

# 新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科別：物理

組別：國小組

作品名稱：雨下得好「密」~自製雨聲筒之探究

關鍵詞：聲音、雨聲筒、密度

編號：

# 作品名稱：雨下得好「密」~自製雨聲筒之探究

## 摘要

不同的樂器會產生不同的音色，這跟樂器材質有關係，材質跟密度也有關係。為什麼樂器材質的密度大小會影響聲音？學校有「AI 精靈團」的課程，我們查詢資料後覺得很新鮮有趣，因此，決定探討材質的密度與聲音之間的關係。

我們利用廢棄的羽毛球紙筒、過期的豆子等做成「雨聲筒」並採用「阿基米德排水法」測量豆子的堆積密度等方式實驗。結果發現：當豆子倒入筒中，聲音來自「撞擊+振動+空氣共鳴」，再加上豆子、螺旋狀導流物及筒子等本身的材質密度不同時，聲音都有不同的表現。因此，當樂器材質的密度不同，震動的方式也會不同，所以聽起來的聲音特色也會不同，這就是人們在購買樂器時，會考慮或挑選不同材質的重要原因之一。

## 壹、前言（含研究動機、目的、文獻回顧）

### 一、研究動機

上自然課時，我們學到聲音有三要素：音量、音調、音色。老師補充說：「聲音可以透過固體、氣體、液體三種介質，以波的形式傳播，讓我們的耳朵能聽到不同的樂器會產生不同的音色，這跟樂器材質也有關係，例如：吉他的琴弦彈性鬆緊、木琴的琴鍵材料不同跟密度大小也有關係等等」。我們很好奇「密度」是什麼？為什麼樂器材質的密度大小也會影響音色？學校有「AI 精靈團」的課程，我們上去查詢資料後覺得很新鮮有趣，因此想探討材質的密度與聲音之間的關係。

恰巧，學校有一批體育課使用完畢的羽毛球紙筒需要進行處理，於是我們靈機一動，把它回收再利用做成「雨聲筒」來實驗。我們向老師、同學們徵求過期的四種豆子：綠豆、紅豆、黑豆及熟咖啡豆；筒子內部結構使用同樣長度粗細的竹籤及鐵釘。筒子外部的材質，除了以學校原有的紙筒，也採用透明塑膠筒、刺竹、桂竹、金屬鋁管等來比較。

選擇「雨聲筒」這種樂器做實驗，材料的收集都是以回收再利用為原則，符合以「永續發展目標 SDGs」其中「SDGs 目標 12-促進綠色經濟，確保永續消費及生產模式」（陳芳毓、許鈺屏、李鈺淇、高偉倫、阮怡婷，2025）。另外，在中華民國中小學科學展覽會歷屆優勝作品第 57 屆【雨棍的奧祕】中所提到「變換釘子數量、釘子排列方式、置入顆粒、釘子種類、筒子材質，可有千變萬化的方式，也可以讓雨棍聲音變化萬千...」，讓我們感覺很有

趣味性，想以「做中學、學中玩」的方式來進行實驗，再將製作的經驗分享給親朋好友帶大家一起來玩「兩聲筒」，這樣也可以達到永續發展目標「SDGs 目標 3 –確保及促進各年齡層健康生活與福祉」，協助舒緩現代人的生活壓力達到身心靈的平衡。

## 二、研究目的

- (一)、探討單一豆子的重量對聲音的影響。
- (二)、探討螺旋狀導流物的數目與聲音的關係。
- (三)、探討不同豆子種類的堆積密度與聲音的關係。
- (四)、探討單一豆子與混合豆子的堆積密度與聲音的關係。
- (五)、探討不同螺旋狀導流物的密度與聲音的關係。
- (六)、探討不同材質的筒子密度與聲音的關係。

## 三、文獻回顧

### (一)、聲音的三要素（資料來源摘自 2016 全國科學探究競賽－這樣教我就懂）

- 1.音量（響度）：聲音的大小（強弱），聲波的振幅（即振動的能量），振幅愈大，響度愈大，單位為分貝（dB）。
- 2.音調（音頻）：聲音的高低，聲波的頻率，振動愈快，頻率愈大，音調愈高，單位為赫茲（Hz）（次/秒）。
- 3.音色：聲音的特色，聲波的波形，不同的發聲體會有不同的波形。

