

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080105

水杯敲敲敲---泛音產生之研究

學校名稱：臺中市豐原區南陽國民小學

作者：	指導老師：
小四 楊芷芃	林峻志
小四 張倍瑚	楊鍾鳴
小四 林謙恩	

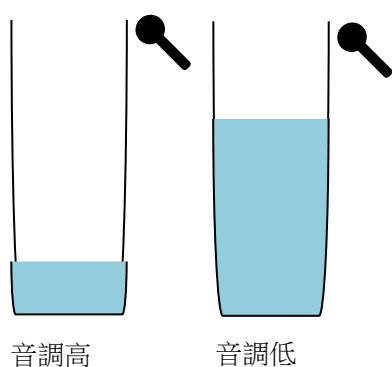
關鍵詞：發音體、基音、泛音

摘 要

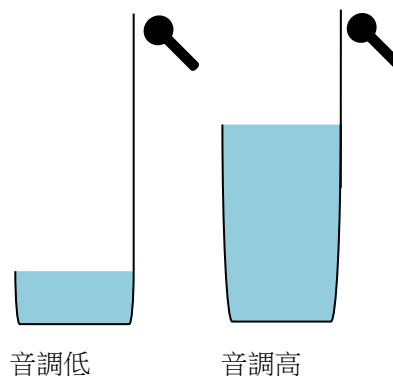
本研究從發音體的確證進行水杯敲擊產生音調開始探討，接著從產生的音調確證發音體的振動並非（水面以上玻璃杯壁）局部振動，透過「巧妙」的敲擊可以產生不同一般重擊而會產生“高音”，從聲音頻率倍數關係分析得知此高音為另一種「泛音」。本研究接著進行產生泛音的因素探討，提出「局部起動」的概念，發現「輕敲」、「本質為發低音者—水位高的水杯」、「固定杯底」、「水面靜止」、「敲擊稍厚處」較容易產生較高的泛音。本研究中所使用的水杯以敲擊方式最多可以產生三種泛音，因此可以容易產生與一般敲擊不同地發音情況——**水位越高敲擊後的音調越高**。敲擊方式改變發音音調的控制可以作為日後樂器製造的參考。

壹、研究動機

如下圖一，老師在上課中解釋說，因為水杯內的水越多所以受到敲擊的時候玻璃受到阻礙而不容易振動，所以振動較慢因此音調較低；或是因為水越多整體的質量越大，越不容易振動所以音調較低。但是，由於簧片受敲擊振動而發出聲音的時候，受振動的簧片越短所發出的音調越高。因此，如果把水杯看成圖二的振動方式，將玻璃視為簧片振動，水面以下的部分為固定端，則裝水越多發出的音調應該越高。



圖一



圖二

其次，某一天，我們在亂敲水杯時發生了三種情況。第一，同一個位置敲擊所得到的音調不同。第二、矮水杯加水敲擊時所得的音調和課本上的一樣，隨水位越高而音調越低。第三、高水杯加水敲擊時所得的音調卻和課本上的不同，隨水位越高而音調越高。這樣的衝突情況，讓我們更好奇敲擊水杯時所發出的音調發生改變的原因是什麼？因此，老師鼓勵我們做個科展研究試試，於是展開了我們的科展旅途。

貳、文獻探討

一、發音體：

聲音是一種波動，當演奏樂器、拍打一扇門或者敲擊桌面時，聲音的振動會引起介質——空氣分子有節奏的振動，使周圍的空氣產生疏密變化，形成疏密相間的縱波，這就產生了聲波，這種現象會一直延續到振動消失為止。受到振動的物體稱為發音體。當發音體越短、越細、越緊、越薄時，音調越高、頻率越大、波長越短。(維基百科)

當我們對水杯或試管吹氣的時候發音體是空氣，所以水裝得越多空氣柱越短，因此空氣質量少而容易快速振動而發出的聲音越高。但是，當我們敲擊水杯或試管時，發音體是什麼？有的人說是水柱？有的人說是玻璃本體？因此我們在這研究中必須先進行發音體的確認。在實驗——我們先在水面上放置一固定的保麗龍片來減少水面的振動，將玻璃本體視作為唯一的發音體進行驗證。

