

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081515

聲音會跳舞

學校名稱：基隆市安樂區建德國民小學

作者：	指導老師：
小六 洪宇嬋	李玫蓉
小六 張晉	洪淑清
小六 朱琚瑛	
小六 溫子儀	

關鍵詞：聲音振動 傳聲器 鐳射光移動(振動)範圍

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會

聲音會跳舞

壹、摘 要

聲音，是藉由固態、液態和氣態等三態，傳遞振動而產生。因為傳遞物質和發音體的不同，使得聲音有「大小」、「高低」和「音色」三種變化。在這個研究中，我們不再用課堂上五官的經驗，來觀察聲音的振動情形。而是利用各種自製的傳聲器、並謹慎控制擴音設備，將聲音的振動情形，以鐳射光顯現出來。再由鐳射光顯現圖案的分析，來找出並說明聲音「大小」、「高低」和「音色」三種變化的特徵及原因。而透過對聲音的研究，這個實驗可幫助我們將生活中的常識、或課堂中所習得的知識，建立一種科學的研究步驟及分析方法，更進一步可獲得「眼見為憑」的科學證據。

貳． 研究動機

在自然與生活科技課本中，有一個單元是「聲音的探討」。在這個單元中，我們利用各種樂器、和自製的實驗器材，如小話筒、聽診器等，觀察「聲音」和「振動」之間的關係，並瞭解聲音有「大小」、「高低」和「音色」三種變化，在我們的視覺、聽覺或觸覺上，會有不同的效果。而老師在這一單元中，提到我們可以利用鐳射筆的紅光，反射在小鏡子上，而小鏡子貼在可振動的物體上，依據鐳射光點的移動，可以紀錄各種聲音振動的情形。比如曾經有實驗者貼在脈搏以測量振動，或貼在小蜜蜂的肚子上，測量嗡嗡聲音振動的情形等。老師說用鐳射筆照射鏡面，所反射出來的聲音振動情形，會彷彿紅光在跳舞一般，具有多采多姿的形狀。只要用眼睛，就可以探討聲音的「大小」、「高低」和「音色」三種變化。老師這樣有趣的敘述，遂引起我們的研究興趣。

參． 研究目的

- 一． 能將聲音的振動以鐳射筆的紅光顯現，而加以測量。
- 二． 能以科學的測量方法，來探討聲音的振動。
- 三． 能了解聲音的大小，與鐳射光振動範圍的關係。
- 四． 能利用各種不同的傳聲器材質，探討對相同聲音的振動影響。
- 五． 能找出相同的傳聲器材質，在傳遞不同聲音時的共同特徵。
- 六． 能找出聲音的高低，與鐳射光振動的情形及變化。
- 七． 能建立一種經過科學驗證的證據，來結合生活的經驗和拓展課堂的知識。

肆．實驗設備及器材

- 一．傳聲器設備：鐳射筆、擴音器、麥克風、手提 CD、數位相機、鋼琴、汽球等。
- 二．歌曲 CD：翰林版藝術與人文六上教學 CD，以及 SONY BMG 發行王力宏專輯「蓋世英雄」CD。
- 三．自製傳聲器：共六種，分別為紙製羽球筒及洋芋片筒、鋁製汽水罐和啤酒罐、礦泉水以及汽水保特瓶等。如表一：

表一：傳聲筒圖片與說明

說明	鋁製類	紙製類	塑膠保特瓶
圖 片			
	啤酒罐（硬） （直徑 8cm、長度 13cm）	羽球筒（硬） （直徑 7cm、長度 39.5cm）	汽水瓶（硬） （直徑 10cm、長度 18cm）
			
	汽水罐（軟） （直徑 6cm、長度 10cm）	洋芋片筒（軟） （直徑 6.5cm、長度 12cm）	礦泉水瓶（軟） （直徑 6cm、長度 15cm）

伍．研究過程及方法

一．傳聲器材的製作：

- （一）將傳聲筒套上汽球，汽球的中心點黏上一小片鏡子。
- （二）將傳聲筒置於擴音器前方，擴音器的麥克風對準手提 CD 的喇叭口。
- （三）將鐳射筆的紅光對準傳聲筒上的鏡面，使紅光反射到黑板背景圖的中心點。
- （四）將反射鐳射光的背景圖，由黑色、紫色改為黃色底色，由中心點各間距一公分，以鉛筆畫正方形格子，並定出上、下方向，以方便我們實驗時能更清楚看到鐳射光的移動範圍，及設定基礎點。

二．音量的控制：手提 CD 的音量以膠帶固定，利用擴音器的音量鈕上的白色點，做為控制「大聲」和「小聲」二種程度的音量。

三．歌曲的選擇：

- （一）在聲音這一單元中，我們學到聲音的「大小」、「高低」和「音色」，都會影響到

振動的情形。在我們以擴音器的聲量來決定聲音的「大小」、以各種傳聲筒來實驗「音色」後，現在更進一步的，要來選擇一些歌曲，以實驗聲音的「高低」及「快慢」等，在鐳射光中的振動情形。

- (二) 我們共選擇了四首歌，分別為「流行歌曲」和「學校的藝術歌曲」，曲風（速度）為「慢歌」（慢板 $\text{♩}=56\sim66$ ，行板 $\text{♩}=66\sim76$ ）和「快歌」（稍快板 $\text{♩}=96\sim120$ ），以及「抒情」和「輕快活潑」的二種不同風格。歌曲簡介如下表：

表二：實驗歌曲簡介

類 別	名 稱	曲 風（速度）	來 源
藝 術 歌 曲	踏 雪 尋 梅	輕快的（ $\text{♩}=80$ ）	翰林版：藝術與人文六上教學 CD
	茉 莉 花	抒情、稍快板（ $\text{♩}=72$ ）	
流 行 歌 曲	在 梅 邊	超快 rap & 京劇唱腔（ $\text{♩}=96$ ）	SONY BMG 發行：王力宏專輯「蓋世英雄」CD
	Kiss goodbye	抒情、慢板（ $\text{♩}=60$ ）	

四. 圖片的紀錄和選擇：

- (一) 利用手提 CD 播放歌曲，並以數位相機的錄影功能，將反射於黑板的紅光振動情形加以紀錄。
- (二) 利用電腦接於電視的畫面，觀看並分析振動情形的情況和特色，並以文字紀錄觀察結果。
- (三) 利用「capture viewer」和「wink」二種免費軟體將錄製的歌曲影音轉換成圖檔，以做成書面資料來討論。