### (二)、密度（density）

我們平常說的「輕重」，可以用來表示「在整體中的質量」或是「物體體積的質量」這兩個意思。例如：說到物體的沉浮都知道重的東西下沉，輕的東西上浮，這時候說的「輕重」，指的是物體體積的質量，物體的體積 1 立方公分的質量就叫做密度。公式為密度 = 質量 / 體積。（資料來源摘自教育百科）

參考資料 歷屆優勝作品	名稱	文章內容（摘錄）
第 42 屆	竹蟬是胡琴的老祖宗－探究弦樂器的構造、發聲方式及製作簡易絃樂器－	（一）先針對發聲原理——探討發音的方法和發音的特性。（二）再藉由它來尋找絃樂器的發音特性。（三）進而利用它來自製簡單絃樂器——胡琴。
第 47 屆	拍出旋律－自製號笛管樂器研究	1.拍打後手仍密合和拍打後手馬上放開，發出的聲音高低差異性頗大。2.短管子下，管

		內徑大小會影響聲音高低，而較長管子時，管內徑大小對頻率影響不明顯。3.溫度會影響聲音高低。4.拍打物會影響聲音結果。5.管子長度影響聲音高低頗大。6.比較同長度的彎、直管，管子長時音調高低大致一致；但管子短時，差異會較大。
第 47 屆	魔笛機密	影響陶笛音調高低的變因有： （一）氣切孔面積越大，音調越高。 （二）指孔的面積越大，音調越高。 （三）空腔越大，音調越低。
第 50 屆	當號角響起～探究影響自製喇叭聲音之因素	我們發現共振筒的材質影響聲音的音色最為明顯，鐵罐音色響亮、寶特瓶音色清脆、紙罐音色直而厚；共振筒的粗細則明顯影響音量大小，共振筒口徑愈粗，音量愈大；而共振筒的長短、形狀對音調的高低有決定性的影響，共振筒長度愈短，音調愈高；集氣筒和吹管對音量及頻率的影響較小。
第 56 屆	傳聲筒之五四三	本研究主要探討傳聲筒傳聲的最佳條件，如：距離、材質、表面粗糙程度，及不同角度時筒壁和筒長間的相互關係，期望能找到傳聲筒角度和長度之間的最佳比例。
第 57 屆	雨棍的奧祕	研究結果發現：釘子越多、左右距離越近、置入顆粒越大、釘子越粗，雨棍單次翻轉聲音持續的時間越長。雨棍聲音的分貝數則會受到釘子數量、釘子排列方式、置入顆粒、筒子材質的影響。
全國科學探究競賽－這樣教我就懂	聲音好好玩	聲音是通過物體振動產生的聲波，透過介質（氣體、固體、液體）傳播後被人或動物聽覺器官所感知的波動現象。

