶質的分組依據，可能跟每個溶質分子在水中解離後的粒子數有關，但確實原因為何，或者還有受到其他的因素影響，可能還需日後詳細研究探討。

4. 這三組圖形中，每一組兩條曲線的趨勢線斜率幾乎相等，所以這是否代表著使用這種測量法所測出的趨勢線斜率只跟溶質分子在水中解離後的粒子數有關，也就是說雖然是不同的溶質，但只要是一個溶質分子在水中解離後產生的粒子數相同者，其頻率與重量百分濃度關係圖中圖形的斜率就會相同，而且是不會受到溶質分子輕重或是大小的影響。但是這個部分同樣需要日後透過比較精確及詳細的實驗來做進一步的確認。

## 柒、結論

- 一、本實驗使用的杯子以高腳杯最合適，尤其是容量小的高腳杯。因為它具有以下的優點：
  - (一)摩擦後容易產生聲音、聲音的頻率較高，而且變化範圍大、解析度也比較高。
  - (二)可減少溶液的使用量。
  - (三)可減少或忽略溫度對頻率所造成的影響。
- 二、當裝入杯中的液體體積較少時(亦即液體容積佔有率較小)，摩擦所發出聲音的頻率會下降但幅度不大；相反的，當液體體積較多時(亦即液體容積佔有率較大)，摩擦所發出聲音的頻率下降幅度則較為明顯。以上這種頻率變化的趨勢和杯子的形狀、輕重、口徑大小、高矮、厚薄沒有關係，完全是玻璃杯本身的特性所造成的。所以想要在實驗中有較好的解析度或靈敏度時，液體容積佔有率應該要大於 0.5，而且大一點比較好。
- 三、用免費音樂剪輯軟體 AUDACITY 來測量頻率，並以固定溶液質量的方式來測量摩擦高腳杯所發出聲音的頻率，所得到頻率與重量百分濃度的實驗結果呈現高度的線性相關性，因此利用這種方法來測量重量百分濃度及溶解度是可行的，尤其相對於其他的化學測量法，本實驗不僅簡易、環保又符合綠色化學的概念。
- 四、葡萄糖、冰糖(蔗糖)、氯化鈉、硝酸鉀、硫酸鈉及硝酸鉛這六種溶質所測得的頻率與重量百分濃度的關係圖共分成三組，且每一組圖形的斜率都很接近。造成這種現象的原因經過初步判斷，我們認為可能和每一個溶質分子在水中解離後存在於溶液中的粒子數有關。

## 捌、參考資料

- 1.胡郁淇, 劉勝傑, 戴于傑 中華民國第52屆中小學科學展覽會參展作品專輯 國中組  
物理科 大珠小珠落一盤—出水端水滴體積的變化之研究 台灣科學教育館網站
- 2.杜洪齊, 黃彥瑜, 謝怡倫 中華民國第43屆中小學科學展覽會參展作品專輯 高中組  
物理科 流體交響樂 台灣科學教育館網站
- 3.王智楷, 陳冠文 臺灣2004年國際科學展覽會 物理科 酒杯發出之音符 台灣網路科教館
- 4.國中自然與生活科技 第三冊 翰林出版社
- 5.科學研習 SEP 2017 No.56-09 歌唱酒杯的猜想
- 6.Jiashun Yan, Na Zhao, Xiaofeng (2017) Discussion on Principle and Influence Factors of the Acoustic Excitation of the Wine Glasses. Applied Physics, 7(9), 283-292.

## 玖、未來展望

- 一、本實驗我們所使用的儀器都是最平常、最簡單的，所使用的軟體也是可以免費下載的聲音剪輯軟體，但也因此在準確度上可能未臻理想，若是能使用準確度較高的儀器或軟體，實驗結果應該會更加準確。
- 二、因為時間有限，所以我們只做六種不同溶質，若是有機會可以多測量幾種不同的溶質來驗證實驗的結論。
- 三、我們在網路上搜尋到一些關於摩擦酒杯產生聲音的理論，但是這些文獻都只有提到聲音頻率和液體密度之間的關聯性，對於聲音頻率和液體濃度之間的關係理論則付之闕如，而且因為我們目前所學及能力有限，所以無法在此對於頻率和濃度間的理論做出貢獻，未來若能配合理論來佐證，將使本實驗更加完整。
- 四、氯化鈉、硝酸鉀的頻率和莫耳濃度關係圖(即圖(十))雖然呈現線性關係，但是用來預測莫耳濃度，其結果卻不甚理想，而造成誤差太大的原因還需要詳細探究。
- 五、葡萄糖、冰糖(蔗糖)；氯化鈉、硝酸鉀；硫酸鈉及硝酸鉛這三組溶質，每一組中的溶質雖然不同，但是實驗所測得的頻率與與重量百分濃度關係圖中圖形的斜率都相當接近，其原因經過我們分析判斷，可能和每一個溶質分子在水中解離後存在於溶液中的粒子數有關，但確實原因還需要更進一步深入的研究探討。