五. 圖片說明

【步驟一】將傳聲筒套上汽球，汽球的中心點黏上一小片鏡子。



傳聲筒、擴音器和鐳射筆

【步驟二】將傳聲筒置於擴音器前方，擴音器的麥克風對準手提 CD 的喇叭口。



【步驟三】將鐳射筆的紅光對準傳聲筒上的鏡面，使紅光反射到黑板背景圖的中心點。



將鐳射筆和傳聲筒的距離固定

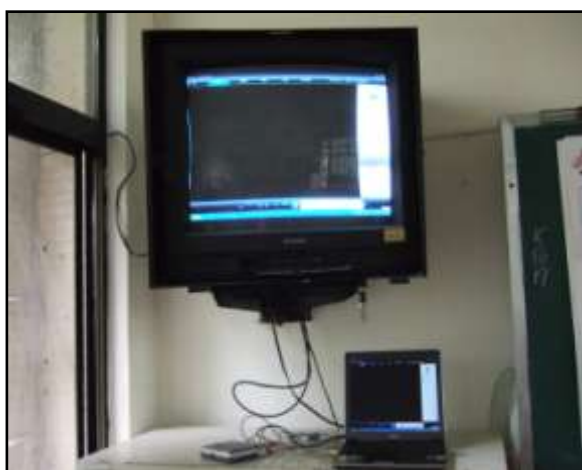


畫好間距的測量背景圖

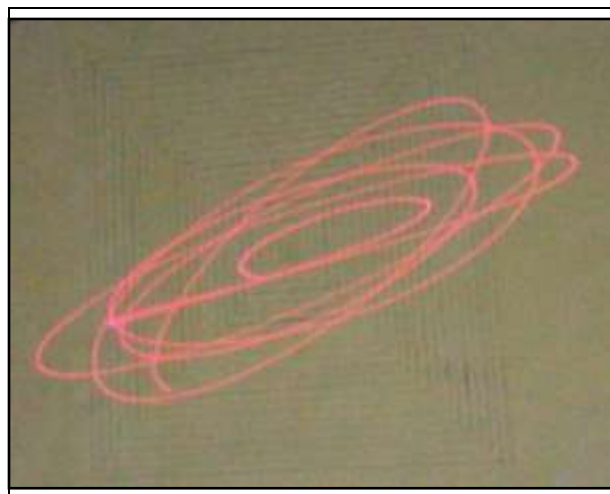
【步驟四】利用擴音器的音量鈕上的白色小點，將聲音控制為「大聲」和「小聲」二種程度的音量來測試。



【步驟五】利用電腦接於電視的畫面，觀看並分析振動情形的情況和特色。



【步驟六】利用「capture viewer」和「wink」二種免費軟體，將錄製的歌曲影音轉換成圖檔。



由影音轉換成的圖檔

陸． 研究結果與討論

一． 聲音真的會跳舞—以鐳射光來顯現聲音的振動

【實驗一】以「人」來發聲

1. 結果：我們以「人」的聲音為對象，並利用紙製洋芋片做傳聲筒，將傳聲器材備妥後，先以一黑色紙置於黑板做背景圖。分別由一位男生和一位女生，對著擴音器的麥克風，發出「ㄚ」、「せ」、「ㄨ」、「一」的聲音，並以數位相機拍攝。結果如表三：

表三：男女聲音的振動情形

發聲 性別	ㄚ	せ	ㄨ	一
男 生				
女 生				

2. 討論：

- (1) 男生和女生聲音，由鐳射光筆顯現的振動有相同點和相異點。
- (2) 相同點都是圓或圓的變形；相異點是男聲的振動範圍，較女聲大，且男聲圓形內部的線條，比女聲多。

【實驗二】以「鋼琴」來發聲

1. 結果：再探討完男、女聲的振動情形後，我們以相同的實驗器材，來測量「鋼琴」聲音振動的情形。我們將麥克風對著鋼琴內部的發聲系統，並彈八個音階（中央 do 至高音 do），每個音階固定二拍，同時使用數位相機將紅光移動的情形拍下來，以探討鋼琴的「音階」，其振動情形的特點。結果如表四：

表四：鋼琴音階的振動情形

音階	do(C) 	re(D)	mi(E)	fa(F)
鋼琴				
	so(G)	la(A).	si(B)	do(C) 
				

2. 討論：

- (1) 鋼琴音階的振動情形，仍以圓形或圓的變形為主。
- (2) 鋼琴振動所顯示的圓形內部線條，與人聲的圓形來比較，變化較多。
- (3) 鋼琴每個不同的音階，其振動情形亦都不同。So 的音甚至會擴散至背景圖外。
- (4) 鋼琴音階的聲音振動，比人發聲的聲音振動，更有變化。

二．聲音的大小，與鐳射光振動範圍的關係

【實驗一】「快」速度歌曲「踏雪尋梅」小聲和大聲的振動情形

1. 結果：我們利用紙製「洋芋片」傳聲筒，錄製課本歌曲「踏雪尋梅」小聲和大聲的振動情形。以同樣的秒數抓取圖案，振動結果如表五：

表五：「快」速度歌曲「踏雪尋梅」小聲和大聲的振動圖片

聲量 \ 秒數	56 秒	57 秒	58 秒
小聲			
大聲			

2. 討論：

- (1) 歌曲小聲時，鐳射光的移動範圍繞著背景圖的中心，做小範圍的擴散。

線條纏繞的情形不容易分辨。

- (2) 歌曲大聲時，鐳射光的移動範圍比小聲的還寬、並會拉長。線條清晰可見，富有變化，也很漂亮。
- (3) 歌曲無論小聲或大聲，鐳射光的移動範圍均為右上左下，並呈現拉長的圖案。

【實驗二】「快」速度歌曲「在梅邊」小聲和大聲的振動情形

1. 結果：我們利用「汽水大保特瓶」傳聲筒，錄製流行歌曲「在梅邊」小聲和大聲的振動情形。以同樣的秒數抓取圖案，振動結果如表六：

表六：「快」速度歌曲「在梅邊」小聲和大聲的振動圖片

聲量 \ 秒數	30 秒	31 秒	32 秒
小 聲			
大 聲			

2. 討論：

- (1) 歌曲小聲時，鐳射光的移動範圍繞著背景圖的中心點，做小範圍的擴散。線條纏繞的情形有些可分辨、有些難以分辨。
- (2) 歌曲大聲時，鐳射光的移動範圍比小聲的還寬、並會拉長。線條外觀清晰可見，但繞纏情形頗為紊亂。
- (3) 歌曲無論小聲或大聲，鐳射光的移動範圍均為右上左下，小聲的圖案除了拉長外，會有偏圓的圖片出現、大聲時的圖案近似將圓拉長的、內部交纏的圖案。