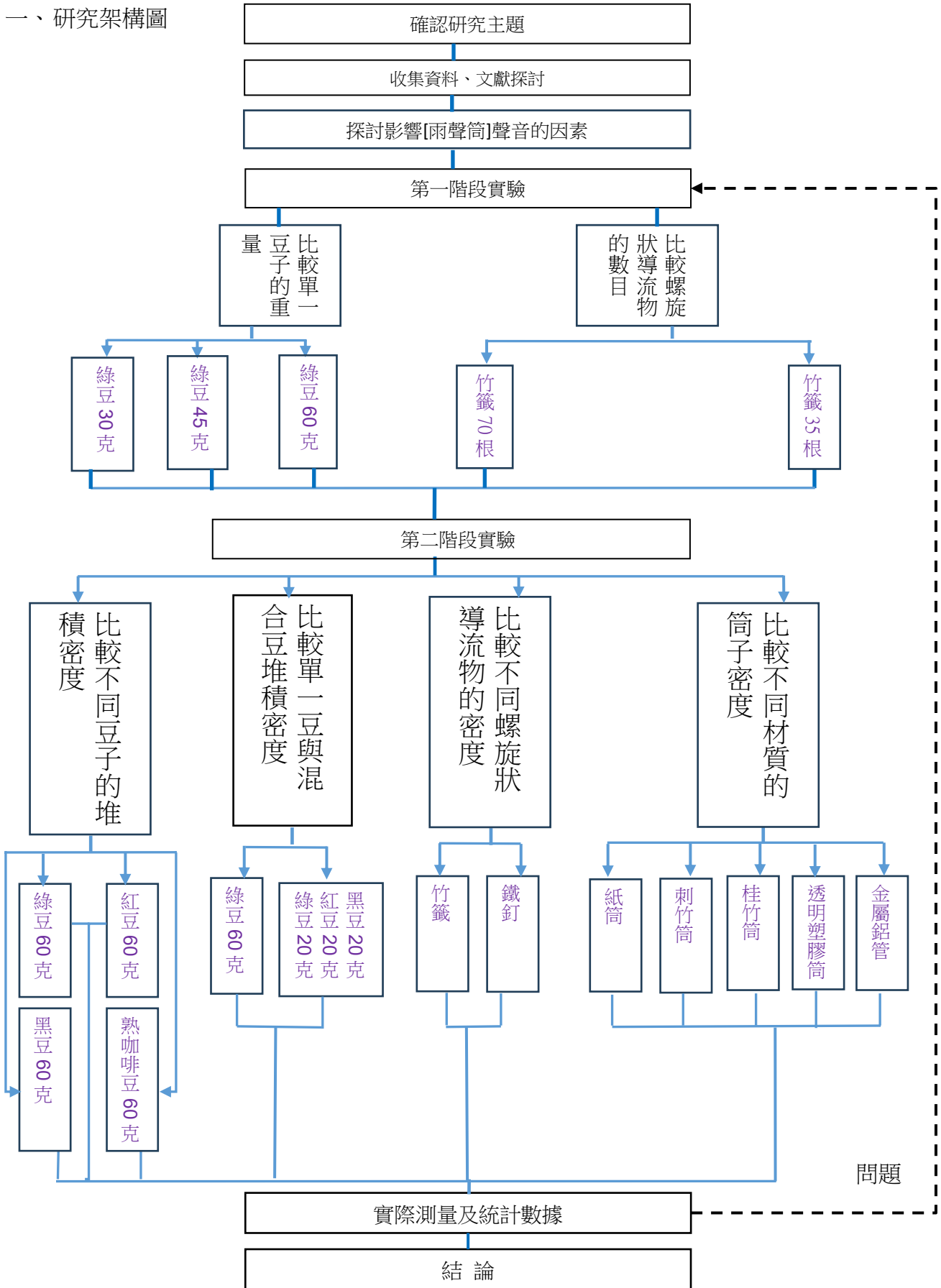
## 貳、研究設備及器材

一、實驗所需求設備及器材如下表：

記錄器材						
平板/無邊記 APP/錄音	電腦	文書處理軟體(word、excel)	記錄表	照像設備(手機)	儲存硬碟	標籤紙
						
打洞器材						
刻磨機	護目鏡	工作手套	小槌子	HSS 鑽頭	膠帶	斜口鉗
						
測量器材						
分貝計	切割墊/尺	量杯	磅秤	音頻分析軟體	量角器	槓桿實驗器
						
實驗材料						
綠豆	紅豆	黑豆	熟咖啡豆	竹籤	鐵釘	砂紙
						
紙筒	刺竹筒	桂竹筒	透明塑膠筒	金屬鋁管	打洞鐵棒	
						

# 參、研究過程或方法

## 一、研究架構圖



## 二、研究過程與步驟

### (一)、收集資料

「兩聲筒」能夠發出聲音是因為筒子在傾斜或搖動時，裡面的內容物顆粒在螺旋狀導流物上摩擦碰撞，產生連續撞擊振動而發出聲音。因此，我們認為每種材料的長度、體積、重量都不一樣，密度也不同，皆會影響聲音的表現。因為沒有精密的儀器可以測量，我們上網詢問 ChatGPT、Gemini 找到下列資料：



材質 / 物品	估計密度 (g/cm <sup>3</sup> )	物理特性說明
鐵釘	7.80 ~ 7.90	密度最高，在水中會迅速下沉。
綠豆	1.30 ~ 1.45	比水重，結構紮實，體積小。
紅豆	1.30 ~ 1.40	與綠豆相近，通常會沉在水底。
黑豆	1.10 ~ 1.25	略大於水，但依品種與含水量會有所變動。
塑膠	0.90 ~ 1.40	種類繁多。PE、PP 通常會浮在水面，PVC 則會下沉。
紙筒	0.40 ~ 0.70	取決於纖維緊密度與塗層，受壓實程度影響。
竹籤	0.60 ~ 0.80	具有纖維孔隙，密度通常小於水，會浮在水面上。
咖啡豆（烘焙後）	0.30 ~ 0.60	烘焙後內部充滿孔洞且脫水，是豆子中最輕的。
桂竹	0.70 - 0.90	質地較細密，纖維密度高。
刺竹	0.60 - 0.85	質地較粗，纖維密度中等
鋁管	2.7	鋁的本體重，但空心結構使其堆積密度低。