二、基音與泛音：

樂器或人聲等自然發出的音，一般都不會只包含一個頻率，而是可以分解成若干個不同頻率的音的疊加。聲音的波形是具有周期性的，因此根據傅立葉變換的理論，聲音可以分解成若干個不同頻率純音的疊加。這些頻率都是某一頻率的倍數，這一頻率就稱作基頻，也就決定了這個音的音高。假設某個音的基頻為 f ，則頻率為 $2f$ 的音稱為第一泛音，頻率為 $3f$ 的音稱為第二泛音，等等。(維基百科)

既然聲音是由多種泛音組合，若能巧妙的敲擊則有可能造成不同比例的泛音組合，再加上泛音產生的容易程度來說：若是水杯中水少時較不容易發出泛音，而水杯中水多時容易發出泛音。以水少時基音為 f_1 ，則第一泛音為 $2f_1$ （不易產生）；水多時基音為 f_2 ，第一泛音為 $2f_2$ （易

產生)。理論上 $f_1 > f_2$ ，有可能產生 $2f_2 > f_1$ 的情況，即水多時所敲擊水杯的音調高於水少時水杯的音調。因此我們對敲擊發出的聲音必須要作基音與泛音的頻率確認。發音體整體的振動視為基音的產生，而部分的振動可視為泛音的產生。

三、音高：

音高 (pitch) 在音樂領域裡指的是人類心理對音符基頻之感受。雖然不同樂器的頻譜不同，但任何樂器演奏中央 C 上的 A 音符基頻皆為 440Hz，因此所感受之音高皆同。此外，即使頻率有些許改變，聽者感受之音高未必改變，但若音高改變通常意味頻率亦改變。音高可以由多種不同的性質，如高或低、斷或續、是否隨時間改變（稱為啁啾（英語：chirp），若有，則以何種方式改變，如滑奏、滑音、震音等）以及可定或不定…等來定義。在音樂上，音高與其他音高之間的關係比起音高本身的頻率多少來得重要。兩個音的關係可以用比例或者是之間的頻率差距（以分表示）來代表。（維基百科）

由此可知，演奏方試是可以改變音高的。而泛音之間的比例就會影響音高，因此就水杯敲擊得到不同的音調而論，倒底是什麼因素造成泛音比例的不同而改變音高呢？成為我們這是主要研究的目的。

參、研究目的與問題

首先我們從找出是否有玻璃局部振動的可能性著手。為了減少探討的因素，我們僅對杯口敲擊，其他部位不列入本研究的探討範圍。以下為我們的研究目的與問題：

- 一、確認敲擊水杯時的發音體為何？
- 二、在同一杯（同質量）的水杯敲擊時，是否可以找到水杯整體振動發音與局部玻璃振動發音的不同方式？
 - 非水杯本體的因素探討：
 1. 敲擊力道是否會有音調差異？
 2. 電鈴敲擊幅度（接觸時間）是否會有音調的差異？
 3. 敲擊方向是否會有音調的差異？
 - 水杯本體的因素探討：
 4. 水體靜止或是擾動時的敲擊是否有音調差異？
 5. 水杯底部固定方式是否會有音調的差異？
 6. 橡皮筋在水杯不同位置（厚薄程度）是否有音調的差異？
- 三、不同水位時的敲擊所得的音調為何？

肆、研究設備及材料

1. 一個直筒玻璃杯
(內直徑 58.0mm、高 140.0mm、厚 1.5mm，如圖三)



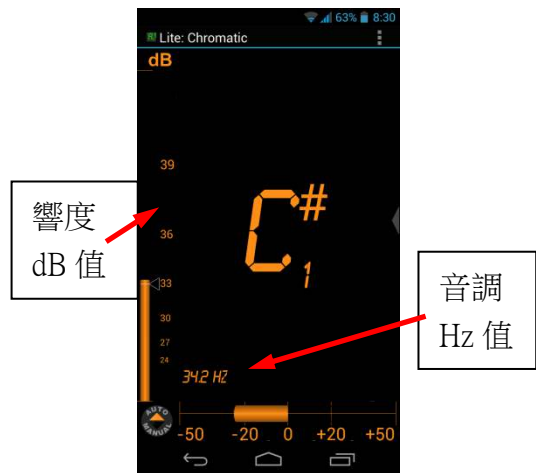
圖三

2. 一可控制敲擊頻率的電鈴
(輸入直流電壓 6V，附頻率微調鈕，如圖四)