3. 小結：

- (1) 在「小聲」和「大聲」的實驗中，我們發現，同一首歌曲，小聲的聲音振動，透過鐳射光反射後，移動的範圍較小；而大聲的聲音振動，移動的範圍較大。實驗結果，進一步驗證課本中所學的：聲音的大小，會和振動的大小成正比。
- (2) 在這個實驗中，我們也發現，不同的歌曲、和不同材質的傳聲筒，鐳射光所顯示出來的圖案皆有很大的差異，尤其在「大聲」的圖案中，非常明顯。
- (3) 那麼以「相同的歌曲、利用不同的傳聲筒傳聲」，或是以「不同的歌曲、利用相同的傳聲筒傳聲」，這二種組合下的鐳射光圖案會是什麼情形？這樣的問題，即成為我們接下來的實驗重點。

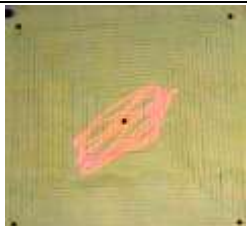
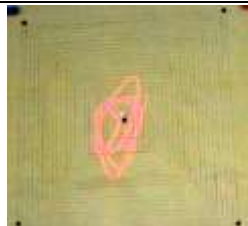
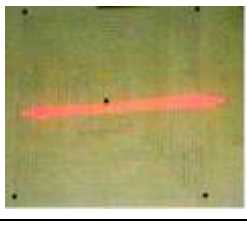
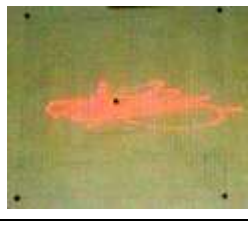
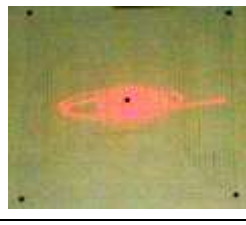
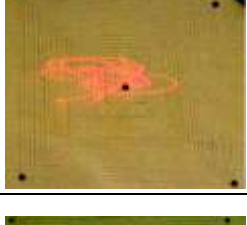
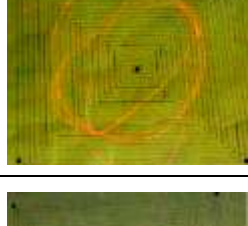
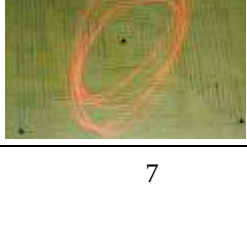
(4) 而接下來的實驗，皆以聲量「大聲」的圖案為主。而為了能比較聲音振動範圍的情形，我們在背景圖的四角和中心，點上共 5 個黑點，使我們在判斷、討論上能更清楚。

三. 同樣的歌曲，利用各種不同的傳聲器傳聲，其振動的情形

【實驗一】「快」速度歌曲「踏雪尋梅」，在不同的傳聲筒中的振動情形

1. 結果：我們播放課本中的歌曲「踏雪尋梅」，利用不同的傳聲筒，將其振動情形加以紀錄，發現每一種傳聲筒，所振動出來的歌曲「踏雪尋梅」，有很大的差異。其特徵及代表圖案如表七：

表七：「快」速度歌曲「踏雪尋梅」，在不同的傳聲筒中的振動

傳聲筒類型		振 動 情 形	代 表 圖 案		
鋁製	汽水瓶 (軟)	1. 上下振動。線較集中與單純。 2. 星狀線，擴大會往下方振動，有時呈漏斗型。			
	啤酒瓶 (硬)	1. 左右橫向振動，，拉成一條橫、扁型圓。 2. 大聲時偏下或右下振動。			
紙製	洋芋片 (軟)	1. 右上左下，或左右振動。 2. 線很亂，很少有單純橢圓形，圈中有線。			
	羽球筒 (硬)	1. 偏左右或左上右下振動。 2. 龍捲風的形狀，振動比洋芋片更為扭曲。			
塑膠製	礦泉水 (軟)	1. 右上左下振動。或上下振動。 2. 線很亂，比硬的汽水瓶還亂。			
	汽水 (硬)	1. 右上左下振動。或上下振動。 2. 線單純。呈蛋型，圓圈交纏。			

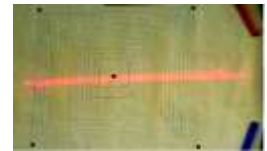
2. 討論：

- (1) 鋁製類傳聲筒「汽水瓶」和「啤酒瓶」圖案差異很大。「汽水瓶」的圖案偏圓形，圓形中間會有複雜的線條；「啤酒瓶」的圖案為趨近水平的振動。
- (2) 紙製傳聲筒「洋芋片」和「羽球筒」圖案有相似和相異的地方。二者的線條都很複雜；但二者振動偏向不同，「洋芋片」有規則的右上左下振動，「羽球筒」偏左上半部振動。
- (3) 塑膠保特瓶傳聲筒「礦泉水」和「汽水」振動圖案較為類似。二者的圖案都是以圓型為主，大圓時線條純，小圓內部線條複雜；而「汽水」的大圓多、小圓少，但「礦泉水」是小圓多、大圓少。

【實驗二】「慢」速度歌曲「茉莉花」，在不同的傳聲筒中的振動情形

1. 結果：我們播放課本中的歌曲「茉莉花」，利用不同的傳聲筒，將其振動情形加以紀錄，發現每一種傳聲筒，所振動出來的歌曲「茉莉花」，有很大的差異。其特徵及代表圖案如表八：

表八：「慢」速度歌曲「茉莉花」，在不同的傳聲筒中的振動情形

傳聲筒類型		振 動 情 形	代 表 圖 案		
鋁製	汽水瓶 (軟)	1. 右上左下、偏下方振動。 2. 線條的間距很空。往中央集中或振動。			
	啤酒瓶 (硬)	1. 水平一條線。 2. 陀螺型圓，像電話線纏繞。			
紙製	洋芋片 (軟)	1. 右上左下。 2. 由橫線構成，像一團亂的毛線團。			
	羽球筒 (硬)	1. 左上右下。擴散大時像蝴蝶散開。 2. 偏移比洋芋片範圍大。			
塑膠製	礦泉水 (軟)	1. 右上左下振動。星狀型較多，呈幅射狀。			
	汽水 (硬)	1. 右上左下振動。偶爾有上下振動。 2. 圓圈多，圈內有星狀。			