我們參考中華民國中小學科學展覽會歷屆優勝作品第 57 屆【雨棍的奧秘】中的實驗做法，同時也上網參考 YouTube 製作「雨聲筒」影片及網路資料等互相比較後，決定「雨聲筒」的實驗模型及方式。我們是以回收的空羽毛球紙筒為主，羽毛球紙筒長度是 40 公分，筒口直徑約是 6.5 公分，其他材質的筒子長度、直徑比照紙筒的尺寸。

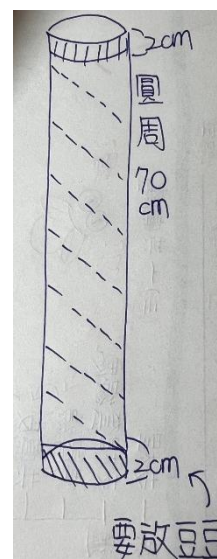


## (二)、製作雨聲筒步驟

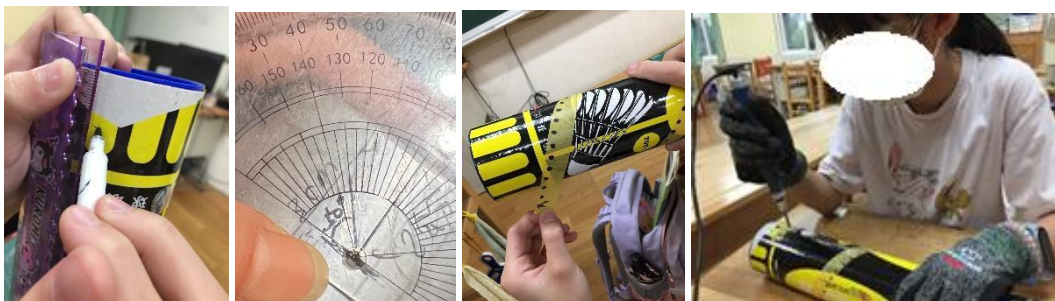
1. 先將竹筒節點裡的內膜打通。

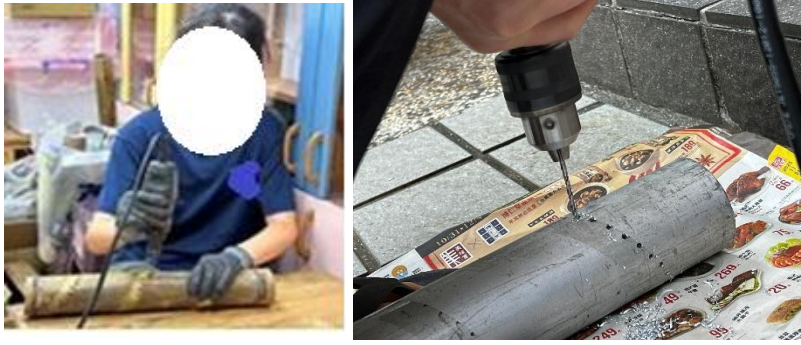


2. 將 70 公分膠帶以 1 公分、2 公分的間距做記號。



3. 距離上下邊緣 2 公分，膠帶以 50 度斜角固定並纏繞筒子成螺旋狀後打洞。





4. 將剪短的竹籤（約 6 公分）及同樣長度、粗細的鐵釘，用槌子輕輕敲進鑽好的孔，製做成螺旋狀導流物。最後再用斜口鉗修剪多餘的長度，用保麗龍膠黏住後，再用砂紙磨平筒外，最後貼上膠帶固定。



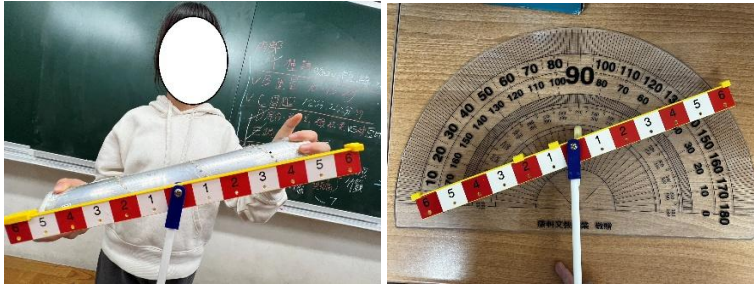
5. 將豆子倒入筒中，貼上膠帶固定及纏繞封口，並貼上標籤。



### (三)、研究數據的取得過程

1. 事先指定同一位同學（甲生）帶一根兩聲筒回家練習翻轉，使之每次翻轉的手勢相同，並盡可能讓力道一致。
2. 尋找校內安靜的空間，關閉所有門窗，減少雜音。
3. 將槓桿實驗器、量角器固定在桌邊，桌面放置錄音用的平板及行動硬碟、分貝計及記錄本。