## 【評語】 030108

本作品利用摩擦杯緣產生聲音，透過 AUDACITY 來測量共振頻率，並藉由分析此聲音的頻率來測量溶液濃度。所得到的結果呈現了共振頻率與重量百分濃度的高度線性相關，並可能與溶液中的離子數有關。藉由這樣的實驗能得出系統化的結論，相當出色！建議可以再對摩擦產生聲音的過程進行更定量化或穩定的控制，並針對離子解離的比例或是離子的種類去做量化實驗，會讓整個作品更加出色！

## 摘要

本實驗是藉摩擦裝有溶液的杯子產生聲音並探討何種杯子較適合本實驗之用，以及摩擦所產生聲音頻率和杯中所裝溶液濃度之間的關係，再用得到結果來預測和測量溶液的濃度及溶解度的大小。

## 壹、研究動機

某天我在廚房洗玻璃杯發現摩擦杯子會發出聲音，且音量竟然出人意料的大，於是就產生了利用摩擦杯緣產生聲音，並藉由分析此聲音的頻率來測量溶液濃度的想法，也因此引發本實驗之動機。

## 貳、研究目的

我們知道測量溶液濃度在化學上有很多不同的方法，但這些方法既費時又浪費藥品，所以想從摩擦杯緣產生聲音現象著手，找出一個簡單又環保的測量方法及流程來測量溶液的濃度大小。

## 參、研究設備及器材

電子天平(0.01g)	桌上型麥克風	電腦	量筒
鐵架	容量瓶	燒杯	滴管
溫度計	氯化鈉	硝酸鉀	台糖晶冰糖(蔗糖)
硝酸鉛	硫酸鈉	葡萄糖	蒸餾水
1 號杯 (高腳杯) (最大容量 248.0mL)	2 號杯 (高腳杯) (最大容量 277.0mL)	3 號杯 (可樂杯) (最大容量 270.5mL)	4 號杯 (高腳杯) (最大容量 77.0mL)
			
5 號杯 (50mL 燒杯) (最大容量 69.0mL)	6 號杯 (250mL 燒杯) (最大容量 310.0mL)		
			

## 肆、研究過程、結果與討論

### 研究一

如何用 AUDACITY 及 phyphox 軟體測出可代表摩擦杯子所產生聲音的頻率

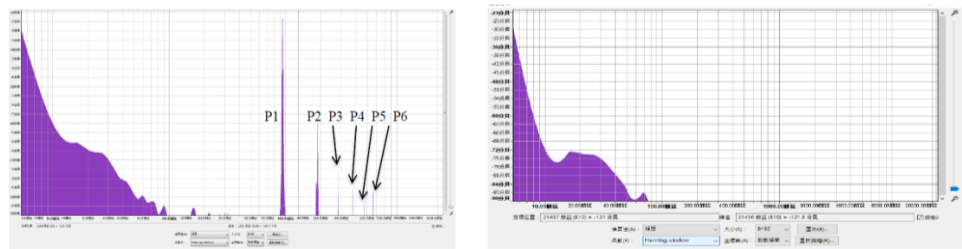
摩擦 1 號杯杯緣並以圖(一)裝置測量聲音的頻率



圖(一) 實驗儀器及設備圖

### 結果與討論

(一)圖(二)是摩擦 1 號杯所測得聲音的頻譜圖；而圖(三)是背景噪音的頻譜圖。



圖(二) 摩擦 1 號杯杯緣所測得聲音的頻譜圖

圖(三) 背景噪音的頻譜圖

➡圖(二)右側的峰線就是摩擦杯子所產生的。  
(二)圖(二)中 P1~P6 的頻率及倍數關係，如下表(一)。

表(一) 頻譜圖中 P1~P6 的頻率數據

編號	P1	P2	P3	P4	P5	P6
頻率(Hz)	940	1880	2820	3760	4702	5641
各峰線的頻率+P1 頻率	1.000	2.000	3.000	4.000	5.002	6.001

➡P1 是基音，而 P2~P6 是泛音。

(三)以 AUDACITY 軟體及手機 app phyphox 測得聲音頻率對照表，如表(二)。

表(二) 用 AUDACITY 及 phyphox 軟體測得聲音頻率對照表

實驗次數	1	2	3
以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)	940	940	940
以 phyphox 軟體測得的頻率(Hz)	943.36	943.36	943.36