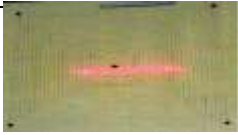
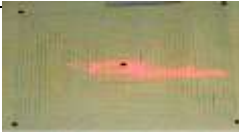
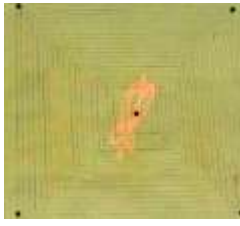
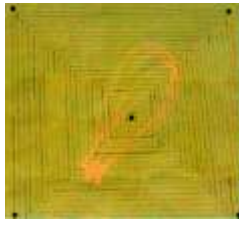
2. 討論：

- (1) 鋁製類傳聲筒「汽水瓶」和「啤酒瓶」圖案差異很大。「汽水瓶」的圖案偏圓形，圓形中間會有複雜的線條；「啤酒瓶」的圖案為趨近水平的振動。
- (2) 紙製傳聲筒「洋芋片」和「羽球筒」圖案有相似和相異的地方。二者的線條都很複雜；但二者振動偏向不同，「洋芋片」有規則的右上左下振動，但「羽球筒」偏左上半部振動。
- (3) 塑膠保特瓶傳聲筒「礦泉水」和「汽水」振動圖案非常不同。「礦泉水」線條較複雜，振動範圍集中於中心點；「汽水」的圓形大、線條單純。

【實驗三】「快」速度歌曲「在梅邊」，在不同的傳聲筒中的振動情形

1. 結論：我們播放流行歌曲「在梅邊」，利用不同的傳聲筒，將其振動情形加以紀錄，發現每一種傳聲筒，所振動出來的歌曲「在梅邊」，有很大的差異。其特徵及代表圖案如表九：

表九：「慢」速度歌曲「在梅邊」，在不同的傳聲筒中的振動情形

傳聲筒類型		振 動 情 形	代 表 圖 案		
鋁製	汽水瓶 (軟)	1. 上下振動，偏下方散開。集中於中心點。 2. 線條複雜。中心糾纏，像毛球。			
	啤酒瓶 (硬)	1. 幾乎平行，聚散快。 2. 線條較單純。			
紙製	洋芋片 (軟)	1. 右上左下。 2. 扁橢圓型。線條雖然複雜，但清楚楚。			
	羽球筒 (硬)	1. 偏左上、和上方擴散。 2. 線條複雜、線亂、。			
塑膠製	礦泉水 (軟)	1. 上下振動，偏右上左下。 2. 線條比紙製筒單純。圓圈出現較多，圈中帶著星星圖案。			
	汽水 (硬)	1. 右上左下圓，圓中有星型，偏右下，往中心點跑。			

2. 討論

- (1) 鋁製類傳聲筒「汽水瓶」和「啤酒瓶」圖案差異很大。「汽水瓶」的圖案偏圓形，圓形中間會有複雜的線條；「啤酒瓶」的圖案為趨近水平的振動。
- (2) 紙製傳聲筒「洋芋片」和「羽球筒」圖案有相似和相異的地方。二者的線條都很複雜；但二者振動偏向不同，「洋芋片」有規則的右上左下振動，但「羽球筒」偏左上半部振動。
- (3) 塑膠保特瓶傳聲筒「礦泉水」和「汽水」振動圖案，二者皆是拉長的橢圓、線條有點複雜。
- (4) 這首歌在影音的顯示上，振動的範圍會迅速的擴大至背景圖外，如紙製傳聲筒的代表圖案，也會迅速的回到中心點。忽大忽小的聲音，不只讓實驗者聽起來不舒服，甚至連傳聲筒都很容易被振離擴音器外，使得鐳射光無法將聲音的振動顯現，而重做好幾次。

【實驗四】「慢」速度歌曲「kiss goodbye」，在不同的傳聲筒中的振動情形

1. 結果：我們播放流行歌曲「在梅邊」，利用不同的傳聲筒，將其振動情形加以紀錄，發現每一種傳聲筒，所振動出來的歌曲「在梅邊」，有很大的差異。其特徵及代表圖案如表十：

表十：「慢」速度歌曲「kiss goodbye」，在不同的傳聲筒中的振動情形

傳聲筒類型		振 動 情 形	代 表 圖 案		
鋁製	汽水瓶 (軟)	1. 偏右下方振動。 2. 線條複雜，像飛得很快的蝴蝶。			
	啤酒瓶 (硬)	1. 平行的電話線纏繞，或平 8 字型。 2. 有些偏左上右下振動。			
紙製	洋芋片 (軟)	1. 為左上右下振動。 2. 蝴蝶展翅般擴散及收回。			
	羽球筒 (硬)	1. 左上右下振動，像花蝴蝶。 2. 像鋁製汽水瓶。			
塑膠製	礦泉水 (軟)	1. 右上左下往中央振動。 2. 圓圈蛋型，單純線條，星型或 8 字型。			
	汽水 (硬)	1. 偏右上左下，線條像蝴蝶一樣飛舞擴散。			

2. 討論：

- (1) 鋁製類傳聲筒「汽水瓶」和「啤酒瓶」圖案差異很大。「汽水瓶」的圖案好像蝴蝶飛舞；「啤酒瓶」的圖案為趨近水平的振動。
- (2) 紙製傳聲筒「洋芋片」和「羽球筒」圖案有相似和相異的地方。二者的線條都很複雜、花樣很多；但二者振動偏向不同，「洋芋片」有規則的右上左下振動，但「羽球筒」偏左上半部振動。
- (3) 塑膠保特瓶傳聲筒「礦泉水」和「汽水」振動圖案非常不同。「礦泉水」為單純線條的圓圈；「汽水」為線條就複雜許多。

3. 小結：綜合以上六個實驗，我們發現傳聲筒直徑較大、長度較長的，其聲音振動的範圍，會比傳聲筒直徑較小、長度較短的，振動範圍更大；而「紙製類」的傳聲筒，線條最複雜、也最有變化，好像蝴蝶飛舞一樣。

四、 不同的歌曲，利用相同的傳聲器傳聲，其振動的情形

【實驗一】利用「鋁製汽水瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲聲音的振動情形

1. 結果：利用「鋁製汽水瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十一：

表十一：「鋁製汽水瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲聲音的振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 上下振動。線較集中與單純。 2. 星狀線，擴大會往下方振動，有時呈漏斗型。			
茉莉花	1. 右上左下、偏下方振動。 2. 線條的間距很空。往中央集中或振動。			
在梅邊	1. 上下振動，偏下方散開。集中於中心點振動。 2. 線條複雜。中心糾纏，像毛球。			
Kiss goodbye	1. 偏右下方振動。線條複雜。 2. 像飛得很快的蝴蝶，飛上飛下。			