4. 甲生雙手握兩聲筒二端，雙手傾斜角度 40 度要與槓桿實驗器傾斜角度平行。



5. 乙生拿手機預備按分貝計啟動鈕，丙生預備按錄音設備、丁生準備記錄。



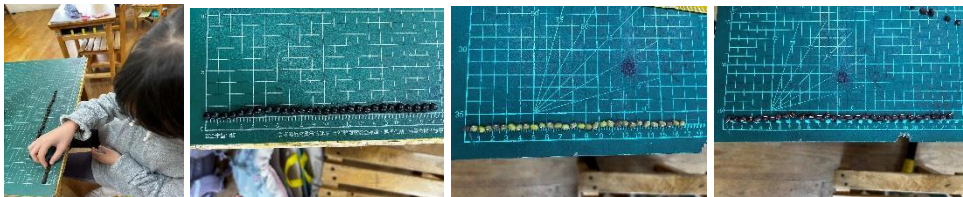
6. 由甲生準備好時，喊口令「預備—開始」，所有人同時動作。

7. 甲生翻轉兩聲筒使其不再發出聲音後喊口令停止，紀錄分貝計顯示的最高值、最低值及秒數，錄音檔存檔。

8. 每一個兩聲筒測量 10 次，並計算其平均值。




#### (四)、測量豆子的長度、體積及重量，計算出堆積密度

1. 先測量綠豆、紅豆、黑豆、熟咖啡豆的每顆平均長度。（採樣數 30 顆）



各種豆子總長度		平均
咖啡豆 30 顆總長度	335 公分	1.12 公分
黑豆 30 顆總長度	19.4 公分	0.64 公分
綠豆 30 顆總長度	16.7 公分	0.56 公分
紅豆 30 顆總長度	24 公分	0.8 公分

豆子種類	30 顆的總長度 (公分)	平均 (公分)
熟咖啡豆	33.5	1.12
黑豆	19.4	0.64
綠豆	16.7	0.56
紅豆	24	0.8

種類	綠豆	紅豆	黑豆	咖啡豆	混合豆
倒入時 狀態					
沒入水 中狀態					

註：三種混合豆子為綠豆、紅豆、黑豆，重量各 20g

2.採用「阿基米德排水法」求得不同種類的豆子之堆積密度。

- (1). 綠豆、紅豆、黑豆、咖啡豆、混合豆，秤好 60g。
- (2). 每次量杯先裝好 100cc 的水。
- (3). 再將 60g 的豆子倒入水中。
- (4). 豆子均勻沒入水中，計算 100cc 的水上升的高度即為豆子的體積。
- (5). 若豆子有浮在水面時，蓋上塑膠片用手輕壓中心點讓豆子沒入水中；計算 100cc 的水上升的高度即為豆子的體積。（ $\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{體積}}$ ）
- (6). 依據數據計算豆子的堆積密度。



### 三、實驗步驟及方法

#### 第一階段實驗項目：

實驗組一：比較單一豆子的重量。

研究假設：60g 的豆子重量對聲音的影響愈大。

實驗步驟：

- (一)、三個紙筒分別填入 30g、45g、60g 重量的綠豆。
- (二)、每根筒子分別實驗 10 次。
- (三)、分析實驗結果。
- (四)、針對疑點再次增加實驗次數各 20 次。
- (五)、分析三個兩聲筒各實驗 30 次的資料。



實驗結果：此實驗結果與假設不符，經實驗結果發現，45g 的豆子掉落的秒數最長、音量最大。

操縱變因		控制變因（主要）			
豆子的重量 (g)		相同的豆子種類	相同材質的筒身	相同材質的螺旋狀導流物	相同材質的螺旋狀導流物數目 (根)
對照組	60	綠豆	紙筒	竹籤	70
實驗組	30 45				

實驗組二：比較螺旋狀導流物的數目。

研究假設：70 根的竹籤對聲音的延長性較久。

- 實驗步驟：
- (一)、每個紙筒分別插入竹籤 35 根及 70 根。
  - (二)、每個筒子分別實驗 10 次。

實驗結果：此實驗結果與假設相符，70 根的竹籤對聲音的延長性較久。



操縱變因		控制變因（主要）		
螺旋狀導流物的數目		相同的豆子重量 (g)	相同材質的筒身	相同材質的螺旋狀導流物
對照組	70 根	60	紙筒	竹籤
實驗組	35 根			