➡以 phyphox 測得聲音頻率較大且測量時不易判讀數據。

(四)雖然手機體積小且攜帶方便，但就正確性與操作便利性來比較，用 AUDACITY 軟體來測量頻率比較可行與可靠。

另外用 AUDACITY 所測得的聲音頻率中我們選擇用能量最高且最明顯、最容易判讀的基音來代表摩擦杯子所產生聲音的頻率。

### 研究二

使用不同的杯子並在杯子中裝入不同體積蒸餾水時聲音頻率的變化

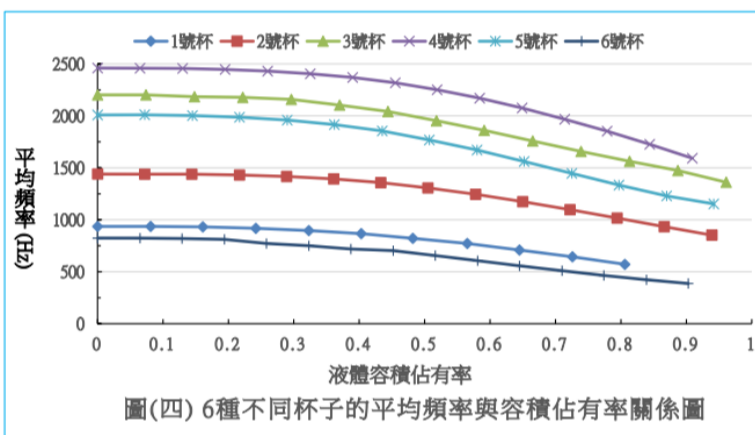
### 結果與討論

(一)實驗結果如表(三)之 1~3 及圖(四)。

表(三)之 1 在 1 及 2 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率				表(三)之 2 在 3 及 4 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率			
1 號杯(最大容積 248.0 mL)		2 號杯(最大容積 277.0 mL)		3 號杯(最大容積 270.5 mL)		4 號杯(最大容積 77.0 mL)	
蒸餾水體積 (mL)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	容積佔有率	蒸餾水體積 (mL)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	容積佔有率
0	0	937	0	0	2200	2200	0
20	0.081	937	0.081	20	0.074	2200	0.074
40	0.161	937	0.161	40	0.148	2187	0.148
60	0.242	937	0.242	60	0.222	2178	0.222
80	0.323	896	0.323	80	0.286	2157	0.286
100	0.403	867	0.403	100	0.370	2103	0.370
120	0.482	822	0.482	120	0.444	2041	0.444
140	0.565	771	0.565	140	0.518	1954	0.518
160	0.645	709	0.645	160	0.591	1859	0.591
180	0.726	645	0.726	180	0.665	1757	0.665
200	0.806	572	0.806	200	0.739	1657	0.739

表(三)之 3 在 5 及 6 號杯中裝入不同體積蒸餾水後測得的頻率

5 號杯(最大容積 69.0 mL)				6 號杯(最大容積 310.0 mL)			
蒸餾水體積 (mL)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	容積佔有率	蒸餾水體積 (mL)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	容積佔有率
0	0	2012	0	0	824	824	0
5	0.072	2007	0.072	5	0.065	823	0.065
10	0.145	2004	0.145	10	0.129	820	0.129
15	0.217	1985	0.217	15	0.194	812	0.194
20	0.290	1960	0.290	20	0.258	797	0.258
25	0.362	1916	0.362	25	0.323	751	0.323
30	0.435	1854	0.435	30	0.387	719	0.387
35	0.507	1766	0.507	35	0.452	702	0.452
40	0.580	1673	0.580	40	0.516	657	0.516
45	0.652	1561	0.652	45	0.581	606	0.581
50	0.725	1446	0.725	50	0.645	557	0.645
55	0.797	1334	0.797	55	0.710	510	0.710
60	0.870	1230	0.870	60	0.774	464	0.774
65	0.942	1135	0.942	65	0.839	424	0.839
70	1.015	1048	1.015	70	0.903	386	0.903