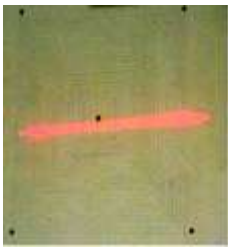
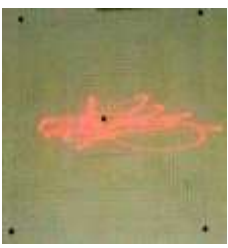
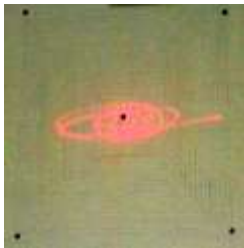
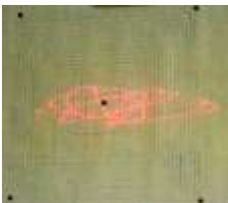
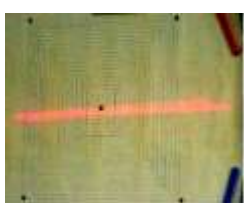
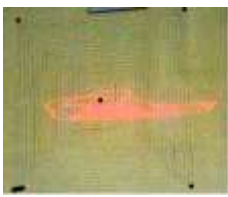
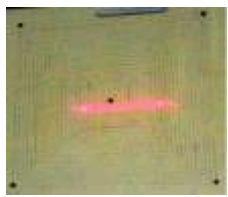
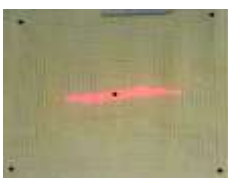
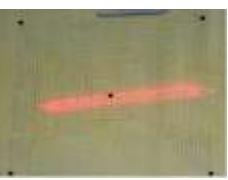
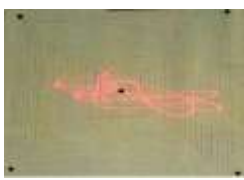
2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是上下振動。
- (2) 振動圖案的形狀為繞著中心點往外擴散的圓形。但線條形狀交纏、都很複雜。

【實驗二】利用「鋁製啤酒瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

1. 結果：利用「鋁製啤酒瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十二：

表十二：「鋁製啤酒瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 左右橫向振動，，拉成一條橫、扁型圓。 2. 大聲時偏下或右下振動。			
茉莉花	1. 水平一條線。 2. 陀螺型圓，像電話線纏繞。			
在梅邊	1. 幾乎平行，聚散快。 2. 線條較單純。			
Kiss goodbye	1. 平行的電話線纏繞，或平 8 字型。			

2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是左右平行振動。
- (2) 振動圖案的形狀幾乎為橫向的直線。線條形狀像有點亂的電話線。
- (3) 我們覺得這些平行線條的圖案，是因為「啤酒瓶」是相當硬的傳聲筒，吸音較少、使聲音很快反射所造成的。

【實驗三】利用「紙製洋芋片」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

- 結果：利用「紙製洋芋片」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十三：

表十三：「紙製洋芋片」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 右上左下，或左右振動。 2. 線很亂，很少有單純橢圓形，圈中有線。			
茉莉花	1. 右上左下。 2. 由橫線構成，像一團亂的毛線團。			
在梅邊	1. 右上左下，近水平。 2. 扁橢圓型。線條雖然複雜，但清楚。			
Kiss goodbye	1. 左上右下振動。大聲時偏左上振動。 2. 蝴蝶展翅般擴散及收回。			

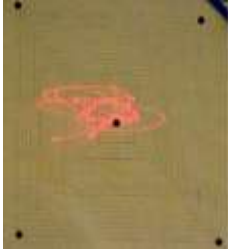
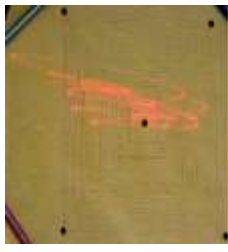
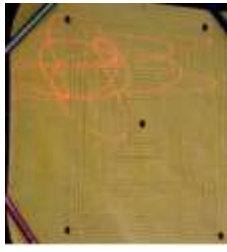
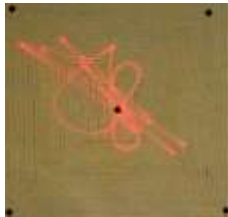
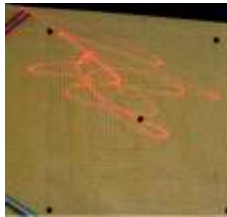
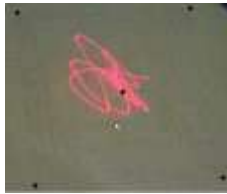
2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是右上左下振動。
- (2) 振動圖案的形狀複雜、線條清楚、圖案豐富。
- (3) 振動範圍明顯地超出背景圖的最外框。

【實驗四】利用「紙製羽球筒」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動

- 結果：利用「紙製羽球筒」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十四：

表十四：「紙製羽球筒」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 偏左右或左上右下振動。 2. 龍捲風的形狀，振動比洋芋片更為扭曲。			
茉莉花	1. 左上右下。擴散大時像蝴蝶散開。			
在梅邊	1. 偏左上、和上方擴散。 2. 線條複雜、線亂。			
Kiss goodbye	1. 左上右下振動，像花蝴蝶。			

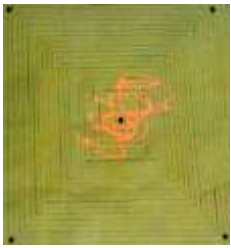
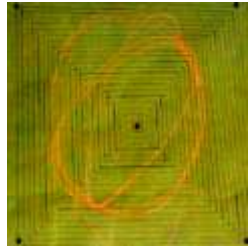
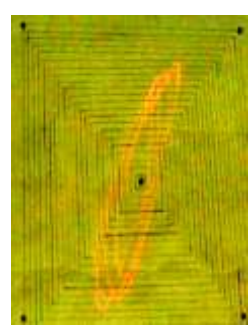
2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是左上右下、或偏左上方振動。
- (2) 振動圖案的形狀複雜、線條清楚、圖案豐富。
- (3) 振動範圍明顯地超出背景圖的最外框。
- (4) 我們覺得是因為「羽球筒」可能較硬、較長，聲音在筒身內振動比較久，折射、反射次數太多的關係。