圖四

3. 一台智慧型手機
(有測量聲音頻率的 APP 程式 DaTuner Lite，如圖五，此程式畫面擷取可以顯示所偵測的聲音響度 dB 值與音調頻率 Hz 值)

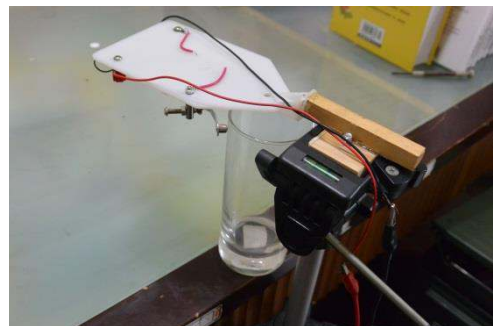


圖五

4. 一台錄影機
5. 一個水面穩定器
(以直徑 40mm 珍珠板製作一圓，以竹筷為支撐物，如圖六)



圖六



圖七

6. 電鈴敲擊示意圖
如圖七，以相機腳架裝置成電鈴敲擊裝置。

伍、研究過程或方法

實驗一、 確認敲擊水杯時的發音體為何？

1. 在同一杯（同質量）的水杯進行敲擊，旁邊擺放調音器偵測頻率。
2. 以錄影錄影記錄聲音頻率。
3. 以水面穩定器放入杯中不碰觸杯子。再次敲擊並記錄。

實驗二、 敲擊力道是否會有音調差異？

1. 杯內裝水 60mm，以木棒敲擊水杯。
2. 改變敲擊力道，以所得聲音響度代表力道。
3. 記錄不同力道所得的聲音頻率。

實驗三、 電鈴敲擊幅度（接觸時間）是否會有音調的差異？

1. 相同的敲擊距離、敲擊方向、改變電鈴頻率調整鈕來改變鈴槌的振幅並記錄。

實驗四、 敲擊方向是否會有音調的差異？

1. 固定鈴槌與水杯的距離以控制相同的音量大小。
2. 改變鈴槌敲擊方向(側敲、斜敲、垂直敲)，記錄聲音。

實驗五、 水體靜止或是擾動時的敲擊是否有音調差異？

1. 以竹筷擾動水面後敲擊紀錄聲音。

實驗六、 水杯底部固定與否是否會有音調的差異？

1. 杯底以止滑墊、熱熔膠固定後敲擊，記錄聲音。

實驗七、 橡皮筋在水杯不同位置（厚薄程度）是否有音調的差異？

1. 使用 5 條橡皮筋套於玻璃杯上後敲擊，記錄聲音。
2. 改變橡皮筋位置後敲擊，記錄聲音。

實驗八、 不同水位時的敲擊所得的音調為何？

1. 從空杯開始每次增加 20mm 水高，對杯子進行木棒重敲與鈴槌輕敲，記錄聲音。

陸、研究結果

實驗一、確認敲擊水杯時的發音體為何？

	以打擊棒敲擊				鈴槌與玻璃杯壁間距 1mm			
	空杯	水高 60mm 開放	水高 60mm 放入水面靜止器 未碰觸水面	水高 60mm 放入水面靜止器 碰觸水面	空杯	水高 60mm 開放	水高 60mm 放入水面靜止器 未碰觸水面	水高 60mm 放入水面靜止器 碰觸水面
音調 (Hz)	1884	1767.0	1764.0	1775.7	3886.5 or 1889.2	3828.0 or 1773.8	3831.6	3837.9
響度 (dB)	80	80	80	80	78	77	74	78

小結：

- 裝水水杯都較空杯發音來得低。
- 聲音與水面振動關係不大，發音體應為玻璃本體。
- 不同的敲擊物得到的音調不同，所得的音調約成倍數關係。

實驗二、敲擊力道是否會有音調差異？

水高 60mm、水平敲擊

響度 (dB)	42	61	68	74	78
音調 (Hz)	3819	1787	1782	1743	1766

小結：

- 敲擊力道較小時容易產生高音。
- 力道小的高音頻率約為力道大者產生低音頻率的 2 倍。

實驗三、電鈴敲擊幅度（接觸時間）是否會有音調的差異？

靜止鈴槌與玻璃壁距離 1mm，電鈴頻率調節鈕螺距 1mm，故每旋轉一圈約增加鈴槌振幅 0.5mm，鈴槌與玻璃壁越近接觸時間越短。

鈴槌與玻璃壁間距 (mm)	1	1.5	2.0	2.5	3.0
音調 (Hz)	4821.6	3815.7	3820.2	1762.8	1765.1
響度 (dB)	78	79	80	81	83