## 第二階段實驗項目：

實驗組 A：比較不同豆子種類的堆積密度。

研究假設：豆子的堆積密度大，對聲音的影響較大。

實驗步驟：（一）、先量好 60g 的豆子，並用「阿基米德排水法」  
測量豆子的堆積密度。

（二）、再重新秤重一批各 60g 的豆子裝入紙筒中。

（三）、每個筒子分別實驗 10 次。

實驗結果：此實驗結果與假設相符，綠豆、紅豆、黑豆的堆積密度都大於咖啡豆，音量也比較大。



操縱變因		控制變因（主要）			
豆子種類		相同的重量（g）	相同材質的筒身	相同材質的螺旋狀導流物	相同材質的螺旋狀導流物數目（根）
對照組	綠豆	60	紙筒	竹籤	70
實驗組	紅豆				
	黑豆				
	熟咖啡豆				

實驗組 B：比較單一豆子、混合豆子的堆積密度。

研究假設：混合豆子對聲音的影響較大。

實驗步驟：（一）、先量好 60g 的豆子，並用「阿基米德排水法」  
測量豆子的堆積密度。

（二）、再重新秤重一批各 60g 的豆子裝入透明塑膠筒中。

（三）、每個筒子分別實驗 10 次。

實驗結果：此實驗結果與假設相符，混合豆子的音量較大。



操縱變因		控制變因（主要）			
豆子種類		相同的總重量（g）	相同的筒身材質	相同材質的螺旋狀導流物	相同材質的螺旋狀導流物數目（根）
對照組 單一豆子	綠豆 60g	60	透明塑膠筒	竹籤	70
實驗組 混合豆子	綠豆、紅豆、黑豆 各 20g				

實驗組 C：比較不同螺旋狀導流物的密度。

研究假設：鐵釘的密度大，對聲音的影響比較大。

實驗步驟：（一）、每個筒子分別插入竹籤 70 根及鐵釘 70 根。

（二）、每個筒子分別實驗 10 次。

實驗結果：此實驗結果與假設相符，鐵釘的密度比較大，音量較大，聲音的延長性也比較久。



操縱變因		控制變因（主要）		
螺旋狀導流物		相同的混合豆子 總重量（g）	相同的筒身材質	相同支數（根）
對照組	竹籤	綠豆 20g	紙筒	70
實驗組	鐵釘	紅豆 20g		
		黑豆 20g		

實驗組 D：比較不同材質的筒子密度。

研究假設：不同材質的密度對聲音的表現不相同。

實驗步驟：（一）、將不同材質的筒子進行打洞並插入竹籤，倒入 60g 的混合豆。

（二）、除了透明塑膠筒的部份，

是使用實驗 B 混合豆（同一根）的筒子做實驗，其他筒子都是重新製作。

（三）、每個筒子分別實驗 10 次。

實驗結果：（一）、金屬鋁管的估計密度最大，它對聲音的延長性是最持久 14 秒，紙筒對聲音的延長性是最短的 7.6 秒。

（二）、透明塑膠筒的估計密度是第二高，以五種材質的筒子比較，音量最高的是透明塑膠筒 66.2 分貝，音量最低的是刺竹 53.5 分貝。



操縱變因		控制變因（主要）		
不同材質的筒子		相同的混合豆子 總重量（g）	相同材質的 螺旋狀導流物	相同材質的螺旋狀 導流物數目（根）
對照組	桂竹	綠豆 20g 紅豆 20g 黑豆 20g	竹籤	70
實驗組	刺竹			
	紙筒			
	透明塑膠筒			
	金屬鋁管			