圖(四) 6種不同杯子的平均頻率與容積佔有率關係圖

(二)圖(四)中顯示當液體容積佔有率較小時，摩擦所發出聲音的頻率變化不大；相反的當液體容積佔有率愈大時，聲音頻率變化的幅度則比較大。

還有這五條曲線形狀相似度非常高，我們推測這種頻率的變化趨勢完全是玻璃杯本身的特性所造成的。

### 研究三

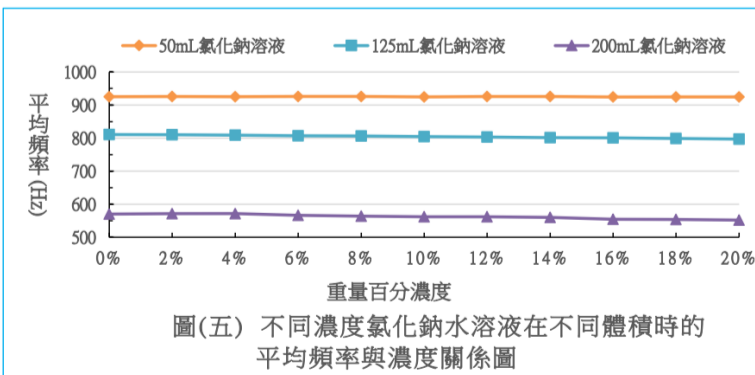
溶液濃度是否會影響聲音頻率

### 結果與討論

(一)實驗結果如下表(四)及圖(五)。

表(四) 不同濃度氯化鈉水溶液以不同體積裝入 1 號杯中測得的頻率

重量百分濃度	50mL 氯化鈉水溶液				125mL 氯化鈉水溶液				200mL 氯化鈉水溶液			
	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)	平均頻率 (Hz)				
0%	926	925	811	810	570	570	926	925	811	810	570	570
2%	925	926	810	811	571	571	925	926	810	811	571	572
4%	925	926	809	809	572	572	925	925	808	808	571	571
6%	926	926	807	808	567	567	926	926	807	807	565	566
8%	926	926	807	806	564	563	926	926	806	806	565	564
10%	925	925	804	805	562	563	924	924	804	804	562	563
12%	926	926	803	803	562	563	925	925	803	803	562	563
14%	926	925	801	802	561	560	926	925	801	801	560	560
16%	925	924	801	800	555	554	924	924	801	800	555	554
18%	924	925	799	799	555	554	925	925	799	799	555	554
20%	925	924	797	797	552	552	925	924	797	797	552	552



(二)由表(四)及圖(五)中我們可以發現：

- 1 當液體容積佔有率較大時，摩擦所造成的聲音頻率是有可能做為分辨濃度的依據的。
- 2 我們推測若是要使用此類方法來測量溶液的濃度，液體容積佔有率應大於 0.5 以上，頻率的變化程度才會較明顯。

## 研究四

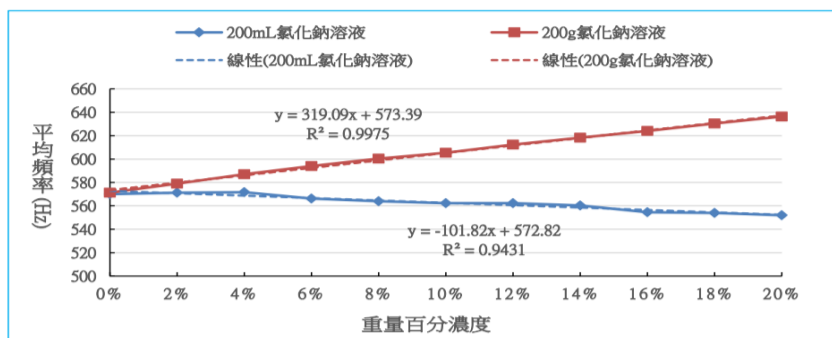
### 在固定體積或固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉水溶液的聲音頻率變化

#### 結果與討論

(一)實驗結果如下表(五)及圖(六)。

表(五) 不同濃度氯化鈉溶液以固定體積或固定質量方式在 1 號杯中測得的頻率

200mL 氯化鈉溶液					200g 氯化鈉溶液				
重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)	重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率 (Hz)			平均頻率 (Hz)
0%	570	570	570	570	0%	572	571	571	571.3
2%	571	571	572	571.3	2%	579	579	579	579.0
4%	572	572	571	571.7	4%	588	587	586	587.0
6%	567	567	565	566.3	6%	594	594	594	594.0
8%	564	563	565	564	8%	600	601	600	600.3
10%	562	563	562	562.3	10%	606	605	605	605.3
12%	562	563	562	562.3	12%	612	613	612	612.3
14%	561	560	560	560.3	14%	619	618	618	618.3
16%	555	554	555	554.7	16%	624	624	624	624.0
18%	555	554	553	554	18%	630	631	630	630.3
20%	552	552	552	552	20%	636	637	636	636.3



圖(六) 在固定體積或固定質量兩種不同測量法下所測得平均頻率與氯化鈉溶液濃度的關係圖

(二)從圖(六)中可以看到：

- 1 固定體積測出頻率的圖形較無規律性，而固定質量方式繪出的圖形卻近似直線。這可能是因為電子天平的準確度較量筒高造成的。
- 2 固定質量且液體容積佔有率超過 0.5 的情況下用此實驗法來測量濃度是可行的。

## 研究五

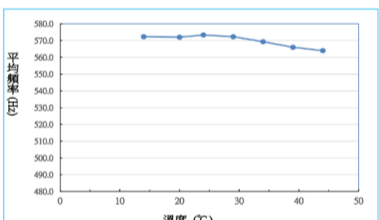
### 溫度對聲音頻率的影響

#### 結果與討論

(一)此實驗結果如下表(六)、表(七)及圖(七)、圖(八)。

表(六) 200g 水在不同溫度時測得的頻率(1 號杯)