小結：

- 敲擊接觸時間越短，越容易產生高音。
- 所得音調 4821.6Hz、3820.2Hz 約為最低音調 1762Hz 之 3 倍或 2 倍。

實驗四、敲擊方向是否會有音調的差異？

水高 60mm、鈴槌與玻璃壁間距皆為 2mm

敲擊方式	水平	斜上	鉛垂向下
音調 (Hz)	3820.2	4818.9	1422.8
響度 (dB)	80	81	81

小結：

- 敲擊方向會影響產稱的音調，以斜上的敲擊方式容易產生高音，垂直向下敲擊杯口容易產生低音。
- 垂直向下敲擊所得音調明顯低很多。

實驗五、水面靜止或是水面擾動時的敲擊是否有音調差異？

水高 60mm、水平敲擊，鈴槌與玻璃壁間距為 2mm

水面情況	水面靜止	水面擾動
音調 (Hz)	3820.2	1762.8
響度 (dB)	80	80

小結：

- 水面靜止時較水面擾動時容易產生高音。

實驗六、水杯底部固定方式是否會有音調的差異？

水高 60mm、水平敲擊，鈴槌與玻璃壁間距為 2mm

	不固定	置於 止滑墊上	以熱熔膠固定
音調 (Hz)	3820.2	1765.0	3820.3
響度 (dB)	80	81	80

小結：

- 杯底以熱熔膠固定牢靠時容易產生高音。
- 杯底以吸震的止滑墊固定時容易產生低音。

實驗七、橡皮筋在水杯不同位置（厚薄程度）是否有音調的差異？

水高 60mm、水平敲擊、鈴槌與玻璃壁間距 2mm、杯底以熱熔膠固定

橡皮筋 距離杯口 (mm)	10	20	30	40	50
音調 (Hz)	1730.0	1735.5	4817.2	4805.1	3809.5
響度 (dB)	83	80	80	82	81

小結：

- 橡皮筋的位置會影響鈴槌敲擊後的音調。
- 橡皮筋的位置在下方接近水面遠離杯口，敲擊所得的音調較高。

實驗八、不同水位時的敲擊所得的音調為何？

	水位高 (mm)	0 (空杯)	20	40	60	80	100
木棒 重敲	音調 (Hz)	1880.2	1878.2	1860.9	1766.5	1587.8	1327.0
	響度 (dB)	80	80	80	80	80	80
鈴槌 輕敲	音調 (Hz)	1879.4	1881.0 3874.4	1861.2 3867.9	3843.1	4600.1	4473.1
	響度 (dB)	81	81	81	81	81	81

小結：

- 水位越高敲擊產生的聲音音調越低。
- 水位越高，在鈴槌輕輕敲擊下較容易產生高音。

柒、討論

一、敲玻璃時發音體為何？

因為杯子沒有水的時候敲擊也能夠發出聲音，所以發音體一定是玻璃本體。但是，從實驗一的結果來看，雖然產生聲音是因為玻璃振動造成，而玻璃卻會受到水的阻礙而影響振動，因此敲擊水杯發音時，基本上是整個水杯振動的結果，所以水裝得越多整體質量越大越不容易振動。當用力敲擊時，水杯內的水越多，整體質量越大，所發出的聲音越低。此外，有些人會質疑發出聲音的是敲擊物，當我們使用同樣的木棒、鈴槌並沒有改變其他的條件，若是鈴槌發音所得的不會是多種的音頻，因此不會是敲擊物產生的聲音。而空氣為發音體更是不可能，因為並不是直接敲擊空器產生聲音。

