

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

佳作

081516

叮叮咚咚音樂秀

屏東縣鹽埔鄉鹽埔國民小學

作者姓名：

小六 楊汭翰 小六 陳品宏 小四 黃新穎
小四 黃意婷 小四 趙悅伶

指導老師：

李采衷 鄭善民

叮叮咚咚音樂秀

壹、摘要：

五年級時學過「製作玩具樂器」單元，對於樂器科學原理有了初步的認識。在平時，也可以看到一些玻璃杯音樂的表演，我們不禁好奇：為何可以隨手拿著一個玻璃杯便進行音樂演奏？因此以一連串的研究，仔細探究原因。

我們將蒐集來的玻璃杯，利用調音器及量筒調整杯中溶液的量，以瞭解在各種情形下敲擊玻璃杯聲音所發出聲音的高低情形。研究結果發現：「重量」是決定音高的最主要關鍵。欲使音高變化一個二度，則：玻璃杯中的「水位高度」、「水量」或玻璃杯和液體的「重量」之變化達到「音程」的比例。利用這個結果，可以隨手拿起一個杯子，利用簡單的量筒及磅秤加以調音，玻璃杯就成為一種有趣的簡單樂器了。

壹、研究動機：

有一次，在電視中看見了一個有趣的表演：一位演出者利用幾個玻璃杯，裝入高低不同的水，竟然就能演奏出叮叮咚咚，相當美妙的音樂。看完後，我們深深的為這叮叮咚咚的音樂吸引，決定要一探究竟。

在五年級時，我們也曾上到「製作玩具樂器」單元，發現：事實上，各種樂器都有他們的科學原理，這讓我們不禁有點好奇：究竟是什麼因素影響

敲擊玻璃杯的聲音高低？到底要如何利用玻璃杯訂出音階，用以演奏出音樂？因此我們決定以此為主題，好好的研究一番。

貳、研究目的：

我們希望能取材生活中常見的玻璃杯，瞭解影響玻璃杯聲音高低的因素。同時，我們想更進一步地瞭解樂器的音階是如何決定的。希望在這個研究後，我們能以簡單的工具，為隨意一個玻璃杯，訂出音階，敲擊出音樂。

基於此構想，我們訂定研究目的如下：

1. 觀察敲擊各種玻璃杯發出的聲音。
2. 玻璃杯中水位變化與聲音音高的關係。
3. 玻璃杯中水量變化與聲音音高的關係。
4. 玻璃杯重量變化與聲音音高的關係。

參、研究器材及設備：

本研究所需之器材如下：

1. 各種不同的玻璃杯、馬克杯。
2. KORG 調音器（型號 DT-2）。
3. 錄音筆。
4. Gold Wave 5.06 版（音樂轉檔程式）。
5. 20 ml 針筒（代替量筒）。
6. 500 ml 量杯。
7. 一公斤磅秤。
8. 直尺。
9. 酒精。
10. 安靜無聲的環境

研究中所使用的玻璃杯是我們到處蒐集來的，其中有形狀規則的，也有不大規則形狀的，由於我們也想知道馬克杯和玻璃杯聲音有何差異。所以，也順便收集了兩個馬克杯。

另外，為了知道敲擊玻璃杯所發出的聲音究竟為何，我們使用調音器顯示音高，但調音器有一個缺點，就是只能顯示音名，以 Do 為例：在調音器中會顯示出 C，我們無法確定這個音究竟是中央 Do，還是高音 Do。因此，我們採用錄音筆錄音，並同時使用鋼琴錄製 3 個八度的音階，同時放入電腦，藉由 Gold Wave 5.06 這個音樂轉檔程式，我們可以同時聽到兩三組不同的聲音，這樣就可以比較出這個音究竟為何。同時，這個軟體也可以顯示聲音的波形，讓我們簡單觀察到聲音的波動，因此我們將它作為一個輔助工具，讓我們更瞭解敲擊玻璃杯的聲音。

