

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

最佳團隊合作獎

080123

比比誰最吵！不同音箱的響度差異研究

學校名稱：宜蘭縣蘇澳鎮馬賽國民小學

作者： 小六 吳昱頡 小五 陳廷瑜 小六 林崇堯 小六 李承恩 小六 吳程峻 小六 游茜雯	指導老師： 林記彥
---	------------------

關鍵詞：音箱、響度、音量

比比誰最吵！不同音箱的響度差異研究

摘要

本研究在實驗不同弦、彈撥工具、收音位置，以及音箱的材質、厚度、硬度、高度、外圍大小、外圍形狀、音孔大小和音孔形狀對共鳴響度的影響。過程中自製 30 個音箱，並經三次改良製作 2 組調弦架。實驗操作共進行 2 次，結果為：1.不同的弦所產生的響度差異不顯著；2.厚度愈厚的撥片所產生的響度愈大；3.音箱內中間偏下方為產生最大響度的收音位置；4.瓦楞紙材質所產生的響度比馬糞紙、泡棉、軟木為大；5.厚度愈薄的音箱所產生的響度愈大；6.音箱硬度愈硬產生響度愈大；7.體積愈大的音箱所產生的響度愈大；8.音孔大小愈小的音箱產生的響度愈大；9.正多邊形音箱邊數愈多產生的響度愈大；10.音孔在兩側的音箱比音孔在中間的音箱產生較大的響度。希望研究結果提供未來自然與生活科技「聲音與樂器」單元教學之用，以及學習樂器時更能理解聲音共鳴原理。

比比誰最吵！不同音箱的響度差異研究

壹、研究動機

我們是一群管樂團的學生，平常就相當熱愛音樂和吹奏樂器，故當五年級上學期自然課上到「聲音與樂器」這個單元時，激起我們強烈的學習興趣，想了解樂器和聲音的奧妙，因此很認真的上課和做實驗，對這個單元留下深刻的印象。到這學期老師邀請我們做科展時，我們立刻想到研究與聲音現象有關的主題，於是躍躍欲試的加入了。經過一番討論後，我們從課本中吉他音箱的實驗得到靈感，決定研究什麼樣的弦和音箱才能發出最大的響度，希望可以從科展的過程中學習科學實驗方法，並更加認識樂器發聲的原理，相信對我們學習音樂會更有幫助。

相關教學單元：98 學年度翰林版第五冊第四單元聲音與樂器

貳、研究目的

一、了解不同的弦所產生的響度差異。

- (一) 了解不同材質的弦所產生的響度差異。
- (二) 了解不同音高的弦所產生的響度差異。

二、了解不同彈撥工具所產生的響度差異。

- (一) 了解不同材質的彈撥工具所產生的響度差異。
- (一) 了解不同厚度的撥片所產生的響度差異。

三、了解不同收音位置所產生的響度差異。

四、了解不同的音箱所共鳴的響度差異。

- (一) 了解不同材質的音箱所共鳴的響度差異。
- (二) 了解不同厚度的音箱所共鳴的響度差異。

- (三) 了解不同硬度的音箱所共鳴的響度差異。
- (四) 了解不同高度的音箱所共鳴的響度差異。
- (五) 了解不同外圍半徑的音箱所共鳴的響度差異。
- (六) 了解不同外圍形狀的音箱所共鳴的響度差異。
- (七) 了解不同音孔大小的音箱所共鳴的響度差異。
- (八) 了解不同音孔形狀的音箱所共鳴的響度差異。

參、研究過程或方法

一、研究流程

(一) 確定研究主題

共同腦力激盪，決定選擇以測量音箱響度作為研究主題。

(二) 討論實驗設計

討論需要的工具、材料，如何測量響度、如何製作工具、如何進行實驗等問題。

(三) 製作研究工具

尋找弦、撥片、分貝機等工具，製作音箱、調弦架等工具。

(四) 第一次實驗操作

於安靜的地點進行第一次實驗。

(五) 檢討改善實驗

實驗後發覺過程中沒有控制好分貝機的擺放位置，以及環境中的聲音可能影響結果。

(六) 第二次實驗操作

固定收音位置並將收音位置納入變項中再次實驗。

(七) 討論實驗結果

根據實驗的數據結果進行討論。

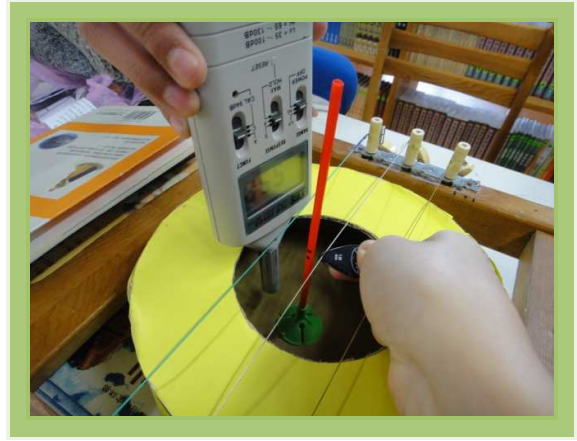
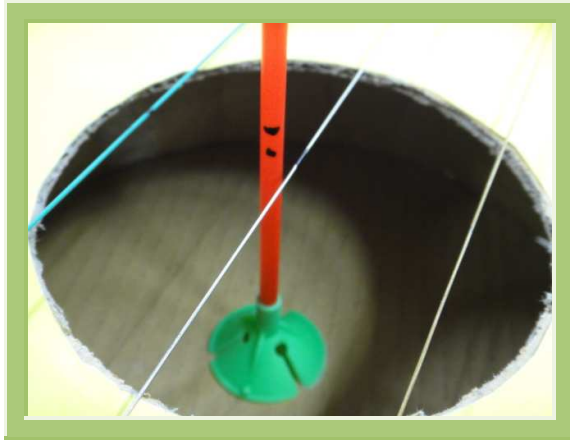
二、實驗方式