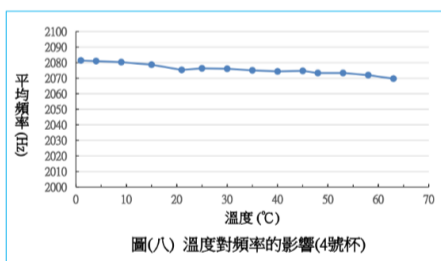
溫度(°C)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
44	564	564	564	564
39	566	566	566	566
34	570	569	569	569.3
29	572	572	573	572.3
24	574	573	573	573.3
20	572	572	572	572
14	572	572	573	572.3



圖(七) 溫度對頻率的影響(1號杯)

表(七) 50g 水在不同溫度時測得的頻率(4 號杯)

溫度(°C)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
63	2069	2071	2069	2069.7
58	2072	2073	2071	2072
53	2073	2073	2074	2073.3
48	2073	2073	2074	2073.3
45	2074	2075	2075	2074.7
40	2075	2073	2075	2074.3
35	2075	2075	2075	2075
30	2076	2075	2077	2076
25	2076	2075	2078	2076.3
21	2077	2075	2074	2075.3
15	2078	2079	2079	2078.7
9	2080	2080	2081	2080.3
4	2081	2081	2081	2081
1	2080	2082	2082	2081.3



圖(八) 溫度對頻率的影響(4號杯)

(二)從圖(七)及圖(八)中可以看到：

- 1 溫度會影響容積較大高腳杯所產生聲音的頻率，尤其是高溫時。
- 2 溫度對容積較小高腳杯所產生聲音頻率的影響不大可以忽略。為了避免溫度產生干擾可以使用容積較小的 4 號杯來做實驗。

## 研究六

### 固定質量下測不同重量百分濃度氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)溶液產生的聲音頻率

#### 結果與討論

(一)此實驗結果如下表(八)之 1~3 及圖(九)。

表(八)之 1 50g 不同濃度的氯化鈉水溶液測得的頻率數據

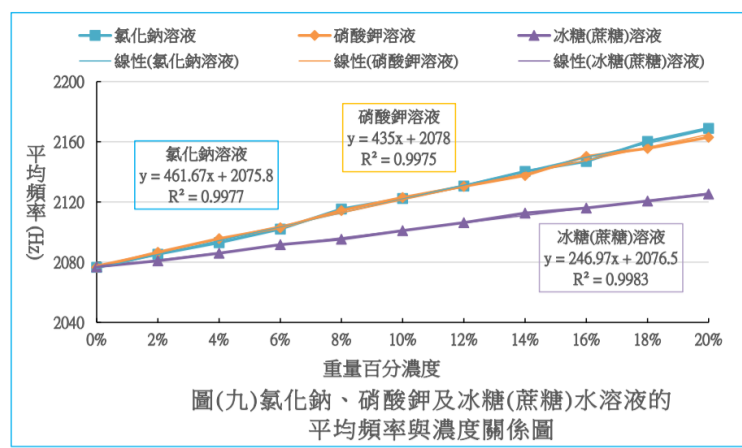
重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2077	2076.7
2%	2085	2085	2086	2085.3
4%	2094	2093	2092	2093
6%	2102	2102	2102	2102
8%	2115	2115	2116	2115.3
10%	2122	2122	2123	2122.3
12%	2131	2130	2131	2130.7
14%	2141	2140	2140	2140.3
16%	2146	2148	2147	2147
18%	2160	2161	2160	2160.3
20%	2169	2169	2169	2169

表(八)之 2 50g 不同濃度的硝酸鉀水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2077	2076.7
2%	2086	2087	2087	2086.7
4%	2095	2096	2096	2095.7
6%	2103	2103	2103	2103
8%	2114	2115	2114	2114.3
10%	2122	2123	2124	2123
12%	2131	2130	2130	2130.3
14%	2137	2138	2138	2137.7
16%	2150	2151	2150	2150.3
18%	2155	2156	2156	2155.7
20%	2163	2163	2163	2163

表(八)之 3 50g 不同濃度的冰糖(蔗糖)水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0%	2076	2077	2078	2077
2%	2082	2080	2081	2081
4%	2086	2087	2085	2086
6%	2092	2092	2091	2091.7
8%	2095	2095	2096	2095.3
10%	2101	2102	2100	2101
12%	2106	2107	2106	2106.3
14%	2113	2112	2113	2112.7
16%	2117	2115	2116	2116
18%	2120	2121	2121	2120.7
20%	2126	2126	2124	2125.3



圖(九)氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)水溶液的平均頻率與濃度關係圖

►我們做出的實驗數據呈明顯的線性關係，因此可以作為預測濃度的依據。

(二)為了驗證本實驗的正確性，所以我們做了預測氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)的溶解度的實驗，而實驗結果如表(十)。