為了避免外界雜音影響調音器及錄音筆的收音，因此必須選擇一個安靜的環境，並且反覆數次，以免受外界雜音干擾，影響結果。



研究一：敲擊各種玻璃杯所發出的聲音

器材：

1. 各種玻璃杯。
2. 一公斤磅秤。
3. 調音器。
4. 錄音筆。
5. 直尺。
6. Gold Wave 5.06

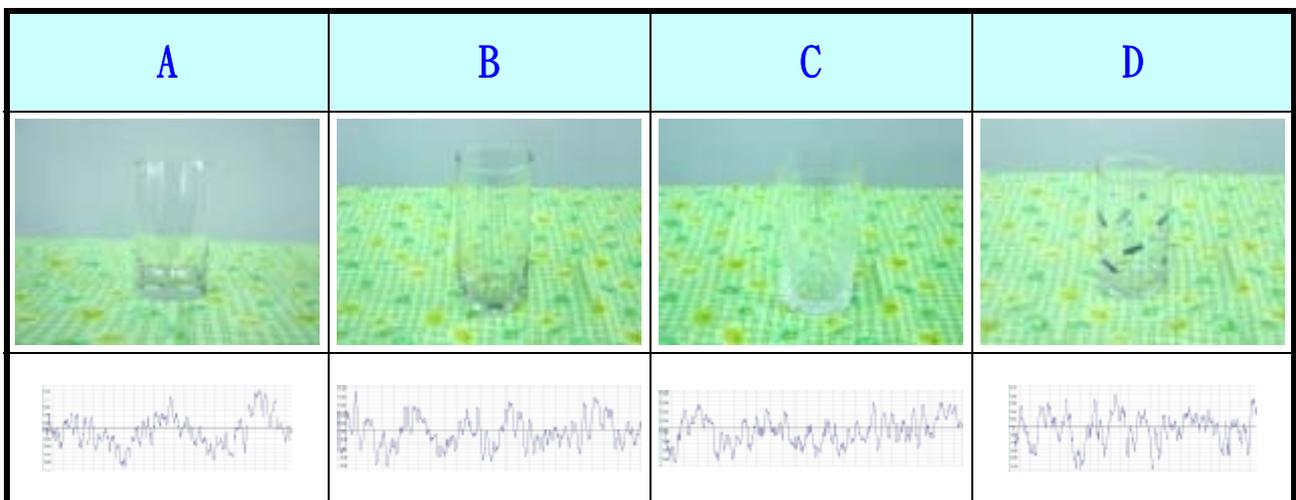


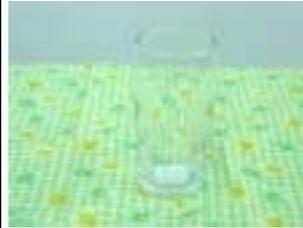
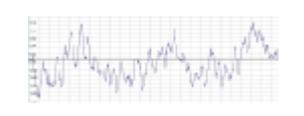
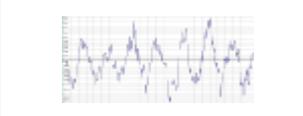
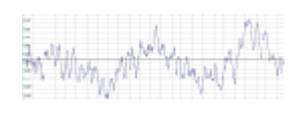
方法：

1. 測量並記錄各杯子的「杯壁厚度」、「高度」及「杯口直徑」、「重量」。
2. 輕敲各杯子，記錄調音器顯示的音高，並以錄音筆錄音。
3. 反覆數次，確認各個杯子的音高。
4. 將收錄的杯子聲音輸入電腦，以 Gold Wave 5.06 加以比對。