【實驗五】利用「塑膠礦泉水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

1. 結果：利用「塑膠礦泉水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十五：

表十五：「塑膠礦泉水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 右上左下振動。或上下振動。 2. 線很亂。			
茉莉花	1. 右上左下振動。星狀型較多，呈幅射狀。			
在梅邊	1. 上下振動，偏右上左下。 2. 線條比紙製筒單純。圓圈出現較多，圈中帶著星星圖案。			
Kiss goodbye	1. 右上左下，往中央振動。 2. 圓圈蛋型，單純線條，星型或8字型。			

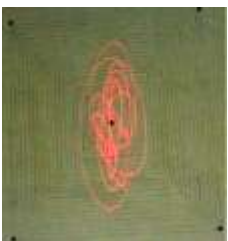
2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是右上左下振動。
- (2) 振動圖案的形狀為橢圓居多、或橢圓中間星狀（☆）圖案。

【實驗六】利用「塑膠汽水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

1. 結果：利用「塑膠汽水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動，發現不同的歌曲，利用相同的傳聲筒傳聲，會出現共同的特徵。結果如表十六：

表十六：「塑膠汽水保特瓶」傳聲筒，傳送不同歌曲的聲音振動情形

歌 曲	振 動 情 形	代 表 圖 案		
踏雪尋梅	1. 右上左下振動。或上下振動。 2. 線單純。呈蛋型，圓圈交纏。			
茉莉花	1. 右上左下振動。 2. 圓圈多，圈內有星狀。比礦泉水明顯的振幅。			
在梅邊	1. 右上左下圓，圓中有星型，偏右下，往中心點跑。			
Kiss goodbye	1. 偏右上左下，線條單純擴散。像蝴蝶一樣飛舞擴散。 2. 圓圈蛋型，固定於中間。			

2. 討論：

- (1) 振動方向幾乎都是右上左下振動。
- (2) 振動圖案的形狀為橢圓居多、或橢圓加上右上左下的線條。

3. 小結：

- (1) 同樣的歌曲，利用各種不同的傳聲器傳聲，其振動的情形都不同。這就像我們的經驗所知道的，同樣的一首歌，用不同的樂器，如直笛、鋼琴等，發出來的聲音不同。而由實驗得知，發出來的聲音不同，振動也會不同；
- (2) 在這二個實驗「同樣的歌曲，利用各種不同的傳聲器傳聲」和「不同的歌曲，利用相同的傳聲器傳聲」，經由觀察鐳射光的振動圖案歸納得知：「不同的歌曲，利用相同的傳聲器傳聲」，其圖案所顯示的共有特徵，會比歌曲本身的節奏快慢，所顯現出來的圖案更明顯。比如：「啤酒鋁罐」，所顯現的快節奏或慢節奏歌曲之圖案，均呈現水平振動的現象；而「紙製羽球筒」則呈現飛舞、不規則的圖

案。

- (3) 也就是說「不同的歌曲，利用相同的傳聲器傳聲，其振動的情形會有相似點」。這可以說明，不同的歌曲，我們以直笛吹奏、或者以鋼琴演奏。假設我們並沒有親眼見到演奏的樂器，仍然可以知道是經由那種樂器所發出來的聲音。另一個生活上的例子，在接起電話的同時，雖然我們並沒有親眼見到對方是男生、或女生，仍可以猜的出來。這是因為發聲器或傳聲器，會具有某種共同振動特徵之原故。此也說明「音色」，在我們日常生活辨認聲音上，佔有關鍵角色。
- (4) 背景圖上聲音振動的情形，就好像是聲音傳入我們的耳朵，耳膜振動的情形一樣。當振動的範圍很廣，超出背景圖的範圍，也就好像超出耳膜所能忍受的程度，耳膜自然就會因大聲振動，而無法忍受、甚至受傷。
- (5) 這二個實驗，讓我們對生活上的常識，或課本所學的知識，以鐳射光的圖形呈現，不但讓我們能一目了然，且也建立了一種科學測量的證據。

五、 聲音的高低，與振動的關係

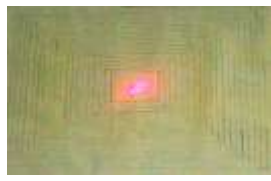
在前頁的實驗探討「同樣的歌曲，利用各種不同的傳聲器傳聲，其振動的情形」中，我們發現傳聲筒直徑較大、長度較長的，其聲音振動的範圍，會比傳聲筒直徑較小、長度較短的，振動範圍更大。因此在以下探討「聲音高低」，其振動的關係時，將採取傳聲振動結果比較明顯的傳聲器，如紙製羽球筒、塑膠汽水保特瓶、以及鋁製啤酒罐等，此三類來傳達聲音。

因為藝術與人文課本中附有樂譜，由譜中可清楚看出聲音的高低位置。所以就選取歌曲「茉莉花」和「踏雪尋梅」來做聲音高低音比較的實驗。

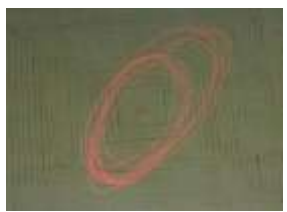
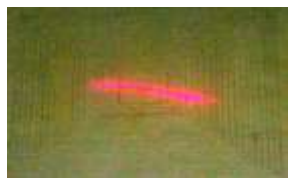
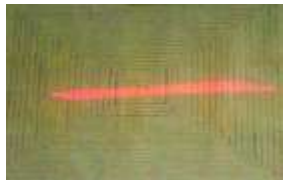
【實驗一】聲音「較低音」的振動情形

1. 結果：選取五線譜位置屬於「較低音」的圖案，比如歌曲「茉莉花」歌詞「莉」，以及「踏雪尋梅」歌詞「時」。發現「較低音」的聲音振動，具有某些共同的特徵。結果如表十七、和表十八：

表十七：「茉莉花」歌詞「莉」，屬於「較低音」的聲音振動情形

五線譜位置	傳聲器	顯 示 圖 案	觀 察 描 述
	紙 製 羽球筒		 1. 振動範圍較廣、也差不多。 2. 線條複雜、變化多。像飛舞的蝴蝶。
	塑 膠 保特瓶		 1. 振動方向偏轉。 2. 振動範圍先小後大。 3. 圖形有變化。先橢圓，後圓拉長。
	鋁 製 啤酒瓶		 1. 振動範圍先小後擴大。 2. 圖案外觀為橢圓形形狀。