(一) 操作步驟

因為要測量音量，所以需要選擇一個安靜的環境，環顧學校，最安靜的地方就是圖書室，所以我們決定在圖書室進行實驗。實驗操作步驟為：首先在平坦的桌面上放置音箱，然後在音箱的正上方放置調弦架，對齊音孔正中央，並根據不同高度的音箱，在兩旁疊上書本，以免弦壓到音箱無法共鳴。就緒後將分貝機的收音麥克風放在音孔內（音孔下 4 公分處），等環境較為安靜時（約 50 分貝），再使用不同厚度的撥片、竹片、竹筷等彈撥工具，將弦拉高到一定的高度（0.5 公分）後再彈撥，盡量降低每次測量的誤差，測量完一次後，要等共鳴聲音結束（分貝機顯示又降至 50 分貝左右時），才能再彈撥下一次。

(二) 撥弦方式

撥弦方式是影響實驗結果最大的一個因素，也是我們討論最久的一個環節。我們想到用砝碼、滑輪、鑷子、玩具槍、用竹筷做彈撥器等方法，最後我們採取的作法是：首先必須固定彈撥的位置，因為在實驗中發現同一條弦在不同位置所發出的音高和音量是不同的，所以我們將弦的正中央畫上記號，確保每次都彈撥在相同的位置；撥片也是採用相同的作法，在 0.3 公分處作上記號，以使每次彈撥的位置都能相同。再者，必須盡量避免操作者手指額外施加的力氣，第一次實驗我們用透明長尺，放在弦的旁邊，但不能碰觸到弦，然後一人拿分貝機，一人負責用撥片將弦拉高，一人在對面看尺的刻度，拉高 0.5 公分後，以手勢告知（以免發出聲響）撥弦者放開撥片，然後另兩人在旁看分貝機所顯示的最大音量（兩人負責，以免看錯），另一人紀錄測量結果。分配好最適合的工作後就不做更換，以免因不同人操作而影響實驗結果。第一次實驗時，看直尺刻度的同學反應用肉眼看刻度眼睛很痠，看到後面已經疲乏了，可能影響結果。於是第二次實驗時，我們想到可以用氣球的塑膠棒先量好 0.5 公分高度，在放置於音孔內，如此一來就很方便撥弦者觀看，也不需要另一人看刻度了。



(三) 收音位置

因為考慮到實驗當天環境中的聲音可能會使實驗結果有差異，應該再試一次會比較準確；加上第一次實驗時我們沒有考慮到分貝機的擺放位置也是影響收音的一大因素，因此我們決定重新實驗一次。這一次我們固定好分貝機的擺放位置（音孔下 4 公分處）和方向（垂直擺放），也決定將分貝機擺放的深度納入實驗的變項當中。

肆、研究設備及器材

一、研究工具

(一) 耗材

雙面膠、膠水、膠帶、白膠、紙箱、馬糞紙、西卡紙、軟木、泡棉、彩色壁報紙、塑膠板、釣魚線、橡皮筋。

(二) 用具

剪刀、美工刀、圓規、切割墊、尺、筆、橡皮擦、釘書針除針器、撥片、竹筷、竹片、氣球用塑膠棒、弦、廢棄椅子、分貝機、調音器。

二、研究器材

(一) 自製音箱

我們嘗試用不同材質製作音箱，有馬糞紙、西卡紙、軟木、紙箱（瓦楞紙）、塑膠板

等。其中塑膠板因難以彎曲而無法製作；西卡紙因太薄且不堅固而不採用；而泡棉因材質太軟，需配合其他材料或黏貼雙層；最後選用紙箱為主要材料，因為方便取得又容易製作。但製作後才發現，紙箱有不同厚度之分，於是我們比較了不同厚度的音箱音量的差異，也選用了材料較多的 0.2 公分紙箱作為主要材料。

我們先討論好想要做的音箱高度、形狀、體積，音孔形狀、大小等，然後計算面積、測量尺寸，用鉛筆畫好後裁剪下來，並用黏貼工具黏貼好（先用白膠稍微將接縫處黏合，再用膠帶固定，若需要黏貼雙層材料則使用雙面膠），最後在依據不同的變項，用雙面膠貼上不同顏色的彩色壁報紙，一來美觀，二來方便辨識，貼好後就完成了。

我們一共做了 30 個音箱，其中厚度 0.2 公分、高度 7 公分、外圍形狀圓形、外圍半徑 10 公分、內孔形狀圓形、內孔半徑 5 公分的編號 01 音箱，當作標準音箱，並包上正黃色壁報紙以便區別，標準音箱在每個實驗中都被拿來重複比較。