結果：

◆ 各種玻璃杯的聲音波形

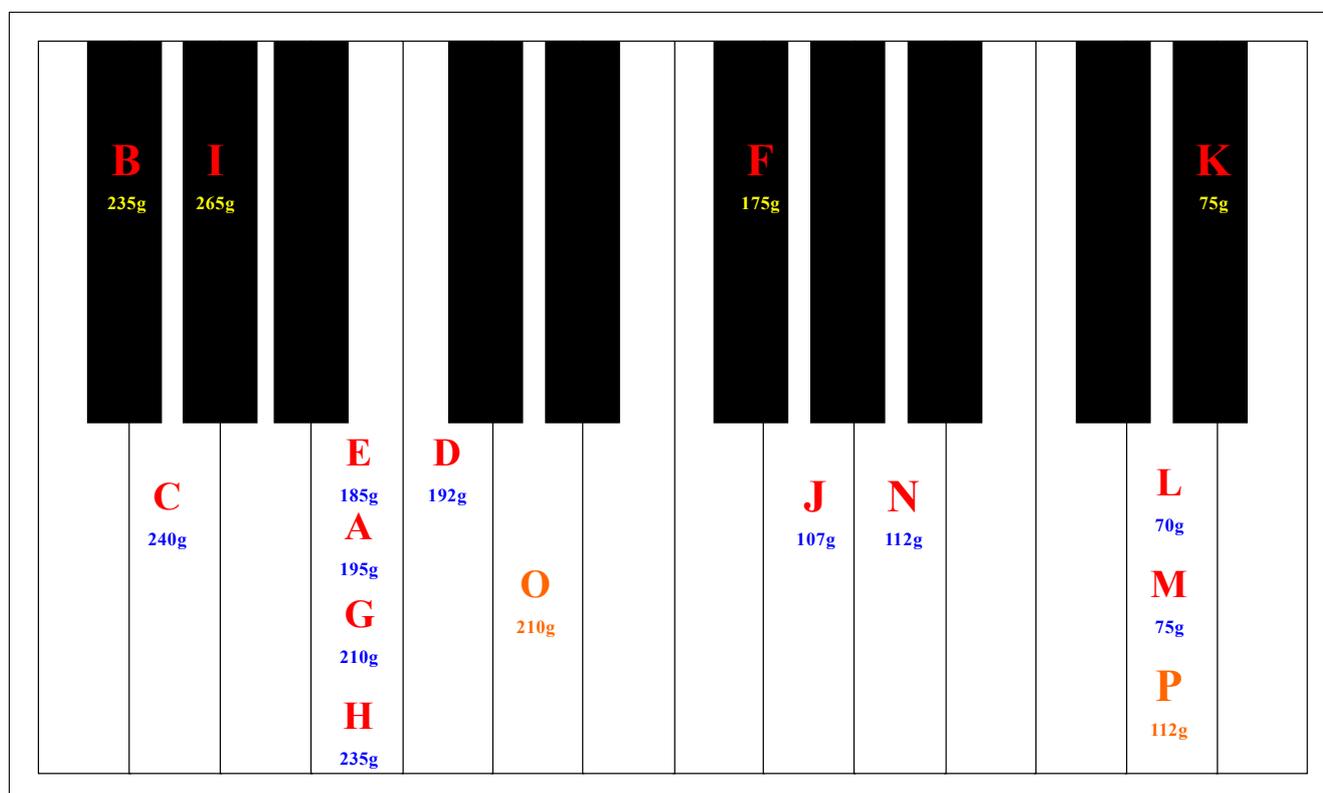


E	F	G	H
			
			
I	J	K	L
			
			
M	N	O	P
			
			

◆ 各種杯子的音高及基本資料：

	A	B	C	D	E	F	G	H
杯子重量 (g)	195	235	240	192	185	175	210	235
杯壁厚度 (mm)	2	2	1	2	2	1	2	2
杯口半徑 (cm)	3	3	3.2	3	3	4.2	4.3	3
杯子高度 (cm)	11	14.5	12	11	11	14	13.5	13.3
杯內高度 (cm)	10	13.5	11	10	10	13	12.5	12.3
音高	B	#F	G	C	B	#F	B	B
	I	J	K	L	M	N	O	P
杯子重量 (g)	265	107	75	70	75	112	210	112
杯壁厚度 (mm)	2	2	2	2	2	2	2	2
杯口半徑 (cm)	3.3	3.4	2.6	2.6	2.5	2.5	3.8	2.5
杯子高度 (cm)	14.5	6	5.5	5.5	5.5	10	9	10
杯內高度 (cm)	12.8	5	5	5	5	9	7.8	9
音高	#G	G	#D	D	D	A	D	D