表十八：「踏雪尋梅」歌詞「時」，屬於「較低音」的聲音振動情形

五線譜位置	傳聲器	顯 示 圖 案	觀 察 描 述
	紙 製 羽球筒		 1. 振動範圍較廣。 2. 線條複雜、變化多。像飛舞的蝴蝶。
	塑 膠 保特瓶		 1. 振動範圍先小後大。 2. 圖案外觀為橢圓形形狀。
	鋁 製 啤酒瓶		 1. 振動範圍先小後大。 2. 水平線條振動。

2. 討論：

- (1) 「紙製羽球筒」振動範圍較廣，且線條複雜、變化多。像飛舞的蝴蝶。
- (2) 「塑膠保特瓶」和「鋁製啤酒瓶」振動範圍皆先小後大。

【實驗二】聲音「較高音」的振動情形

1. 結果：選取五線譜位置屬於「較高音」的圖案，比如歌曲「茉莉花」歌詞「美」，

以及「踏雪尋梅」歌詞「噹」。發現「較高音」的聲音振動，具有某些共同的特徵。結果如表十九、和表二十：

表十九：「茉莉花」歌詞「美」，屬於「較高音」的聲音振動情形

五線譜位置	傳聲器	顯 示	圖 案	觀 察 描 述
	紙 製 羽球筒			1. 振動範圍先小後擴大。 2. 像平行、纏繞的電話線。
	塑 膠 保特瓶			1. 皆為橢圓形圖案。 2. 振動範圍幾乎一致。
	鋁 製 啤酒瓶			1. 水平線條振動。 2. 振動範圍幾乎一致。

表二十：「踏雪尋梅」歌詞「噹」，屬於「較高音」的聲音振動情形

五線譜位置	傳聲器	顯 示	圖 案	觀 察 描 述
	紙 製 羽球筒			1. 振動範圍擴大後縮小。
	塑 膠 保特瓶			1. 水平線條振動。 2. 振動範圍擴大後縮小。
	鋁 製 啤酒瓶			1. 振動範圍擴大後縮小。

2. 討論：

(1) 六組圖案中，「紙製羽球筒」在歌曲「茉莉花」歌詞「美」，振動範圍先小後擴大，是屬於比較特別的圖案；其它五組振動範圍幾乎一致、或呈先擴大後縮小的情形。

(2) 「較高音」的六組聲音振動圖案，與「較低音」比較起來，「較高音」

圖案比較單純、振動範圍比較小；而「較低音」的圖案比較富有變化，振動範圍比較廣。

3. 小結：

- (1) 「紙製傳聲筒」圖案，聲音振動的範圍比較沒有規則可循，線條也比其它二種傳聲筒複雜、有變化。
- (2) 「塑膠保特瓶傳聲筒」和「鋁製傳聲筒」，則有一定的特點。在「較低音」部分，二種傳聲筒的圖案，振動範圍皆是先小、後擴大；而在「較高音」部分，二種傳聲筒的圖案，振動範圍皆是先擴大、後縮小。
- (3) 在生活的經驗中，聲音低者，大部份都較綿長，有磁性、會延續的感覺；聲音高者，聽起來大部份都很短、急促、很快結束的感覺。在這個聲音高、低音振動情形的實驗中，分析圖案的振動範圍後得知，此與我們的感官經驗加以對照，頗為相似。

柒． 結論

- 一、 聲音的振動可以以鐳射筆的紅光顯現，以進行科學測量的實驗。
- 二、 聲音的大小，與鐳射光振動範圍大小成正比。
 - (一) 聲音越大，在鐳射光顯示的圖案中，移動範圍越大、線條容易辨認；聲音越小，在鐳射光顯示的圖案中，移動範圍小、趨近背景圖的中心點，只有小圓圈的變化，線條不容易看清楚。
 - (二) 在音響上，有一種瓦數的設備，會隨音量大小而高低起伏，音量大聲者瓦數指示會增高；音量小者則降低。這個現象，也可以由鐳射光的移動而得到驗證。
- 三、 六種不同的傳聲器材質，對相同聲音的振動影響皆不同。這在鐳射光所顯示的不同的圖案中，可一目了然。課本上曾教過，同樣一首歌曲，由不同的樂器演奏，聽起來會不同。根據實驗，發音體材質不同，振動圖案也就不相同。這就是「音色」的證明。
- 四、 相同的傳聲器材質，在傳遞不同聲音時具有共同特徵。這在鐳射光所顯示的相類似的圖案形狀中可看出來。比如生活經驗中得知，不同的歌曲，由相同的樂器，比如由鋼琴來演奏。即使我們沒有見到演奏的樂器，仍可以猜出一個大概。那是因為每種發音體或傳聲體，其發聲振動時，會有大同小異的特徵。也可以說在「音色」方面具有明顯相同的特徵。而這個實驗顯示的圖案，也進一步驗證了這種日常生活感官的經驗。
- 五、 聲音的高低，在鐳射光振動的圖案中會產生不同的變化。低音的圖案，移動範圍會先小、後擴大。在生活的經驗中，聲音低者，大部份都較綿長，有磁性、會延續；而高音的圖案，移動範圍會先擴大，後縮小。在日常經驗中，聲音高者，聽起來大部份都很短、急促、集中、且很快結束。在實驗所得到的圖案中，這個道理也約略相符。
- 六、 傳聲器「材質」所顯示出的圖案，比歌曲「節奏快慢」所顯示出來的圖案，更具有明顯的特徵。比如無論歌曲節奏的快慢，在六種自製的傳聲筒中，「紙製類」傳聲筒所顯示的圖案線條，最有變化、最複雜、且較無規則可循；「鋁製類」和「塑膠保特瓶類」的傳聲筒，所顯示的圖案線條，比較單純、易辨認，也較有規則可加以歸納。
- 七、 在三種自製的傳聲筒類型中，屬同一類的，材質若較大、較硬、較長者，其振動範圍都會比較大；反之亦然。這可以說明，若是我們想製造擴音器，或是良好的傳聲材質，如音響、喇叭等等，這樣的實驗結果，可以讓我們來做參考。
- 八、 「紙製類」傳聲筒所顯示的圖案，不同於「鋁製類」和「塑膠保特瓶類」，最有可能的原因是，紙製類的傳聲筒，材質較軟，聲音在傳遞振動時，所