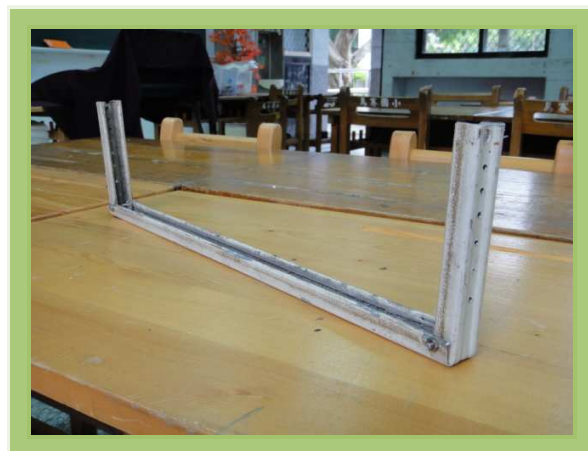


(二) 自製調弦架

1. 第一次製作

音箱完成後需要彈撥弦來發音，因此需要向提琴指板這樣的構造來固定弦。剛開始我們想到用鐵架來固定弦，因此找來了一個「」字型的鐵架，然後在兩邊打洞，方便綁上弦（此時我們是使用釣魚線），然後在弦的下方擺上音箱即可測量。但操作後發覺，在彈撥過程中，弦會漸漸鬆脫，拆開再綁的話，弦的鬆緊度又會改變，討

論過後認為這個工具不太適合，應該在嘗試別的方法。不過在過程中我們發現，音高也可能會影響音量，所以我們也將音高納入討論的範圍中。



2. 第二次製作

經過第一次失敗，我們認為需要可以調整音高的器具，討論之後，想到弦樂器上的旋鈕是最方便的器具，於是我們找來吉他的旋鈕；但是試了各種方法，甚至跑到工業區去找螺絲，發覺旋鈕的螺絲都難以固定在鐵架上，因此我們決定採用木頭來固定。我們拿來廢棄椅子的椅背，用釘子將旋鈕釘在左右兩邊，便可以綁上不同的弦，並且可以轉動旋鈕來調音。有了較方便的工具後，我們也決定使用各種不同的弦，比較各種樂器使用的弦，找到使用共同音高的弦，較多共同音高的是 g, a1, e1, 因此決定用這幾種音高的弦來實驗；實驗過程中必須經常調音，以使弦維持在相同的鬆緊度。



3. 第三次製作

第二次製作的調弦架，已經可以很順利的調音，但在調音的過程中，拉緊弦的張力非常大，釘子漸漸被拉起，旋鈕也慢慢扭曲變形。在「研究過程或方法」中提到，我們一共完整實驗了兩次，在第二次實驗時，弦的拉力太大，釘子被整個連根拔起，調弦架也因而報銷，我們只好製作第三次。這一次我們先在椅子的木頭上挖開一個長條形的溝槽，可以將旋鈕放置其中，然後不使用釘子，而是用電鑽將螺絲旋入木頭當中，以增強它的穩固性，這一次就牢靠了許多，我們也順利完成第二次實驗。



伍、研究結果

一、實驗一：不同的弦所共鳴的響度差異

操作變項：弦材質/音高

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀（見表 1）。

實驗說明：在實驗一中要討論的是弦對音箱響度的影響，因此我們在使用相同的撥片和音箱的條件下，使用不同材質和音高的弦進行實驗，弦的資料如表 1 所示，其中編號 D 的古箏 14 弦，音高原是 $f^\#$ ，但為了實驗需要，將其調為 g 音。

實驗結果：比較同音高不同材質的弦，可發現鋼弦的響度比尼龍弦稍大一些；比較相同材質不同音高弦，則可知音高愈低響度愈大。但整體而言，弦的材質和音高對音箱響度的差異並不大。

表 1 不同材質/音高的弦資料表

弦編號	樂器		音高	材質	音箱編號
A	小提琴	4 弦	g	鉻包鋼	01
B	古典吉他	3 弦	g	尼龍	01
C	民謠吉他	3 弦	g	鋼	01
D	古箏	14 弦	f [#] →g	鋼	01
E	古典吉他	1 弦	e1	尼龍	01
F	民謠吉他	1 弦	e1	鋼	01
G	古箏	12 弦	e1	鋼	01
H	小提琴	2 弦	a1	鉻包鋼	01
I	二胡	外弦	a1	鋼	01
J	琵琶	1 弦	a1	尼龍包鋼	01
K	古箏	8 弦	a1	鋼	01

表 2 不同材質/音高的弦響度紀錄表

弦編號	音高	響度測量值（分貝）						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
A	G	82.2	83.2	82.6	83.3	81.5	82.56	1
B	G	78.0	78.5	77.6	78.8	77.8	78.14	11
C	G	81.6	80.8	81.7	80.9	80.5	81.10	7
D	f [#] →g	81.9	82.1	81.8	81.5	80.8	81.62	5
E	e1	80.9	81.0	81.6	81.8	81.2	81.30	6
F	e1	81.8	81.5	81.5	81.1	82.3	81.64	4
G	e1	81.8	82.2	81.0	81.8	82.5	81.86	2
H	a1	81.0	80.4	81.3	81.6	80.7	81.00	8
I	a1	82.0	81.9	82.0	81.7	81.6	81.84	3
J	a1	79.7	79.5	79.7	80.7	79.1	79.74	10
K	a1	80.2	80.0	82.0	81.2	80.5	80.78	9