◆ 與鋼琴聲音對照後，確定各杯子的音高，記錄在鍵盤上，則如下圖：



討論：

由於杯子並非專門的樂器，因此，調音器上顯示的音高，和實際的標準音高會略有偏低或偏高的現象。另外，即使聽起來相似，但不同的玻璃杯敲擊後，音高確實有微小的差異。經歸納整理後，我們發現：

1. 「K、L、M」三個杯子由於重量相近，因此所得到的音高也都大致接近；而「E、D、B、G」以及「H、A、C」兩組的杯子也有此情形出現。
2. 依據各杯子音高分佈的情形大致可以看出：「**重量輕的發出的聲音較高，重量重的發出的聲音較低。**」
3. 因此可以推定『重量』是影響敲擊玻璃杯發出的音高之一項重要因素。但微小的重量差距對於敲擊玻璃杯所發出的音高並沒有明顯的影響。
4. 除了C、F兩個杯子外，其餘個杯子杯壁厚度均為2mm，但音高卻差異甚大。因此，玻璃杯「杯壁厚度」似乎不是影響音高的關鍵因素。
5. O、P兩個馬克杯，均較相同重量的玻璃杯聲音的音高要高出許多，可能是因為材質不同的原因，但是由於我們收集的馬克杯數量不足，因此無法加以推測。

由以上結果可知：杯子的「重量」，是決定敲擊所發出音高的一個重要關鍵，因此我們決定藉由在玻璃杯裡面裝水，改變玻璃杯重量，試驗看看。

但是，杯子重量的改變，原因可能來自「水位高度」、「容量」及「重量」三方面，究竟其中的哪一項對聲音的改變最具影響？我們決定逐一加以檢驗。

研究二：玻璃杯中水位變化與聲音音高的關係

器材：

1. 編號 A、B、F、G、H、I 的玻璃杯。
2. 直尺。
3. 20 ml 針筒（去掉針頭）。
4. 調音器。



方法：

1. 將玻璃杯裝滿水，測量此時的水位高度，及音高。
2. 針筒緩緩抽出水，加以調節，直到水量使音高改變，測量並記錄此時的水位高度。
3. 重複步驟三，直到音高無法再發生任何改變為止。



結果：

◆ 編號 A 的玻璃杯：

全滿		抽水後					
水位高度 (cm)	10.3	音高	E	F	G	A	B
音高	#D	水位高度	9.3	8.5	7.2	6.15	3.75
水位高度比值			1.11	1.09	1.18	1.17	1.64

◆ 編號 B 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
水位高度	13.7	音高	A	B	C	D	E	F	#F
音高	G	水位高度	12.5	11.2	10.5	9.1	7.4	6.8	4
比值		1.1	1.12	1.07	1.2	1.23	1.09	1.7	

◆ 編號 F 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
水位高度	13	音高	G	A	B	C	D	E	F
音高	#G	水位高度	11.8	10.9	10	9.5	8.5	7.1	6
比值		1.10	1.08	1.09	1.05	1.12	1.20	1.18	

◆ 編號 G 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
水位高度	12.5	音高	D	E	F	G	A	B	
音高	#D	水位高度	11.3	10.2	9.7	8.4	6.8	2.3	
比值		1.11	1.11	1.05	1.15	1.23	2.96		

◆ 編號 H 的玻璃杯：

全滿		抽水後			
水位高度 (cm)	12.3	音高	F	G	A
音高	#F	水位高度	10.9	9.8	8.5
水位高度比值			1.13	1.11	1.15

◆ 編號 I 的玻璃杯：

全滿		抽水後					
水位高度	12.8	音高	C	D	E	F	G
音高	#C	水位高度	12.4	11.6	10.8	9.9	9.1
比值		1.03	1.07	1.07	1.09	1.09	

討論：

整理以上結果，我們發現：

1. 玻璃杯杯中的水位逐漸降低時，敲擊所發出得音高逐漸上升，顯示：「**水位降低、音高上升的現象**」。
2. 杯中的水位下降量並不大時，則不會顯現出其對於音高的影響。
3. 每次水位降低的量並無一個定值，也未具有明顯的關係。也就是說：每變化一個音高，其水位變化量並不一定。但是如果檢驗水位高度的比值，則大致接近 1.1。當我們進一步找到資料，發現，兩個音高之間的頻率震動比例就是「音程」，而音程的比值（如下表）：