二、敲擊所得的聲音音調是否是因為泛音的改變？

起初我們推論高音的產生是由於水面上的玻璃局部振動造成的，但是這樣的推論在水越高的同時所得的音調會越高。然而在實驗八的實驗結果顯示(如下表)：同樣音頻接近約為 1800Hz，隨水位升高而降低；同樣音頻接近約 3800Hz，隨水位升高而降低；同樣音頻接近約 4500Hz，隨水位升高而降低。與我們推論不符合，所以輕敲所得到的音頻不可能只是水面以上的玻璃振動所造成的。

	水位高 (mm)	0 (空杯)	20	40	60	80	100
鈴槌 輕敲	音調 (Hz)	1879.4	1881.0 3874.4	1861.2 3867.9	3843.1	4600.1	4473.1
	響度 (dB)	81	81	81	81	81	81

在本研究中，若同樣介質條件下敲擊能得到兩種或三種頻率的聲音，以實驗一「空杯」為例：敲擊空杯所得音調為 3886.5Hz、1889.2Hz，前者幾乎為後者的兩倍。而其他含有水的水杯，被敲擊時所得較高音調約為較低音者

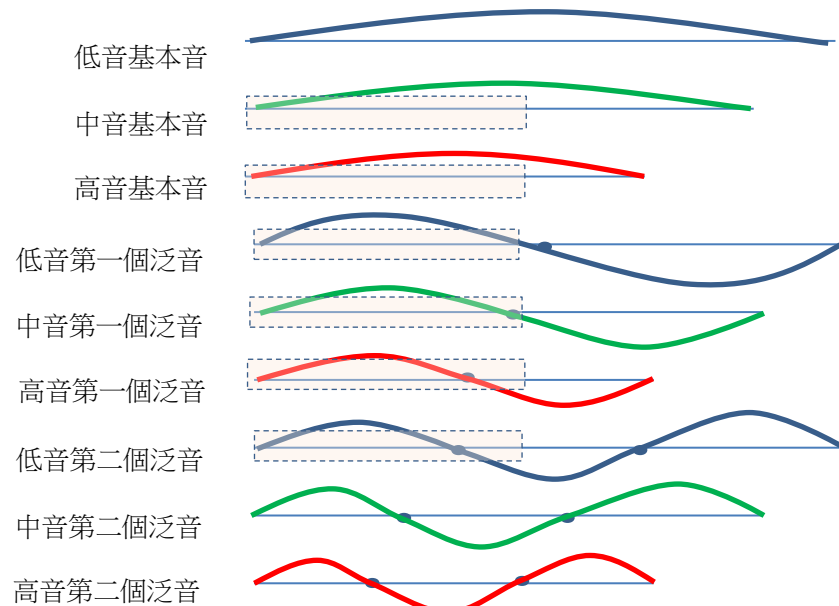
的 2 倍或 3 倍，因此應該為泛音關係。推測不是整除的原因是，水是柔性的、玻璃杯是剛性的，水未必與玻璃杯整體一起振動，所以會有些差距。所以高音者應該為較低音的更高泛音。我們將所得的最低音稱為「基本音」，則所得頻率為 2 倍的中音稱為「第一個泛音」、3 倍者為「第二個泛音」(註：本研究中的“基本音”與樂理上“基音”定義不同，例如：敲擊所得的頻率依序為 2064.9、3110.6、3814.2Hz 三種泛音，我們將前者視為基本音、後二者為第一個、第二個泛音，而在樂理上以頻率 261.6Hz 為 C 基音，則此三者為 C 基音的第 7、第 11、第 14 泛音)。在本研究中，同一個敲擊物與被敲擊物，通常可以有兩種泛音，至多只能產生三種泛音。

三、如何容易產生不同的泛音？

首先，從實驗一大致上可以發現電鈴鈴槌輕擊容易產生泛音，而實驗二、實驗三的結果更可以說明「輕敲」可以產生泛音。除此之外，在實驗八，我們可以發現空杯或水越少越不容易產生泛音；水越多越高時，輕敲可以產生三種泛音，而實驗研究中的玻璃水杯大致上敲擊所產生的音調範圍在「基本音」與「第二個泛音」之間。而實驗四則說明了敲擊方式會影響泛音是否產生。