二、實驗二：不同彈撥工具所共鳴的響度差異

操作變項：撥片材質/厚度

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀（見表 3）。

實驗說明：在實驗二中要討論的是彈撥工具對音箱響度的影響，因此我們在使用相同的弦和音箱的條件下，使用竹筷、竹片和厚度不同的撥片進行實驗。

實驗結果：發現 1.2 公厘竹片所產生的響度最大，然後依次是 1.5 公厘撥片、0.96 公厘撥片、竹筷、0.46 公厘撥片，但彼此差異不大。推測竹片可能因較長、較好施力，所以音量較大；竹筷可能因為接觸面積較小，而音量較小；而同樣材質的撥片，厚度愈厚所產生的響度愈大。

表 3 不同材質/厚度的撥片資料表

撥片	撥片	音箱
A	1.50 mm 撥片	01
B	0.96 mm 撥片	01
C	0.46 mm 撥片	01
D	1.20 mm 竹片	01
E	竹筷	01

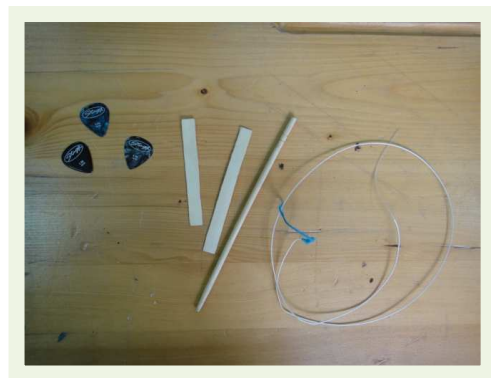


表 4 不同材質/厚度的撥片響度紀錄表

撥片編號	撥片名稱	響度測量值（分貝）						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
a	1.50 mm 撥片	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	2
b	0.96 mm 撥片	80.4	80.1	80.8	80.4	80.1	80.36	3
c	0.46 mm 撥片	78.1	77.9	78.4	78.7	78.4	78.30	5
d	1.20 mm 木片	82.6	82.7	82.6	82.4	82.7	82.60	1
e	竹筷	79.3	79.5	79.4	79.3	78.5	79.20	4

三、實驗三：不同收音位置所產生的響度差異

操作變項：收音位置（分貝機擺放深度）

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），

音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀。

實驗說明：在實驗三三要討論的是分貝機麥克風的收音位置對音箱響度的影響，因此我們固定了弦、撥片、音箱的其他條件，然後選用 14 公分和 21 公分兩種不同高度的圓柱體音箱。

實驗結果：整體而言，14 公分高的音箱響度比 21 公分高的音箱大；而以同樣深度來看，收音位置 14 公分時所產生的響度最大，9 公分次之，4 公分和 19 公分最小。由此推論距離收音位置中間偏下方所產生的共鳴響度最大，距離愈往上或往下所產生的共鳴響度愈小。

表 5 不同收音位置響度紀錄表

音箱編號	深度	響度測量值（分貝）						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
13	4 cm	73.1	78.2	77.3	70.5	72.4	74.30	4
13	9 cm	75.0	74.2	76.4	76.4	75.6	75.52	2
13	14 cm	79.1	72.9	85.4	81.1	84.1	80.52	1
15	4 cm	71.1	71.6	72.1	73.9	72.7	72.28	7
15	9 cm	72.2	73.5	74.0	73.8	72.0	73.10	5
15	14 cm	75.0	74.0	74.0	77.1	74.7	74.96	3
15	19 cm	75.3	70.5	73.3	73.1	72.0	72.84	6

四、實驗四：不同材質的音箱所共鳴的響度差異

操作變項：音箱材質

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），

音箱厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀（見表 6）。

實驗說明：在實驗四四中要討論的是音箱材質對音箱響度的影響，因此我們固定了音

箱的大小、形狀等條件，然後做了不同材質的圓形音箱；但製作過程中發現馬糞紙、軟木、泡棉的硬度不夠，做出的音箱易倒塌，所以我們用了雙層材質以使其堅固。

實驗結果：瓦楞紙音箱的響度最大，然後依次是雙層馬糞紙、馬糞紙加泡棉、雙層泡棉、馬糞紙加軟木；其中較特別的是，馬糞紙加軟木材質的音箱在撥弦後，不會立刻到達最大響度，而是先到達次高響度，才再攀上最高響度，與其他音箱不同。由此推論瓦楞紙音箱所產生的響度最大，軟木音箱所產生的響度愈小。



表 6 不同材質音箱之資料表

音箱編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
02	雙層馬糞紙	0.3	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
03	馬糞紙加軟木	0.3	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
04	馬糞紙加泡棉	0.35	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
05	雙層泡棉	0.4	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5

表 7 不同材質音箱之響度紀錄表

音箱 編號	材質	響度測量值（分貝）						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	瓦楞紙	79.2	77.9	79.5	79.1	79.2	78.98	1
02	雙層 馬糞紙	75.7	74.0	76.6	75.9	74.9	75.42	2
03	馬糞紙 加軟木	69.1	70.7	70.5	71.6	72.4	70.86	5
04	馬糞紙 加泡棉	75.4	75.9	75.6	74.3	75.7	75.38	3
05	雙層 泡棉	75.5	74.3	75.7	73.7	72.3	74.30	4