## 肆、研究結果

### 一、第一階段實驗項目：

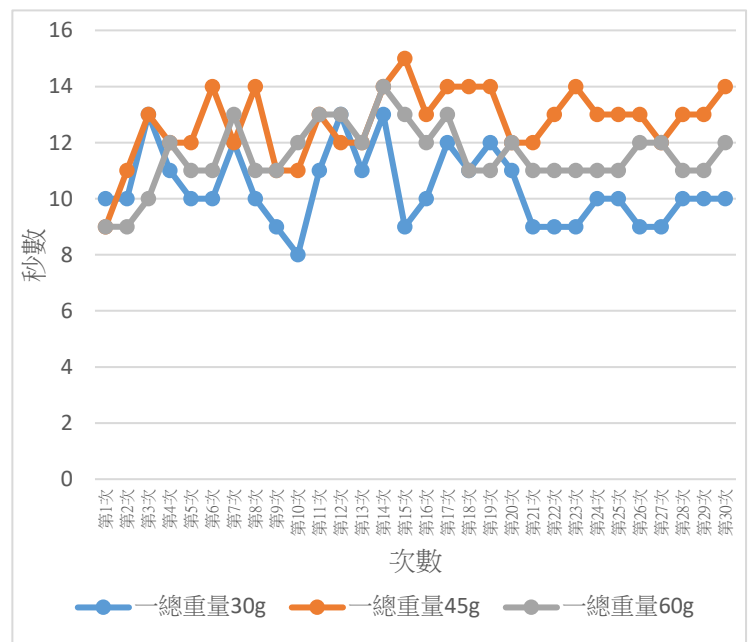
實驗組一：比較單一豆子的重量。

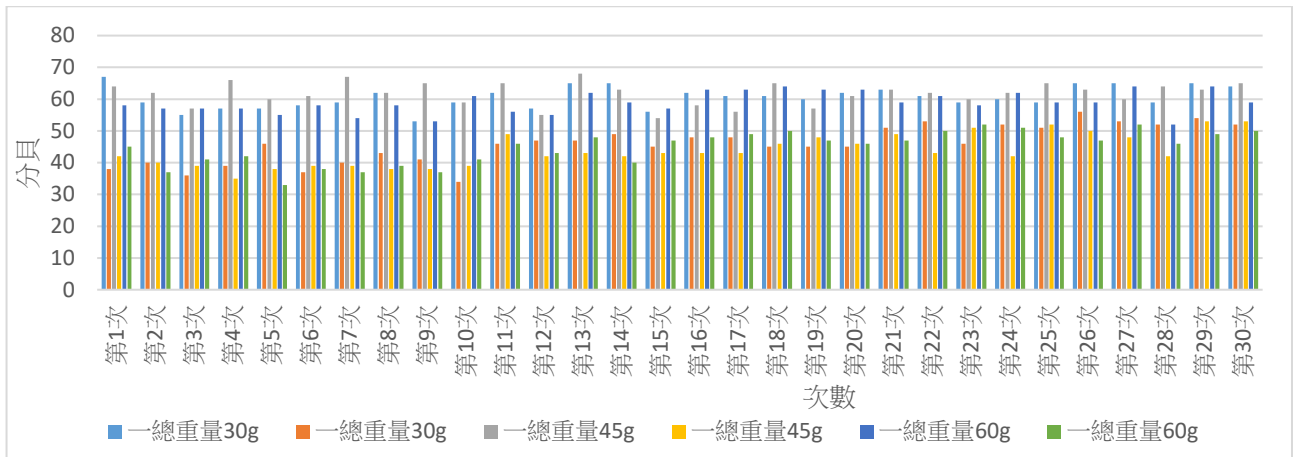
實驗結果：

- (一)、在這組實驗，我們認為豆子重量愈重、豆子數量愈多，對聲音的影響愈大，所以假設 60 g 的豆子掉落的秒數最長、音量最大。
- (二)、經實驗結果發現，45 g 的豆子掉落的秒數最長、音量（分貝）最大，與預期不符合，因此再增加實驗次數，每個兩聲筒累積共 30 次，求平均做比較。發現結果還是以 45 g 的豆子掉落的秒數最長、音量（分貝）最大，如下表。