音名	C	D	E	F	G	A	B	C ^ˊ
唱聲	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do ^ˊ
頻率	262	294	330	349	392	440	494	524
音程	$\frac{9}{8}$ (1.125)	$\frac{10}{9}$ (1.11)	$\frac{16}{15}$ (1.07)	$\frac{9}{8}$ (1.125)	$\frac{10}{9}$ (1.11)	$\frac{9}{8}$ (1.125)	$\frac{16}{15}$ (1.07)	

若將「音程」，與我們所得到的比值相比較，發現比 11 個接近我們所得的比值，整理如下：

	A 玻璃杯			B 玻璃杯		
	音高變化	比值	音程	音高變化	比值	音程
音高變化	E→F	1.09	1.07	G→A	1.1	1.11
	F→G	1.18	1.125	A→B	1.12	1.125
	G→A	1.17	1.11	B→C ^ˊ	1.07	1.07
	A→B	1.64	1.125	C ^ˊ →D ^ˊ	1.2	1.125
				D ^ˊ →E ^ˊ	1.23	1.11
				E ^ˊ →F ^ˊ	1.09	1.07

因此：

4. 每變化一個音高，杯中的水位變化量比例需達到「音程」的比例。
5. 在實驗中，杯中的水位不斷降低達到某一個固定音高之後，即使杯中的水位繼續降低，音高也不會改變，這與一般樂器相似，都有其音高變化的固定區域，也就是樂器的「音域」
6. 最初與最後幾組杯中水位變化量比值，誤差較大，依據我們的推想，可能原因有二：
 - (1) 玻璃杯本身在裝滿水後並非「標準音高」。
 - (2) 音域的限制。

因此，我們可以推論出計算變化一個音高後玻璃杯中的水位高度。

即：「公式：(原來水位高度) ÷ (音程的比例)」

但 A、B 兩玻璃杯是「形狀均勻」的，若為「F、G、H、I」這幾個形狀不大規則的玻璃杯，則玻璃杯中水位的變化比例會變得不規則，且和音程的比例差異變大：



音高變化	音程	F 杯比值	G 杯比值	H 杯比值	I 杯比值
C→D	1.125				1.03
D→E	1.11		1.11		1.07
E→F	1.07		1.11		1.07
F→G	1.125		1.05	1.13	1.09
G→A	1.11	1.10	1.15	1.11	1.09
A→B	1.125	1.08	1.24	1.15	
B→C´	1.07	1.09			
C´→D´	1.125	1.05			
D´→E´	1.11	1.12			
E´→F´	1.07	1.12			

所以，雖然玻璃杯的「水位變化」可以作為決定音階的方式，但「玻璃杯必需形狀規則」。

研究三：玻璃杯中水量與聲音音高的關係

器材：

1. 編號 A、B、F、G 的玻璃杯。
2. 20 ml 針筒。
3. 調音器。
4. 酒精。



方法：

1. 將玻璃杯裝滿水，記錄所需水量及音高。
2. 針筒緩緩抽出水，加以調節，直到改變一個音高為止，記錄抽出水量。
3. 重複步驟三、四，直到音高無法再發生任何改變為止。
4. 將杯中的「水量」相除求得比值，並加以記錄。
5. 改以酒精試驗。

結果：

◆ 編號 A 的玻璃杯：

全滿		抽水後					
水量 (ml)	236	音高	E	F	G	A	B
		抽出水量	10	20	35	28	60
音高	#D	杯中水量	226	206	171	143	83
比值			1.04	1.09	1.20	1.19	1.72

◆ 編號 B 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
水量 (ml)	360	音高	A	B	C	D	E	F	#F
		抽出水量	15	35	20	40	50	30	60
音高	G	杯中水量	345	310	290	250	200	170	110
比值		1.04	1.11	1.06	1.16	1.25	1.18	1.55	