五、實驗五：不同厚度的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：鵝黃色

操作變項：音箱厚度

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），

音箱材質、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀（見表 8）。

實驗說明：在實驗五中要討論的是音箱厚度對音箱響度的影響，因此我們固定了音箱的其他條件，然後做了不同厚度的圓形音箱，並將音箱包裝上鵝黃色壁報紙以便識別。

實驗結果：發現厚度 0.2 公分的音箱響度最大，0.5 公分的次之，1 公分的響度最小。

由此推論音箱厚度愈厚，所產生的響度愈小。



表 8 不同厚度音箱之資料表

音箱 編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
06	瓦楞紙	0.5	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
07	瓦楞紙	1.0	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5

表 9 不同厚度音箱之響度紀錄表

音箱 編號	厚度 (cm)	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	0.2	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	1
06	0.5	77.3	77.7	77.7	78.3	78.0	78.34	2
07	1.0	75.9	75.5	75.9	75.4	76.6	75.86	3

六、實驗六：不同硬度的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：淺綠色

操作變項：音箱硬度

控制變項：弦材質 (編號 D)，撥片厚度 (編號 a)，收音位置 (4 公分深)，

音箱材質、厚度、高度、形狀、體積、音孔面積、音孔形狀 (見表 8)。

實驗說明：縣科展後經評審建議，認為應加入討論音箱硬度之變項，因此在全國科

展中加入了此實驗。在此實驗中要討論的是音箱硬度對音箱響度的影

響，因此我們固定了音箱的其他條件，然後找來了硬度不同的紙箱製作音箱，並將音箱包裝上淺綠色壁報紙以便識別；但因無法客觀測量每種紙箱的硬度為何，所以我們用觸覺以摸或敲的方式，將音箱的硬度由高至低，從 1 到 5 排序。

實驗結果：發現硬度愈高的音箱，所產生的響度愈大。



表 10 不同硬度音箱之資料表

音箱編號	材質	厚度 (cm)	硬度排序	高度 (cm)	外圍			內孔		
					形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.5	5	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
08	瓦楞紙	0.5	4	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
09	瓦楞紙	0.5	3	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
10	瓦楞紙	0.5	2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
11	瓦楞紙	0.5	1	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5

表 11 不同硬度音箱之響度紀錄表

音箱編號	硬度排序	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	5	78.3	79.4	80.6	80.4	81.6	80.06	5
08	4	81.4	81.9	80.1	81.7	80.8	81.18	4
09	3	80.5	81.3	82.5	80.9	80.8	81.20	3
10	2	84.1	83.2	83.5	83.7	84.3	83.76	2
11	1	88.7	89.2	88.8	88.8	88.9	88.88	1

七、實驗七：不同高度的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：橘色

操作變項：音箱體積（不同高）

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），

音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、音孔面積、音孔形狀（見表 10）。

實驗說明：在實驗七中要討論的是音箱體積（不同高）對音箱響度的影響，因此我們固定了音箱的其他條件，然後做了不同高度的圓柱體音箱，並將音箱包裝上橘色壁報紙以便識別。

實驗結果：發現高度 7 公分的音箱響度最大，10.5 公分次之，14 公分、17.5 公分和 21 公分的響度遞減，但三者數值很接近。由此推論音箱高度愈高，產生的響度愈小。



表 12 不同高度音箱之資料表

音箱編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
12	瓦楞紙	0.2	10.5	圓形	10	3297	圓形	5	78.5
13	瓦楞紙	0.2	14	圓形	10	4396	圓形	5	78.5
14	瓦楞紙	0.2	17.5	圓形	10	5495	圓形	5	78.5
15	瓦楞紙	0.2	21	圓形	10	6594	圓形	5	78.5

表 13 不同高度音箱之響度紀錄表

音箱 編號	高度 (cm)	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	7	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	1
12	10.5	78.3	77.6	78.8	77.5	78.3	78.10	2
13	14	77.0	77.7	76.8	77.6	77.9	77.40	3
14	17.5	77.3	76.5	77.9	78.1	76.2	77.20	4
15	21	76.8	77.7	77.4	76.9	76.6	77.08	5

八、實驗八：不同外圍半徑的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：紅色

操作變項：音箱體積（不同半徑）

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），

音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、音孔面積、音孔形狀（見表 12）。

實驗說明：在實驗八中要討論的是音箱體積（不同半徑）對音箱響度的影響，因此我們固定了音箱的其他條件，然後做了不同外圍半徑的圓形音箱，並將音箱包裝上紅色壁報紙以便識別。

實驗結果：發現外圍半徑 20 公分的音箱響度最大，10 公分和 15 公分的響度較小，兩者差異不大。以此推測音箱外圍半徑愈大，產生的響度愈大。



表 14 不同外圍半徑音箱之資料表

音箱 編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
16	瓦楞紙	0.2	7	圓形	15	4945.5	圓形	5	78.5
17	瓦楞紙	0.2	7	圓形	20	9520	圓形	5	78.5

表 15 不同外圍半徑音箱之響度紀錄表

弦 編號	外圍半徑 (cm)	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	10	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	2
16	15	79.9	78.9	80.6	80.9	79.7	80.04	3
17	20	83.1	83.6	84.7	83.3	84.3	83.80	1

九、實驗九：不同外圍形狀的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：銘黃色

操作變項：音箱形狀

控制變項：弦材質 (編號 D)，撥片厚度 (編號 a)，收音位置 (4 公分深)，

音箱材質、厚度、硬度、高度、體積、音孔面積、音孔形狀 (見表 14)。

實驗說明：在實驗九中要討論的是音箱形狀對音箱響度的影響，因此我們固定了音箱的體積等條件，然後計算在相同體積下的不同形狀音箱應有的邊長，做了圓形、正三角形、正方形、正五邊形、正六邊形的音箱，並將音箱包裝上銘黃色壁報紙以便識別。