表(十) 預測氯化鈉、硝酸鉀及冰糖(蔗糖)溶解度的相關數據

溶質 (測量時室溫)	氯化鈉 (25°C)	硝酸鉀 (25°C)	冰糖(蔗糖) (25.5°C)
飽和溶液重量百分濃度 (溶解度)	26.48% (36.02g/100g 水)	27.01% (37.00g/100g 水)	67.3% (206.13g/100g 水)
測得頻率 (Hz)	2194	2193	2198
平均頻率 (Hz)	2193.7	2197.7	2238.7
實驗所測得趨勢線方程式	$y = 461.67x + 2075.8$	$y = 435x + 2078$	$y = 246.97x + 2076.5$
預測飽和溶液重量百分濃度	25.53%	27.52%	65.7%
誤差	3.59%	1.89%	2.38%

►預測結果誤差都小於 5%，因此我們認為可以使用這種方式來預測氯化鈉、硝酸鉀及冰糖水溶液的重量百分濃度。

## 研究七

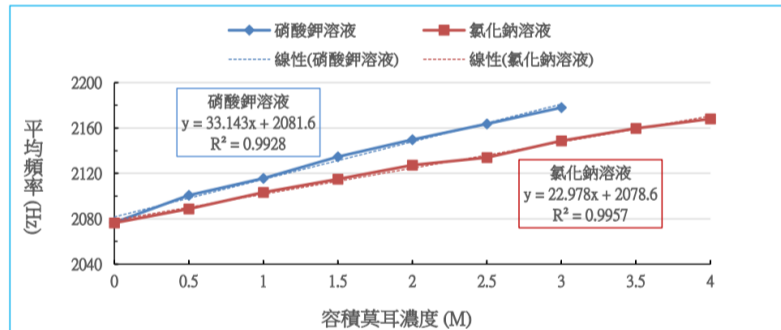
### 在固定質量下測量不同容積莫耳濃度氯化鈉及硝酸鉀水溶液產生聲音的頻率

#### 結果與討論

(一)此實驗結果如下表(九)及圖(十)。

表(九) 50g 不同莫耳濃度的氯化鈉及硝酸鉀水溶液測得的頻率數據

50g 氯化鈉水溶液					50g 硝酸鉀水溶液				
莫耳濃度 (M)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)	莫耳濃度 (M)	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
0	2076	2076	2077	2076.3	0	2101	2101	2100	2100.7
0.5	2089	2089	2088	2088.7	0.5	2116	2115	2116	2115.7
1.0	2103	2104	2103	2103.3	1.0	2135	2134	2135	2134.7
1.5	2115	2115	2115	2115	1.5	2150	2150	2149	2149.7
2.0	2126	2128	2128	2127.3	2.0	2163	2163	2165	2163.7
2.5	2134	2134	2134	2134	2.5	2178	2178	2178	2178
3.0	2150	2148	2148	2148.7	3.0	2187	2187	2187	2187
3.5	2160	2160	2159	2159.7					
4	2168	2169	2167	2168					



圖(十) 氯化鈉、硝酸鉀溶液的平均頻率與容積莫耳濃度關係圖

►圖(十)中氯化鈉及硝酸鉀水溶液的圖形也都是接近直線，而且圖形的  $R^2$  也達 0.99 以上，這代表兩種溶液所測得的頻率都和濃度也存在著線性關係。

(二)為了驗證本實驗的正確性，所以我們做了預測氯化鈉、硝酸鉀莫耳濃度的實驗，而實驗結果如表(十一)。

表(十一) 預測氯化鈉、硝酸鉀莫耳濃度的相關數據

溶液	1.2M 氯化鈉溶液			1.2M 硝酸鉀溶液		
測得頻率 (Hz)	2109	2108	2109	2125	2126	2127
平均頻率 (Hz)	2108.7			2126		
實驗所測得趨勢線方程式	$y = 22.978x + 2078.6$			$y = 33.143x + 2081.6$		
預測溶液的莫耳濃度	1.31M			1.34M		
誤差	9.0%			11.6%		