我們發現，吉他彈奏者常常也會利用「輕撥」弦線產生泛音來調音或演奏，所以我們以下圖來推理說明。我們輕撥弦線或輕敲水杯時，因為發音的彈性體會產生振波，而力道的大小引起振動的範圍如圖中紅色方框。而這樣的引起振動的範圍恰好可以向上產生中、高音基本音的振動而發聲，向下可以引起高、中、低音的第一個泛音與低音的第二個泛音。如果要讓本質為發高音者產生第二個泛音應該要用「更輕、更小」的振動，但通常「輕巧」的振動能量很容易損失，反而不容易發出聲音，同時太小的振動無法造成發低音者整體的振動而發出基本音，或是調音器偵測不到；相對

地，過大的振動能量容易造成整體的振動，因而容易產生基音。而水多時，本質為發低音；水少時，本質為發高音。當物體受力振動時，作用力在彈性體中「引起振動的範圍」是要列入考慮的。我們把較小「引起振動的範圍」稱為「局部起動」。而實驗四的敲擊方式可能與敲擊的接觸面積有關，意即引起振動的範圍不同。



其次，從實驗五我們推測水面擾動時，玻璃杯是整體微小的振動，因此容易產生較低的基本音；相對地，水面靜止，因為慣性的作用，因此容易引起「局部起動」，所以容易產生較高的泛音。同時這也可以說明，實驗六的結果：杯子放在桌面上、與放在止滑墊上受敲擊時，杯子容易整體振動，也就是不容易局部起動，所以容易產生較低的基本音；相對地，固定杯底容易產生局部起動所以容易產生較高的泛音。

再者，從實驗六我們可以推測鈴槌敲擊接觸時間越短，越能有局部起動的效果，所以越能夠產生較高的泛音。

最後，在實驗七我們改變橡皮筋的位置來固定玻璃壁的質量並造成厚薄程度的不同。我們認為，橡皮筋越接近敲擊處（意即敲擊厚處）不容易引起局部起動所。但是，通常玻璃杯口的玻璃厚度會較玻璃杯身中央處僅

稍微來得厚但差異不大，而敲擊時厚的杯口容易產生較高的泛音、薄的杯身中央處不容易產生較高的泛音。因此稍厚處容易產生較高的泛音，但是過厚的地方可能因為振動能量太小而不容易有較高的泛音產生。在實驗七因為橡皮筋太接近敲擊的杯口，而橡皮筋厚度太厚所以一開始不容易有泛音產生，但橡皮筋稍微遠離杯口時就容易有第一個泛音產生，甚至是第二個泛音。當橡皮筋遠離杯口時就會降低至第一個泛音或基本音了。

綜合來說，一般的情況下敲擊物與敲擊力道都較大，而改以「輕敲」、「本質為發低音者—水位高的水杯」、「固定杯底」、「水面靜止」、「快敲」、「敲擊稍厚處」較容易產生較高的泛音，不過敲擊能量過小可能無法產生局部起動或偵測不到。

換句話說，當我們敲擊或演奏時除了音叉發音外，所產生的聲音都不是純音，而是基音與許多泛音的合成音，透過敲擊方式（演奏技巧）可以改變基音與泛音之合成音能量的比例，達到改變音色的可能性。例如，吹奏口琴或薩克斯風來模仿小提琴的音色就是一種改變改變合成音比例的演奏技巧。因此，一些自修書上或測驗卷上的題目描述「以同樣的力道輕敲裝不同水量的水杯或試管所發出的聲音何者較高？」實際上考量多種泛音存在的可能性，而有可能因為「輕敲、快敲」而產生較高的泛音導致水位越高產生的音調越高。

捌、結論

- 一、對同一水杯敲擊方式會影響發出聲音的音調，產生的聲音可能是多種泛音。
- 二、敲擊產生高音的原因並非水面以上的杯壁「局部振動」，而是杯壁「局部起動」造成的。
- 三、「輕敲」、「本質為發低音者—水位高的水杯」、「固定杯底」、「水面靜止」、「快敲」、「敲擊稍厚處」較容易產生較高的泛音。
- 四、大力敲擊的情況下，水杯中的水位越高，所得的音調越低。
- 五、若 $f_1 > f_2 > f_3$ 則在輕敲的情況下，低水位或空杯產生基本音 f_1 ，中水位產生第一個泛音 $2f_2$ ，高水位產生第二個泛音 $3f_3$ ，則 $f_1 < 2f_2 < 3f_3$ ，即高水位所得的音調較高。