實驗結果：發現正六邊形的音箱所發出的響度最大，然後依次是圓形、正五邊形、正方形，正三角形最小。因此推論，多邊形的邊數愈多，響度愈大。



表 16 不同外圍形狀音箱之資料表

音箱 編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑/ 邊長 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
18	瓦楞紙	0.2	7	正三角形	26.93	2198	圓形	5	78.5
19	瓦楞紙	0.2	7	正方形	17.72	2198	圓形	5	78.5
20	瓦楞紙	0.2	7	正五邊形	13.51	2198	圓形	5	78.5
21	瓦楞紙	0.2	7	正六邊形	10.99	2198	圓形	5	78.5

表 17 不同外圍形狀音箱之響度紀錄表

音箱 編號	外圍形狀	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	圓形	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	2
18	正三角形	70.2	70.8	70.9	71.9	72.0	71.16	5
19	正方形	76.5	77.3	78.2	76.8	77.4	77.24	4
20	正五邊形	80.9	80.0	81.2	79.3	79.9	80.28	3
21	正六邊形	81.9	83.1	83.3	82.5	82.8	82.72	1

十、實驗十：不同音孔大小的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：螢光綠色

操作變項：音孔大小

控制變項：弦材質 (編號 D)，撥片厚度 (編號 a)，收音位置 (4 公分深)，

音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔形狀（見表 16）。

實驗說明：在實驗中要討論的是音孔大小對音箱響度的影響，因此我們固定了音箱的其他條件，製作了半徑 2.50、5.00、7.50 公分的圓形音孔音箱和完全沒有音孔的音箱，並將音箱包裝上螢光綠色壁報紙以便識別。但在縣科展後，經評審建議，又新增了半徑 1.25、3.75 和 6.25 公分的音箱，以增加實驗可信度；且經內部討論後，認為全無音孔音箱與無音箱無異，遂刪去了完全沒有音孔的音箱

實驗結果：內孔半徑 1.25 和 2.50 公分音孔的音箱所發出的響度較大，3.75 公分和 5.0 公分者居中，6.25 公分和 7.5 公分者最小，依次遞減。由此推論，音孔愈小所產生的響度愈大（縣科展也是相同結果，唯無音孔的音箱響度最小）。



表 18 不同音孔大小音箱之資料表

音箱 編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑 (cm)	面積 (cm ²)
22	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	1.25	4.9
23	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	2.50	19.6
24	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	3.75	44.2
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5.00	78.5
25	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	6.25	122.7
26	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	7.50	176.6

表 19 不同音孔大小音箱之響度紀錄表

音箱 編號	內孔半徑	響度測量值（分貝）						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
22	1.25	83.3	83.5	82.3	82.8	84.9	83.36	1
23	2.50	82.0	83.1	82.6	82.4	83.4	82.70	2
24	3.75	79.8	80.6	81.3	79.5	80.5	80.34	3
01	5.00	78.3	79.4	80.6	80.4	81.6	80.06	4
25	6.25	75.3	76.2	74.9	75.8	74.1	75.26	5
26	7.50	72.5	73.8	72.9	72.2	73.6	73.00	6

十一、實驗十一：不同音孔形狀的音箱所共鳴的響度差異

音箱顏色：藍色

操作變項：音孔形狀

控制變項：弦材質（編號 D），撥片厚度（編號 a），收音位置（4 公分深），

音箱材質、厚度、硬度、高度、形狀、體積、音孔面積（見表 18）。

實驗說明：在實驗十一中要討論的是音孔形狀對音箱響度的影響，因此我們固定了音孔面積，然後做了圓形、正方形、半圓形、兩個圓形、兩個長方形的音孔，並將音箱包裝上藍色壁報紙以便識別。

實驗結果：發現兩個長方形和兩個圓形音孔的音箱所發出的響度最大，其次是一個圓形音孔的音箱，一個半圓形和一個正方形音孔的音箱響度最小。由此推論兩側音孔比單個音孔能產生更大的響度。



表 20 不同音孔形狀音箱之資料表

音箱 編號	材質	厚度 (cm)	高度 (cm)	外圍			內孔		
				形狀	半徑 (cm)	體積 (cm ³)	形狀	半徑/ 邊長 (cm)	面積 (cm ²)
01	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	圓形	5	78.5
27	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	正方形	8.86	78.5
28	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	半圓形	7.07	78.5
29	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	兩圓形	3.535	78.5
30	瓦楞紙	0.2	7	圓形	10	2198	兩長方形	長 8.86 寬 4.43	78.5

表 21 不同音孔形狀音箱之響度紀錄表

音箱 編號	音高	響度測量值 (分貝)						
		第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	排序
01	圓形	80.9	80.7	81.0	79.7	81.0	80.66	3
27	正方形	75.9	75.4	76.2	77.3	76.9	76.34	5
28	半圓形	75.9	76.8	77.3	76.2	77.8	77.20	4
29	兩圓形	81.3	81.9	83.2	82.7	81.6	82.40	2
30	兩長方形	83.8	84.5	85.2	83.3	83.6	84.08	1