◆ 編號 F 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
水量 (ml)	550	音高	G	A	B	C	D	E	F
		抽出水量	65	45	50	30	55	70	50
音高	#G	杯中水量	485	440	390	360	305	235	185
比值		1.13	1.10	1.13	1.08	1.18	1.30	1.27	

◆ 編號 G 的玻璃杯：

全滿		抽水後						
水量 (ml)	465	音高	D	E	F	G	A	B
		抽出水量	25	55	30	60	75	160
音高	#D	杯中水量	440	385	355	295	220	60
比值		1.06	1.14	1.09	1.20	1.34	3.67	

討論：

由以上結果，發現：

1. 玻璃杯中水量逐漸減少時，音高逐漸上升，當「水量變化」微小時，並不會對玻璃杯音高產生影響。
2. 每次「抽出的水量」及「剩餘的水量」並沒有明顯的關係。比值則接近 11，也與研究二中的音程資料接近：

音高變化	音程	A 杯比值	B 比值	F 杯比值	G 杯比值
D→E	1.11				1.14
E→F	1.07	1.09			1.09
F→G	1.125	1.20			1.20
G→A	1.11	1.19		1.10	1.34
A→B	1.125	1.72	1.11	1.13	3.67
B→C´	1.07		1.06	1.08	
C´→D´	1.125		1.16	1.18	
D´→E´	1.11		1.25	1.30	
E´→F´	1.07		1.18	1.27	

由此，欲變化一個音高，需使水量變化的比例達「音程」比例。我們可以以此推論出計算變化一個 2 度音高後玻璃杯中的水位高度。

即：「公式：(原來玻璃杯中水量) ÷ (音程的比例)」

我們在研究中使用的是「水」，但是我們不禁有些好奇：若是換成其他溶液時溶液的容量變化比值，是否也會與音程近似？

因此，我們將杯中的水換成換成以酒精加以試驗，發現：

3. 同樣的容量時，裝酒精時敲擊玻璃杯的音高會比裝水時高。
4. 裝酒精後，變化一個音高，杯內容量的變化比例變得很不規則，且比值與「音程」差異較大，將結果整理如表：



音高變化	音程	A 杯比值	B 杯比值	F 杯比值	G 杯比值
D→E	1.11				1.06
E→F	1.07	1.04			1.16
F→G	1.125	1.10			1.10
G→A	1.11	1.21		1.13	1.24
A→B	1.125	1.20	1.04	1.10	1.43
B→C´	1.07	1.72	1.11	1.13	12.87
C´→D´	1.125		1.07	1.08	
D´→E´	1.11		1.16	1.18	
E´→F´	1.07		1.25	1.30	
F´→G´	1.125		1.18	1.27	

由上面結果可知：雖然「容量」可不受玻璃杯形狀限制，作為訂定玻璃杯音階依據。但是，僅僅適用於「水」，若將杯中液體，換成其他液體時，這個規則就不適用了。

研究四：玻璃杯重量變化與聲音音高的關係

器材：

1. 編號 A、B、F、G、H、I 的玻璃杯。
2. 一公斤磅秤。
3. 20 ml 針筒（去掉針頭）。
4. 調音器。
5. 酒精。



方法：

1. 玻璃杯裝滿水，分別秤出重量及音高。
2. 針筒緩緩抽出水，加以調節，直到重量使音高改變為止，再利用磅秤秤重。
3. 重複步驟三，直到音高無法再發生任何改變為止。
4. 以酒精重複上述步驟。

結果：

◆ 編號 A 的玻璃杯：

全滿		抽水後					
重量 (g)	430	音高	E	F	G	A	B
音高	#D	重量	420	400	365	340	280
比值			1.02	1.05	1.09	1.07	1.21

◆ 編號 B 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
重量 (g)	600	音高	A	B	C	D	E	F	#F
音高	G	重量	575	540	520	480	430	400	340
比值		1.04	1.06	1.03	1.08	1.12	1.075	1.18	

◆ 編號 F 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
重量 (g)	725	音高	G	A	B	C	D	E	F
音高	#G	重量	660	615	565	535	480	410	360
比值		1.10	1.07	1.09	1.06	1.11	1.17	1.14	