►利用圖(十)中趨勢線方程式所預測出來的莫耳濃度誤差比較大，造成誤差究竟是因為實驗方法、器材或過程所產生的，還是有其他原因，需要進一步的探討。

## 研究八

### 是否能以泛音取代基音做為濃度預測的依據

#### 結果與討論

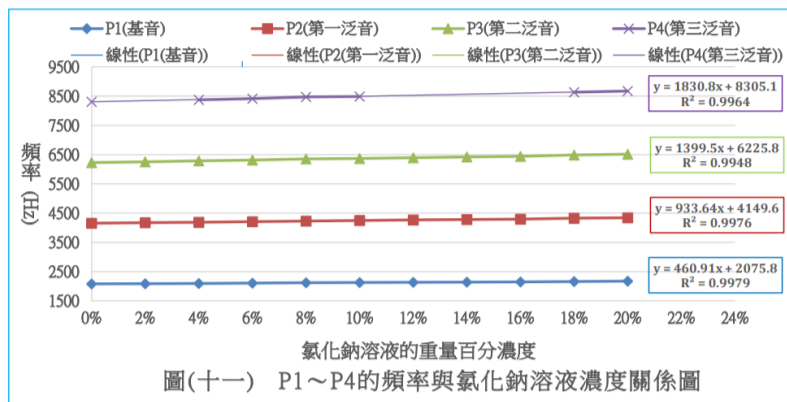


(一)此實驗結果如下表(十二)、表(十三)及圖(十一)。

表(十二) 不同濃度的氯化鈉溶液所測得基音及第一~第三泛音之頻率

濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			
	P1	P2	P3	P4
0%	2077	4151	6226	8305
2%	2085	4170	6248	×
4%	2093	4185	6282	8373
6%	2102	4204	6313	8410
8%	2115	4226	6350	8469
10%	2122	4244	6364	8483
12%	2131	4261	6393	×
14%	2140	4279	6416	×
16%	2147	4292	6437	×
18%	2160	4322	6483	8634
20%	2169	4339	6511	8670
飽和溶液	2194	4387	6580	×

(表格中×代表無法測到頻率)



圖(十一) P1~P4的頻率與氯化鈉溶液濃度關係圖

表(十三) 用基音及第一~第三泛音的頻率來預測氯化鈉溶解度的相關數據

	P1	P2	P3	P4
25°C飽和溶液重量百分濃度(溶解度)	26.48% (36.02g/100g 水)			
飽和氯化鈉水溶液的頻率 (Hz)	2194	4387	6580	×
圖(十一)中趨勢線方程式	$y=460.91x+2075.8$	$y=933.64x+4149.6$	$y=1399.5x+6225.8$	$y=1830.8x+8305.1$
預測飽和溶液重量百分濃度	25.64%	25.43%	25.31%	×
誤差	3.17%	3.97%	4.42%	×

(二)由上表可知用基音(P1)推測所得的誤差值最小，所以用泛音取代基音做為濃度預測的依據基本上是不適合的。

## 研究九

在固定質量下測量不同重量百分濃度葡萄糖、硫酸鈉及硝酸鉛水溶液產生聲音的頻率

### 結果與討論

(一)實驗結果如下表(十四)之1~3及圖(十二)。

表(十四)之1 50g不同濃度的葡萄糖水溶液測得的頻率數據

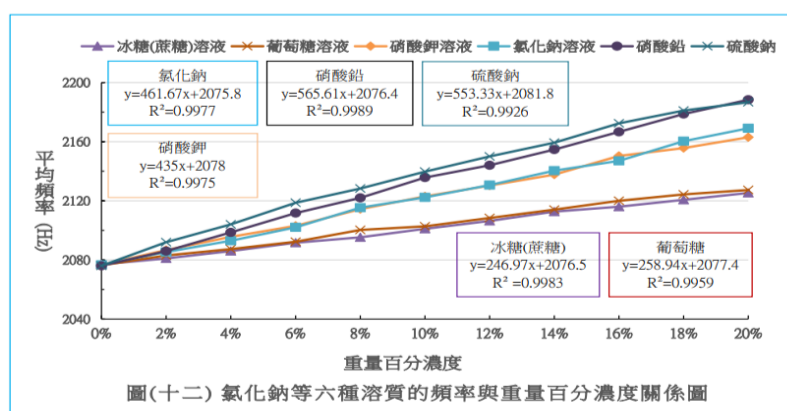
重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
	1	2	3	
0%	2076	2075	2078	2076.3
2%	2082	2083	2084	2083
4%	2087	2087	2088	2087.3
6%	2092	2093	2092	2092.3
8%	2101	2100	2100	2100.3
10%	2102	2104	2102	2102.7
12%	2109	2108	2108	2108.3
14%	2114	2114	2114	2114
16%	2120	2120	2120	2120
18%	2125	2124	2124	2124.3
20%	2128	2127	2127	2127.3

表(十四)之2 50g不同濃度的硫酸鈉水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
	1	2	3	
0%	2076	2076	2076	2076
2%	2092	2092	2092	2092
4%	2104	2104	2104	2104
6%	2118	2119	2119	2118.7
8%	2129	2127	2129	2128.3
10%	2140	2139	2140	2139.7
12%	2149	2150	2151	2150
14%	2160	2160	2158	2159.3
16%	2173	2171	2173	2172.3
18%	2180	2181	2182	2181
20%	2187	2186	2187	2186.7

表(十四)之3 50g不同濃度的硝酸鉛水溶液測得的頻率數據

重量百分濃度	以 AUDACITY 軟體測得的頻率(Hz)			平均頻率(Hz)
	1	2	3	
0%	2077	2075	2076	2076
2%	2086	2085	2087	2086
4%	2099	2099	2098	2098.7
6%	2112	2111	2112	2111.7
8%	2122	2121	2123	2122
10%	2136	2136	2135	2135.7
12%	2144	2143	2145	2144
14%	2156	2154	2154	2154.7
16%	2167	2166	2167	2166.7
18%	2179	2179	2178	2178.7
20%	2188	2188	2189	2188.3