陸、討論

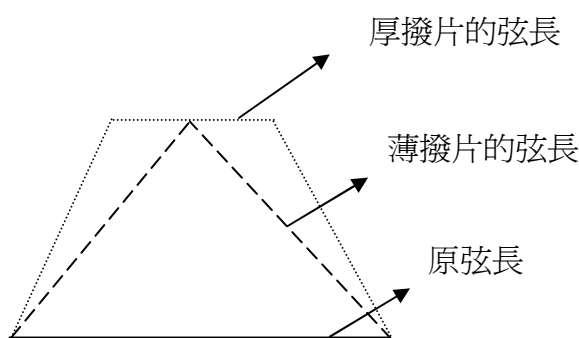
一、弦對響度的影響不大

根據實驗一結果，發現弦的材質和音高對音箱響度的差異不大，但仍可在些微變化的數據中觀察到一些規則。音高方面可發現音高愈低，響度愈大，此結果與我們所知物理現象相同。材質方面只可察覺鋼弦的響度稍微比尼龍弦大一點，推測這樣的結果可能是因為，我們為了找尋最多樂器共同能使用的弦，所以選擇的音高都在中音域，沒有較高和較低音域的弦，也就是弦的粗細差異不大，以致於產生此結果。再者，我們選擇的都是最低價位的弦，如果使用不同價位的弦，可買到羊腸弦、銀包鋼弦等材質，或許結果會有所不同。

另外，我們這次實驗所調的都是管樂團所謂準的音（422 Hz），調至不同音頻可能結果不同，例如鋼琴調至 440 Hz。還有，我們習慣性拿到調音器就把音調準，但實驗結束後討論時才想到，音準的時候所產生的共鳴可能是最大的，因此應該使用準的音和不準的音來實驗，結果或許會改變。

二、撥片厚度愈厚產生響度愈大

根據實驗二結果，除了竹片可能因為力臂較長，較好操作，產生的響度較大；以及竹筷可能因為接觸面積較小，產生的響度較小之外；相同材質的吉他撥片，厚度愈厚所產生的響度愈大，推測原因可能是弦產生的總形變愈大（後來弦長減原來弦長），其回復力儲存的能量愈大，響度也越高；而厚撥片可使弦產生較大形變量，因此產生響度也較大。



三、音箱內部中間偏下方產生的響度最大

根據實驗三結果，距離分貝機麥克風收音位置愈中間所產生的響度愈大，距離愈往上或往下所產生的共鳴響度愈小，其中中間偏下方所產生的共鳴響度最大。應該是因為中間才是共鳴比較好的位置，愈往音箱壁所得到的共鳴愈少，而音箱上方因為有開孔使聲音發散，所以中間偏下方產生的響度較大。這也驗證了聽音樂會時，最前面幾排並不是共鳴最好的位置，中間偏前方所產生的共鳴效果最好，票價也最貴。

四、音箱材質會影響響度與產生最大響度的時間

根據實驗四結果，發現產生的響度由大到小依次是瓦楞紙、雙層馬糞紙、馬糞紙加泡棉、雙層泡棉、馬糞紙加軟木所製作的音箱；亦即瓦楞紙音箱所得的響度最大，而後是馬糞紙、泡棉和軟木。據此推測，較軟的材質可能較易吸音，所以產生的共鳴較小，這也就是為何有隔音的琴房牆壁上有泡棉的原因了。

另外，實驗中我們意外發現，軟木音箱在撥弦後，不會立刻到達最大響度，而是先到達次高響度，才再攀上最高響度，這種延遲共鳴的現象，或許具有柔和音色的效果。這令我們聯想到木管樂器的按鍵內都有軟木墊，除了作為按鍵接觸樂器的緩衝之外，是否也具其他調和音色的效果，值得後續探討。

五、音箱厚度愈薄產生響度愈大

根據實驗五結果，發現音箱厚度愈厚，所產生的響度愈小。我們討論後認為音箱本身會吸收聲波，愈厚吸音的效果愈顯著，所以使響度變小。而縣科展時評審也認為厚度厚的瓦楞紙，波紋中間的空隙較大，所以使響度較小，因此建議我們使用波紋密度較密或硬度較高的瓦楞紙來製作音箱，詳見第六點。

六、音箱硬度愈硬產生響度愈大

根據實驗六結果，發現音箱硬度愈硬，所產生的響度愈大。推測是因為較硬的音箱，瓦楞紙波紋密度較密，較不易吸音，可使聲波得到較佳反射，因而響度較大。

七、音箱體積愈大產生響度愈大

實驗七和實驗八的操作變項都和音箱體積有關，但卻得到相反的結果。在實驗七中發現，音箱高度愈高，產生的響度愈小；而在實驗八得出的結果則是，音箱外圍半徑愈大，產生的響度愈大。按理說，音箱高度愈大，體積愈大；外圍半徑愈大，體積也愈大，得出的結果理應相同，然而結果卻是相反。討論結果推測是和收音位置有關，根據實驗三的結果，我們可知音箱中間偏下方產生的共鳴響度最大，愈靠近音箱頂部和底部的響度愈小；而在實驗七中，實驗設計控制了收音位置都在距音孔下方 4 公分處，對高度愈高的音箱而言，距離最佳共鳴點愈遠，所以產生的響度愈小。因此還是推論，音箱體積愈大所產生的響度愈大。讓我們聯想到樂團中體積愈大的樂器音量也愈大，像是低音號的音量就比上低音號來得大，又比小號更大許多，因此低音號所需要的演奏人員也愈少，才能達到樂團中音量的平衡。