◆ 編號 G 的玻璃杯：

全滿		抽水後							
重量 (g)	675	音高	D	E	F	G	A	B	
音高	#D	重量	650	595	565	505	430	270	
比值		1.04	1.09	1.05	1.12	1.17	1.59		

◆ 編號 H 的玻璃杯：

全滿		抽水後			
重量 (g)	545	音高	F	G	A
音高	#F	重量	520	480	428
水位高度比值			1.05	1.08	1.12

◆ 編號 I 的玻璃杯：

全滿		抽水後					
重量 (g)	565	音高	C	D	E	F	G
音高	#C	重量	535	505	480	465	425
比值		1.06	1.06	1.05	1.03	1.09	

討論：

由以上結果，發現：

1. 重量逐漸減少時，音高逐漸上升，但微小的重量變化並不能改變玻璃杯音高。
2. 玻璃杯每次的「重量變化」並未具有明顯的關係。但若是與研究二所收集到的資料對照，則每變化一個 2 度，其重量變化比值與「音程」相近。
整理如表：

音高變化	音程	A 杯比值	B 杯比值	F 杯比值	G 杯比值	H 杯比值	I 杯比值
C→D	1.125						1.06
D→E	1.11				1.09		1.05
E→F	1.07	1.07			1.05		1.03
F→G	1.125	1.125			1.12	1.08	1.09
G→A	1.11	1.11	1.11	1.07	1.17	1.12	
A→B	1.125	1.125	1.125	1.09	1.59		
B→C´	1.07		1.07	1.06			
C´→D´	1.125		1.125	1.11			
D´→E´	1.11		1.11	1.17			
E´→F´	1.07		1.07	1.14			

由此，欲使音高變化達到一個音，需使重變化比例需達到「音程」比例。依此，我們可推論出計算變化一個 2 度音高後玻璃杯中的水位高度。

即：「公式：(原來重量) ÷ (音程的比例)」

當我們改以酒精試驗，發現雖然杯內裝酒精後，音高變得比較高，但是，每變化一個音高，重量的比值與「音程」直相近，整理如下表：



音高變化	音程	A 杯比值	B 比值	F 杯比值	G 杯比值	H 杯比值	I 杯比值
C→D	1.125				1.04		1.06
D→E	1.11	1.02			1.09		1.05
E→F	1.07	1.05			1.05	1.03	1.03
F→G	1.125	1.09	1.03	1.09	1.11	1.08	1.09
G→A	1.11	1.08	1.06	1.07	1.17	1.12	
A→B	1.125	1.20	1.04	1.09	1.55		
B→C´	1.07		1.08	1.05			
C´→D´	1.125		1.11	1.11			
D´→E´	1.11		1.07	1.16			
E´→F´	1.07		1.16	1.13			

因此，玻璃杯「重量」，可以不受「玻璃杯形狀」及「液體密度」的限制，可以作為訂定玻璃杯音階依據。

綜合研究二、三、四：雖然「水位高度」、「杯中水量」以及玻璃杯「重量」三種方式，均可以用來訂定玻璃杯的音階。但是，「水位」、及「水量」，均有使用上的限制。所以，為玻璃杯並定音階時，最適用的方式就是以玻璃杯「重量」來決定。

伍、研究結論：

依據研究結果，我們得到以下結論：

1. 由研究一的結果可知：

- (1) 儘管聽起來聲音相似，但實際上各個玻璃杯仍有其音高上微小的差異。
- (2) 就我們所收集的玻璃杯而言，「重量」是影響音高的關鍵因素。
- (3) 我們所收集到的馬克杯，秤出來的重量雖然較玻璃杯重，但是測出來的音高卻較高，可能是因為材質影響，但因樣本數不夠，因此無法斷定。

2. 由研究二的結果得知：

- (1) 玻璃杯中水位越低，聲音越高。
- (2) 「水位高度」可以決定音階的產生，其比例符合音程的比例。但玻璃杯必需「形狀規則」。
- (3) 當玻璃杯「形狀均勻」時，可用研究二之結果來作為決定音高的依據，即：