玖、建議

一、新型樂器的製造

從研究結果與樂器製造來論，可以有兩方面的應用：一、單一被敲擊物不同敲擊的演奏方法以解決大型樂器佔空間又不容易搬動的問題。例如：大型的鼓，透過不同的敲擊方式來達到改變音調的問題，這樣演奏時無須搬動太多的鼓。二、製作不易有泛音而音準高的樂器。透過這些產生泛音因素的研究，我們僅製造樂器時，使用金屬等本質為發高音者，同時注意其製作上的厚薄程度，這樣產生的樂器就不會因為不同的敲擊方式而失去其音準，較不會有雜音。

二、敲擊物材質的探討

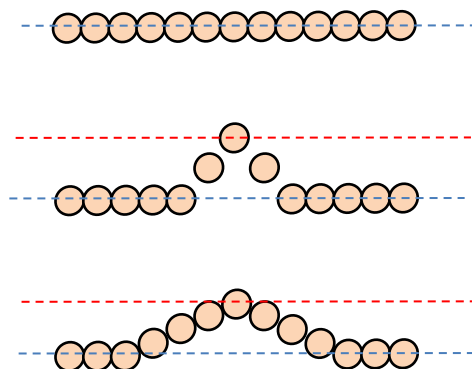
在本研究中，我們可以發現以電鈴鈴槌敲擊時所得的音調都較用手以木質鼓棒敲擊時來得音調高。在沒有進行敲擊物材質的探討下不宜做太多推論。但從我們的研究結論來看，使用質量輕的物質敲擊時所給予的敲擊能量較小、撞擊範圍較小，較容易引起「局部起動」，因此我們建議要敲擊產生較高的泛音應該以質量較輕且接觸面積較小的鐵棒、碳纖維棒敲擊。

三、局部振動的可能性探討

也許還是有人認為會有局部（水面以上玻璃壁）振動的可能性，我們提供了一種方式可以用來檢驗，就是使用一薄鋁杯，在杯口處左右兩邊剪出裂縫，只敲擊一側，若音調變高則是局部振動的結果，若是音調維持則仍是整體的振動。不過我們認為這樣剛性的物體要有局部振動比較難成功。

四、「局部起動」的探討

如右圖，圖上為靜止時介質平衡的狀態，圖中與圖下有相同的，但是「局部起動範圍」不同。明顯地，圖中所需的啟動能量較小。一般來說我們把敲擊或產生振動的能量都以振幅來描述，從右圖來看，產生振動的能量似乎與「局部起動的範圍有關」。



在本研究中，我們提出「局部起動」的概念，而這樣的局部起動的範圍會受到整體介質的情況（厚薄、鬆緊、質量大小、溫度）影響。從我們的研究結果初步推論，介質情況較鬆、稍厚、較重、溫度較低與撞擊面較小時可能會有較小的局部起動範圍，所以比較容易產生較高的泛音。

此外，從聲音波長來看， $V=f\lambda$ ，若 V 聲速在玻璃中約 3400m/s，若頻率以 1700Hz 計算則波長 λ 為 200cm、頻率以 3400Hz 計算則波長 λ 為 100cm、頻率以 4800Hz 計算則波長 λ 為 70cm。則產生的波長都比水杯的尺寸大很多，所以水杯幾乎是整體振動。若敲擊的接觸範圍有可能影響振動產生不同波長，則斜上敲擊所得音調較高應與接觸範圍有關，關於這樣的確論值得作為以後的研究探討。