八、音孔大小愈小產生響度愈大

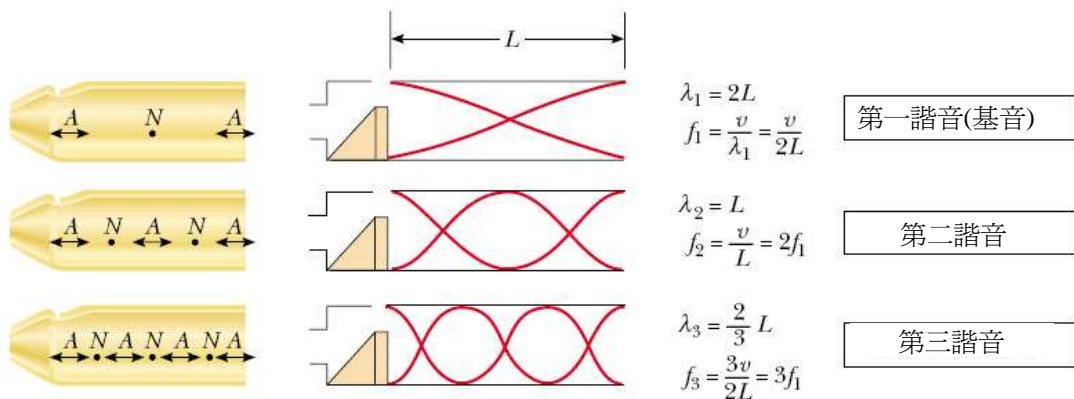
根據實驗十結果，發現音孔愈大產生響度愈小。推測原因是音孔過大，聲音就發散了，無法匯集產生共鳴，所以產生響度小了許多；另外，使用半徑 1.25 和 2.50 公分音孔的音箱測量時，因為音孔過小，以致測量時撥片和分貝機必須擠在一起，亦即音源處和收音口距離比其他音箱還近一些，因此產生較大的響度。

九、正多邊形音箱邊數愈多產生響度愈大

根據實驗九結果，發現正多邊形音箱中，邊數愈多，產生的響度愈大。可能是邊數愈多，愈趨近圓形，愈能使聲波得到較佳反射，所以產生的響度愈大。不過，圓形的音

箱效果反而沒有正六邊形的好，但因分貝值差異不大，可能是實驗誤差或另有原因，尚待討論。不過我們可想到的是，的確有些樂器的音箱是做成六邊體的，如胡琴；也有更多是做成圓柱體音箱的，如中阮；再來就是梨形、葫蘆形等，較少見到五邊體、正方體、三角體等形狀音箱的樂器，可能是因為不利音波反射的緣故。

若是以音波反射的角度來討論，音箱內的入射波與反射波重疊後會產生形狀規則的駐波，產生駐波後能量愈不容易散逸，因此聲波的波長要為音箱的倍數才能形成穩定的駐波，才會有較大的響度，與形狀未必有特定的關係。若以此角度來看，正五邊形、正六邊形和圓形音箱最長寬度較為接近，可能正好適合形成穩定駐波，所以響度較大，數值也頗接近；而正方形和正三角形，因控制了面積變項，所以邊長相對就大了很多，可能正好不適合駐波形成，因此響度有明顯差距。



十、兩側音孔比單一音孔產生更大響度

在實驗十一中，發現音孔在兩側的音箱響度比在中間來得大，這讓我們聯想到提琴家族的樂器音孔都在兩側，或許也和產生較佳共鳴有關。不過其音孔形狀是 c 字孔或 f 字孔，並非如我們採用的簡單幾何形狀，如加上不規則形狀的音孔，何種音孔能得到最大響度，或許也是未來研究的方向。

柒、結論

實驗結果發現撥片厚度愈厚、音箱厚度愈薄、體積愈大，所得出的響度愈大；而音孔大小和收音位置則是適中才好。這與原先預期的結果有些差異，讓我們了解到音波的行進並不如想像中的簡單。在討論的過程中，我們應用實驗結果，聯想到各種樂器音箱和音孔的不同處，希望能對學習樂器時理解聲音共鳴情形有所幫助；也希望本次實驗的結果能應用在未來自然與生活科技領域「聲音與樂器」單元的學習上，提供補充教學之用。

捌、感想

終於完成了！很高興這次能參加科展，一開始我們都抱著雀躍的心情參加，也很開心的參與討論，但真正開始製作時，才發現困難一波接一波，愈深入發覺問題愈多，耗費了比預期多很多的時間和心力來進行，連寒假、午休、放學時間都要留下來，令我們幾度想放棄；但在老師和父母的鼓勵下，我們決定繼續留下來，成員間也會彼此互相勉勵，才能完成科展。這次科展我們要感謝主任和導師們常來加油打氣，管樂的組長陪著我們東奔西跑去找弦和螺絲，工友叔叔幫我們使用電鑽釘調弦架，還有科展指導老師辛苦的指導我們，帶領我們度過重重難關，以及科展的評審教授給予我們的建議，讓我們將實驗設計修正得更好。透過這次科展，我們成長了許多，了解什麼是嚴謹的科學態度，也學習到分工合作的精神，希望我們未來也能抱持這樣的態度在所有的學習上。

【評語】 080123

測量響度的位置有列入理論的思考，團隊合作表現相當不錯。