「(水位高度) ÷ (音程的比例)」。

3. 由研究三的結果得知：

- (1) 玻璃杯中水量減少，則聲音升高。
- (2) 玻璃杯中「水量」可決定音階的產生，水量變化量比例符合音程的比例。
- (3) 利用水量訂定音階可以免去「形狀」的影響，但所裝的液體必須為「水」。
- (4) 當玻璃杯中所裝液體為「水」時，可用研究三之結果作為決定音高的依據，即：

「(玻璃杯中水量) ÷ (音程的比例)」。

4. 由研究四的結果得知：

- (1) 玻璃杯及液體的「重量」減少時，則聲音升高。
- (2) 「重量」可以決定音階的產生，其變化比例符合音程的比例。
- (3) 利用玻璃杯及液體的「重量」訂定音階，是我們所能找出最不受條件限制的方式。其方法為：

「(玻璃杯重量) ÷ (音程的比例)」。

5. 本研究幾次的實驗均發現：「微小的變化量」無法造成音高上的改變。同時，在調整水量時「最初」及「最後」幾組實驗都出現計算數值結果誤差較大的情況，經過探討後，我們認為可能原因有：
 - (1) 玻璃杯本身並非「標準音高」。
 - (2) 調音器靈敏度的限制。
 - (3) 使用的測量工具精確度的限制。
6. 研究二、三、四中，最後均出現無論改變量多大，音高均無法變化的情形，此係樂器的「音域」。在「音域」範圍內音高可自由變化，若超出此範圍則無法改變。

原本，我們期望能夠找到一種更加簡便的方式，來訂定音階。但在事實上，聲音音高的變化遠比我們的想像複雜。在本研究中，我們發現：所有的變化比例都與「音程」相關。「音程」是兩個音高間震動「頻率」的比值，所以其實可以說是一種「頻率的比列」。由我們收集的資料，得到各音階的頻率及音程的關係如下表：

音名	C	D	E	F	G	A	B	C ^ˊ
唱聲	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do ^ˊ
頻率	264	297	330	350	396	440	495	528
音程	9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	
頻率比	24 :	27 :	30 :	32 :	36 :	40 :	45 :	48

玻璃杯本身並非專門的樂器，因此我們所能得到的音準與標準音高有些微差距。使用調音器來測試音高，可能會受到外在環境中雜音的干擾，造成誤差。原本，我們想藉助樂器行中販售的「收音麥克風」來加以改善，卻發現效果並不如預期，甚至造成調音器無法測試，因此只有放棄。我們使用 Gold Wave 5.06 來顯示聲音的波形，但僅僅讓我們更清楚的看出每一個玻璃杯敲擊出來的聲音確實不同，對於測定實際的音高、音準，並無太大幫助，這些都是我們這個研究不盡完善之處。在幾次討論後，我們認為：若能夠找到直接測試音波「頻率」的儀器，直接觀測頻率的改變，所得的結果將會更為精準。

在進行本研究的同時，除了讓我們更瞭解樂器製造的原理，也在這叮叮咚咚的聲音中體驗如水晶音樂般的質感，這才是我們最大的收穫。

陸、參考書目：

1. 國民小學康軒版自然科學課本：第六冊第五單元「製作玩具樂器」。
2. 國民小學南一版自然科學課本：第七冊第三單元「聲音的探討」。
3. 光復兒童科學圖鑑（民 75 年；第二冊：自然科學實驗、第三冊：課外研究研究）。
4. 會唱歌的空氣（中華民國第 42 屆科學展覽會，國中組物理科，作品說明書）。
5. 觀念物理IV（休伊特著，陳可崗譯；天下文化出版，民 90 年）。
6. 物理馬戲團（沃克著、葉偉文譯；第二冊，第四章：噓！聽聽怪物的聲音；天下文化出版，民 89 年）。

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國小組 自然科

佳作

081516

叮叮咚咚音樂秀

屏東縣鹽埔鄉鹽埔國民小學

評語：

本件作品以就地取材及隨手可得的各式玻璃杯探討各項變因與音高的關係，並且從中找出關係式，就實用性而言是值得嘉許，就器材使用上是有環保概念及鄉土性。