經過的反射、或吸音等過程，與其它二類的傳聲筒效果不同。但真正的關係，仍有待更精密的科學研究方法及儀器的測量，才可能得到證據。

捌． 其它一回顧與展望

- 一、 在過去的研究資料當中，對於單音或音階的聲音圖案之呈現，已有一些探討。而我們在完成單音音階實驗後，即進行 CD 歌曲的實驗。主要原因在於，單音或音階的實驗，我們沒有分貝機，無法控制大小聲聲量；但 CD 歌曲的實驗，卻可以利用手提 CD 和擴音器來控制聲量及秒數，比較符合科學的實驗過程。
- 二、 實驗場所是簡單的教室，沒有遮陽設備。我們發現在每次錄製的過程中，天氣因素是個關鍵。每當天氣陰暗時，背景圖會較暗，所錄製的影像就非常清楚；但陽光充足時，背景圖會很亮，所錄製的振動圖案就非常不清楚。因為天氣的關係，以致於顯現於電腦的圖案其明亮度、和清晰度都不相同。明明是千挑萬選下黃色的背景圖，擷取成圖案後都看不出來，這是應改進的地方。
- 三、 聲音畢竟是屬於感官的聽覺部分，將其振動圖案呈現，對實驗參與者而言，雖然可以一目瞭然，更加明白；但對於只能見到書面資料者而言，幾張圖案卻是很難與聲音變化產生聯結的。為了修補這樣的缺陷，在「附錄」中，我們將每首錄製的歌曲圖案，在最有變化的一段，加以書面呈現；而在科學展覽會場上，將以電腦呈現所錄製的歌曲聲音及圖案之視窗，以讓更多人能參與我們的實驗結果。
- 四、 我們所選取的 CD 歌曲，內容很複雜，有人聲、鋼琴聲、鼓聲、合唱…等等。雖然顯現出來的圖案，因許多的合聲而呈現線條豐富，但最後也導致無法好好的探討一些因素。比如：歌曲速度的快慢，在顯示圖案中，並未將其特徵加以歸納；而高低音圖案，需要更多單音所呈現的證據，再來尋求其規則性；在教科書和唱片行所錄製的 CD，其實也可由振動圖案中，加以比較檢視其品質等（比如在小聲聲量控制中，唱片行 CD 比教科書 CD，振動幅度大且線條有變化）。實驗過程中，即使我們有一些相關的心得與發現，但因 CD 歌曲過於複雜，證據無法單純化，導致無從探討。這也是應改進的地方。
- 五、 總而言之，其實這個聲音會跳舞的實驗是很有趣的。我們未來還曾想到要來做國語注音、台語及音文音標等的發音振動圖案，看看標準的發音，是那種圖案的對照。若是真能歸納出來，那麼外國人學華語，或我們學外語、和方言，如果已有標準振動範圍的圖案，就可以拿著麥克風發音測試，看是否符合標準圖案。如此一來，不但可以自我測試發音的精準度，且學起第二語文，也更加有

趣。

玖． 參考資料

水晶（民 95 年 3 月 10 日）。當傳統碰上流行。**水晶的音樂心情記事**。民 96 年 4 月 20 日，
取自：<http://blog.sina.com.tw/shirley/article.php?pbgid=16217&entryid=4902>

台北市立民生國民中學（無日期）。知音難尋、相遇則鳴。**台北市第 43 屆中小學科展作品**。
民 96 年 4 月 20 日，取自：<http://www.ntsec.gov.tw/activity/race-1/43/pdf/d/030110.pdf>

它真的看得見！---利用雷射光偵測微小位移之研究。（無日期）。民 96 年 4 月 20 日，取自：
<http://nknush.kh.edu.tw/~jiaowu/shebeizu/45%A9%A1%A5%FE%B0%EA%AC%EC%AEi%A5I%BDZ/%B0%EA%A4p%C0%B3%AC%EC/4-080823.doc>

用 聲 音 來 畫 圖。（無日期）。**科學遊戲目錄**。民 96 年 4 月 20 日，取自：
http://content.edu.tw/primary/nature/ks_gc/game/htm/g01.html

依瑪貓（民 92 年 11 月 23 日）。蜜蜂振翅發聲？—振聲啓瞶的動物實驗？【討論訊息】。Sci-study
Maillist 2003：<http://sts.nthu.edu.tw/board/read.php?f=16&i=1664&t=1663>

馬爺爺（無日期）。**漫談聲音**。民 96 年 4 月 20 日，取自：<http://www.bud.org.tw/Ma/Ma23.htm>

物理聲音現形記 瞧一瞧~聲音的 Do Re Me。（無日期）。**台中縣 44 屆中小學科展作品**。民 96
年 4 月 20 日，取自：http://science.boe.tcc.edu.tw/up44/43_物理聲音現形記.pdf

第三章 聲音。（無日期）。民 96 年 4 月 20 日，取自：
<http://www.ktjhs.tp.edu.tw/effect/%B0%EA%A4%A4%B2z%A4%C6/%B2%C403%B3%B9%A1@%C1n%A1@%AD%B5.ppt#1>

黃福昆（民 88 年 11 月 13 日）。**聲音的三要素 ——響度、音調、音品**。國立台灣師範大學物理系。
民 96 年 4 月 20 日，取自：
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/modules/%C1n%AD%B5/section2.html>

買知識點數請寄信（民 95 年 9 月 13 日）。請問床頭音響的瓦數是什麼東西呀？【討論訊息】。
音響設備：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1406091308035>

劉志明醫生（無日期）。如何擁有完美的聲音。**劉志明耳鼻喉科診所衛教文章**。民 96 年 4
月 20 日，取自：<http://www.doctor.com.tw/gm/right4-16.htm>

聲音 Q & A。（民 93 年 3 月 7 日）。**聲音的奧妙**。民 96 年 4 月 20 日，取自：

<http://home.jses.tpc.edu.tw/~sound/page07.htm>

聲音是如何產生的。（無日期）。民 96 年 4 月 20 日，取自：
http://www.syjhs.tp.edu.tw/t215/Web/m_st_pc_pp/C3%C1n%AD%B5.ppt#3

藍色#弦月（民 95 年 1 月 14 日）。王力宏的新專輯-蓋世英雄【討論訊息】。華語音樂：
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1406011408016>

IMSOSO（民 94 年 9 月 8 日）。為什麼錄在錄音帶裡的自己聲音會改變？【討論訊息】。科學
醫療：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/?qid=1305090811086>

【評 語】 081515 聲音會跳舞

1. 結合共振薄膜及雷射頗具創意，唯對其中的物理可再作進一步的探討。
2. 如果能對雷射產生的圖樣做簡單的說明，將會更吸引兒童參觀的興趣。
3. 關於振動的觀察，應有更好的方法，宜多收集資料後再決定研究方向。
4. 分析過於簡略。