圖(十二) 氯化鈉等六種溶質的頻率與重量百分濃度關係圖

(二)葡萄糖、冰糖、氯化鈉、硝酸鉀、硫酸鈉及硝酸鉛這六種溶質的圖形分成三組，我們猜測這六種溶質的分組依據，可能跟每個溶質分子在水中解離後的粒子數有關。

## 伍、結論

一、本實驗使用的杯子以高腳杯最合適，尤其是容量小的高腳杯。因為它具有以下的優點：

- (一)摩擦後容易產生聲音，聲音的頻率較高，而且變化範圍大、解析度也比較高。
- (二)可減少溶液的使用量。
- (三)可減少或忽略溫度對頻率所造成的影響。

二、當裝入杯中的液體體積較少時(亦即液體容積佔有率較小)，摩擦所發出聲音的頻率會下降但幅度不大；相反的，當液體體積較多時(亦即液體容積佔有率較大)，摩擦所發出聲音的頻率下降幅度則較為明顯。以上這種頻率變化的趨勢和杯子的形狀、輕重、口徑大小、高矮、厚薄沒有關係，完全是玻璃杯本身的特性所造成的。所以想要在實驗中有較好的解析度或靈敏度時，液體容積佔有率應該要大於0.5，而且大一點比較好。

三、用免費音樂剪輯軟體 AUDACITY 來測量頻率，並以固定溶液質量的方式來測量摩擦高腳杯所發出聲音的頻率，所得到頻率與重量百分濃度的實驗結果呈現高度的線性相關性，因此利用這種方法來測量重量百分濃度及溶解度是可行的，尤其相對於其他的化學測量法，本實驗不僅簡易、環保又符合綠色化學的概念。

四、葡萄糖、冰糖(蔗糖)、氯化鈉、硝酸鉀、硫酸鈉及硝酸鉛這六種溶質所測得的頻率與重量百分濃度的關係圖共分成三組，且每一組圖形的斜率都很接近。造成這種現象的原因經過初步判斷，我們猜測可能和每一個溶質分子在水中解離後存在於溶液中的粒子數有關。

## 陸、參考文獻

1. 胡郁淇, 劉勝傑, 戴于傑 中華民國第52屆中小學科學展覽會參展作品專輯 國中組 物理科 大珠小珠落一盤—出水端水滴體積的變化之研究 台灣科學教育館網站
2. 杜洪齊, 黃彥瑜, 謝怡倫 中華民國第43屆中小學科學展覽會參展作品專輯 高中組 物理科 流體交響樂 台灣科學教育館網站
3. 王智楷, 陳冠文 臺灣2004年國際科學展覽會 物理科 酒杯發出之音符 台灣網路科教館
4. 國中自然與生活科技 第三冊 翰林出版社
5. 科學研習 SEP 2017 No.56-09 歌唱酒杯的猜想
6. Jiashun Yan, Na Zhao, Xiaofeng (2017) Discussion on Principle and Influence Factors of the Acoustic Excitation of the Wine Glasses. Applied Physics, 7(9), 283-292.

## 柒、未來展望

一、本實驗我們所使用的儀器都是最平常、最簡單的，所使用的軟體也是可以免費下載的聲音剪輯軟體，但也因此在準確度上可能未臻理想，若是能使用準確度較高的儀器或軟體，實驗結果應該會更加準確。

二、因為時間有限，所以我們只做六種不同溶質，若是有機會可以多測量幾種不同的溶質來驗證實驗的結論。

三、我們在網路上搜尋到一些關於摩擦酒杯產生聲音的理論，但是這些文獻都只有提到聲音頻率和液體密度之間的關聯性，對於聲音頻率和液體濃度之間的關係理論則付之闕如，而且因為我們目前所學及能力有限，所以無法在此對於頻率和濃度間的理論做出貢獻，未來若能配合理論來佐證，將使本實驗更加完整。

四、氯化鈉、硝酸鉀的頻率和莫耳濃度關係圖(即圖(十))雖然呈現線性關係，但是用來預測莫耳濃度，其結果卻不甚理想，而造成誤差太大的原因還需要詳細研究。

五、葡萄糖、冰糖(蔗糖)；氯化鈉、硝酸鉀；硫酸鈉及硝酸鉛這三組溶質，每一組中的溶質雖然不同，但是實驗所測得的頻率與重量百分濃度關係圖中圖形的斜率都相當接近，其原因經過我們分析判斷，可能和每一個溶質分子在水中解離後存在於溶液中的粒子數有關，但確實原因還需要更進一步深入的研究探討。