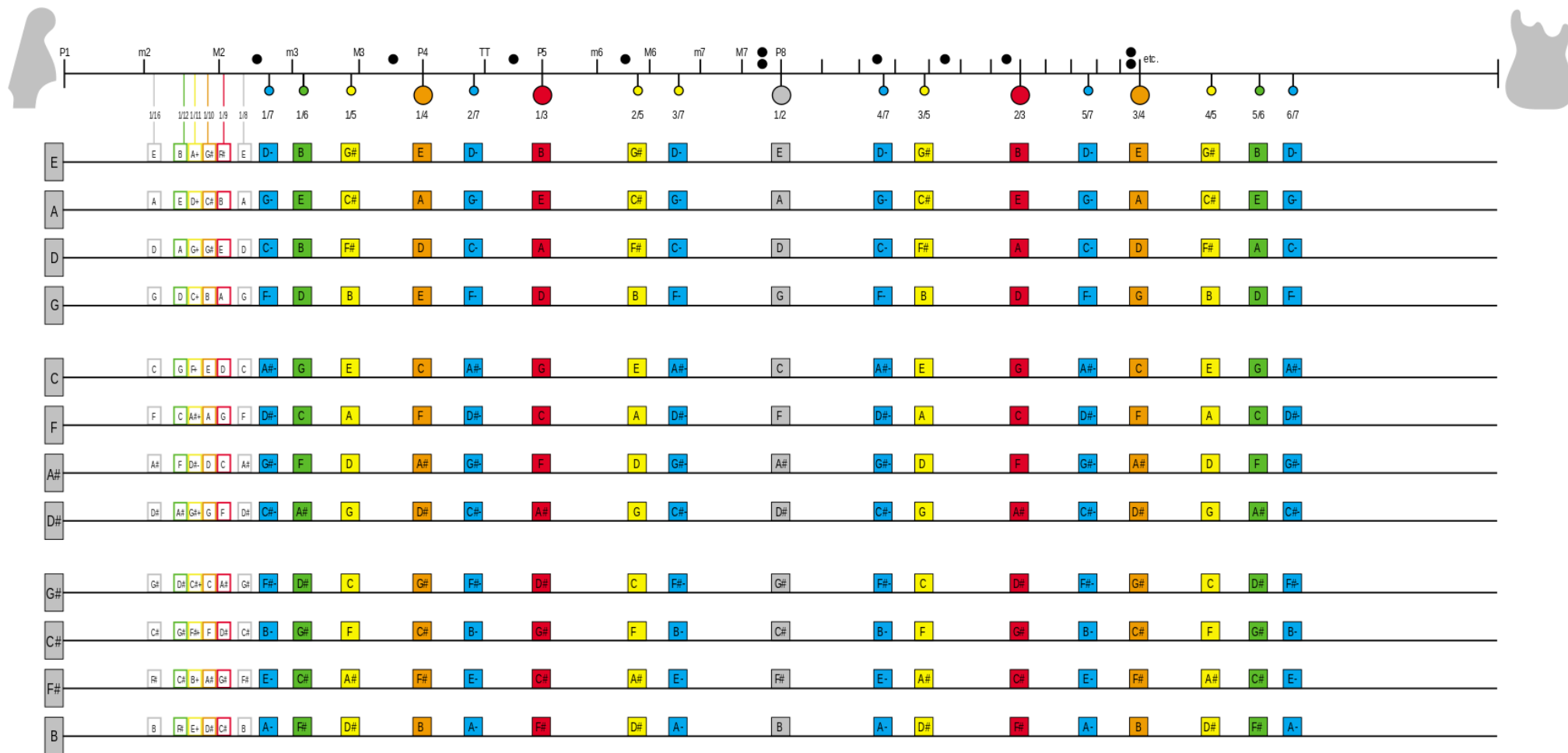
五、「泛音列」的探討

如附錄之泛音列顯示圖，以 C 基因為例，從基音至第八泛音分別依序為：C 基音、C、G、C1、E1、G1、A[#]1、C2。若在同一個位置使用不同敲擊方式產生三種不同音高，而這三種音高是否會依基音列順序出現還是會有規則性的跳躍出現。由於本研究通常只能產生兩種音頻，最多產生三種，所以不足以分析，不過研究初步發現兩個音頻是在泛音列中連續出現的，值得以後透過不同固定音頻產生不同泛音來確定其規則性。

參考資料

1. 聲音與樂器 國小自然與生活科技課本（五下）第六冊康軒版
2. 波動與聲音 國中自然與生活科技課本（二上）第四冊翰林版
3. 基音、泛音 維基百科
4. 楊庭堯 綠色寶笛 全國中小學科學展覽第 53 屆國小組生活與應用科學科作品說明書
5. 張以郡 號角響起一多多號角製作與聲音研究 全國中小學科學展覽第 52 屆國小組生活與應用科學科作品說明書

附錄 泛音列表（引自維基百科）



【評語】 080105

能利用平板來增加表達效果，但可加強實驗本身敲擊所產生音調部位與原理做更詳細的了解。