實驗項目	實驗次數		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均												
	最長秒數	分貝最高最低											秒數	分貝											
第一次實驗	實驗組	—總重量30g	10	67 38	10	59 40	13	55 36	11	57 39	10	57 46	10	58 37	12	59 40	10	62 43	9	53 41	8	59 34	10.3	58.6 39.4	
		—總重量45g	9	64 42	11	62 40	13	57 39	12	66 35	12	60 38	14	61 39	12	67 39	14	62 38	11	65 41	11	59 39	11.9	62.3 38.7	
	對照組	—總重量60g	9	58 45	9	57 37	10	57 41	12	57 42	11	55 33	11	58 38	13	54 37	11	58 39	11	53 37	12	61 41	10.9	56.8 39	
第二次實驗	實驗組	—總重量30g	11	62 46	13	57 47	11	65 47	13	65 49	9	56 45	10	62 48	12	61 48	11	61 45	12	60 45	11	62 45	11.3	61.1 46.5	
		—總重量45g	13	65 49	12	55 42	12	68 43	14	63 42	15	54 43	13	58 43	14	56 43	14	65 46	14	65 48	14	57 48	12	61 46	13.3
	對照組	—總重量60g	13	56 46	13	55 43	12	62 48	14	59 40	13	57 47	12	63 48	13	63 49	11	64 50	11	64 51	11	63 47	12	63 46	12.4
第三次實驗	實驗組	—總重量30g	9	63 51	9	61 53	9	59 46	10	60 52	10	59 51	9	65 56	9	65 53	10	59 52	10	65 54	10	64 52	9.5	62 52	
		—總重量45g	12	63 49	13	62 43	14	60 51	13	62 42	13	65 52	13	63 50	12	60 48	13	64 42	13	63 53	14	65 53	13	62.7 48.3	
	對照組	—總重量60g	11	59 47	11	61 50	11	58 52	11	62 51	11	59 48	12	59 47	12	64 52	11	64 46	11	64 49	12	59 50	11.3	59.7 49.2	

實驗項目	實驗次數		平均	
	最長秒數	分貝最高最低	秒數	分貝
實驗組	—總重量30g		10.5	60.6 46
實驗組	—總重量45g		12.7	61.7 43.8
對照組	—總重量60g		11.5	59 44.9



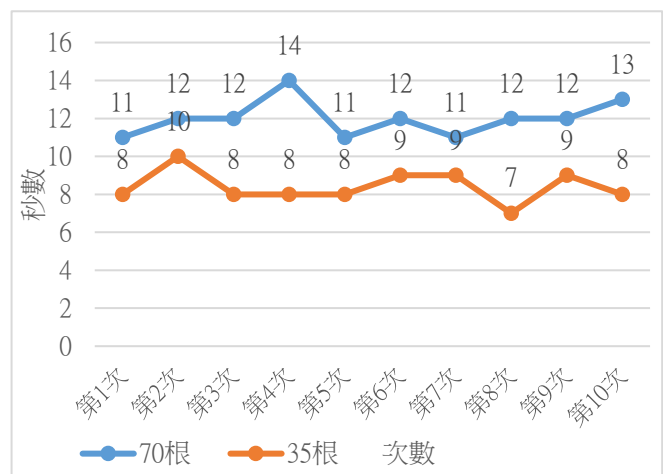
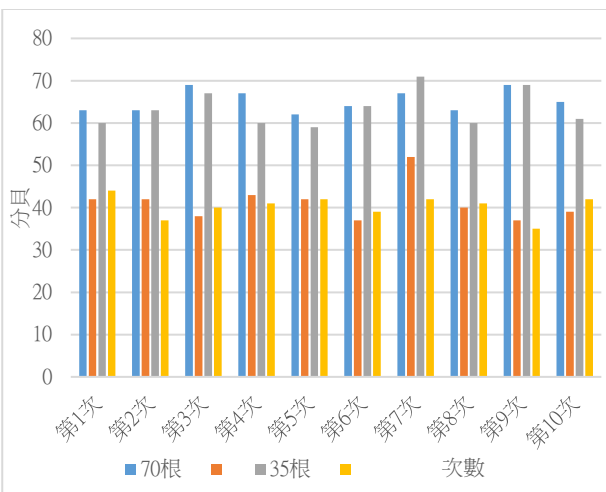


實驗組二：比較螺旋狀導流物的數目。

實驗結果：

- (一)、此實驗結果與假設相符。
- (二)、各以 10 次實驗數據求平均後，竹籤 70 根的豆子掉落的秒數是 12 秒；竹籤 35 根的豆子掉落的秒數是 8.4 秒。
- (三)、竹籤 70 根的豆子音量最高 65.2 分貝、最低 41.2 分貝；竹籤 35 根的豆子、音量最高 63.4 分貝、最低 40.3 分貝。
- (四)、螺旋狀導流物的數目以 70 根對聲音的影響較明顯，如下表。

實驗項目	實驗次數	實驗次數		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均	
		秒數	分貝											秒數	分貝
實驗組	70根	11	63	63	69	67	62	64	67	63	69	65	12	65.2	
			42	42	38	43	42	37	52	40	37	39		41.2	
對照組	35根	8	60	63	67	60	59	64	71	60	69	61	8.4	63.4	
			44	37	40	41	42	39	42	41	35	42		40.3	





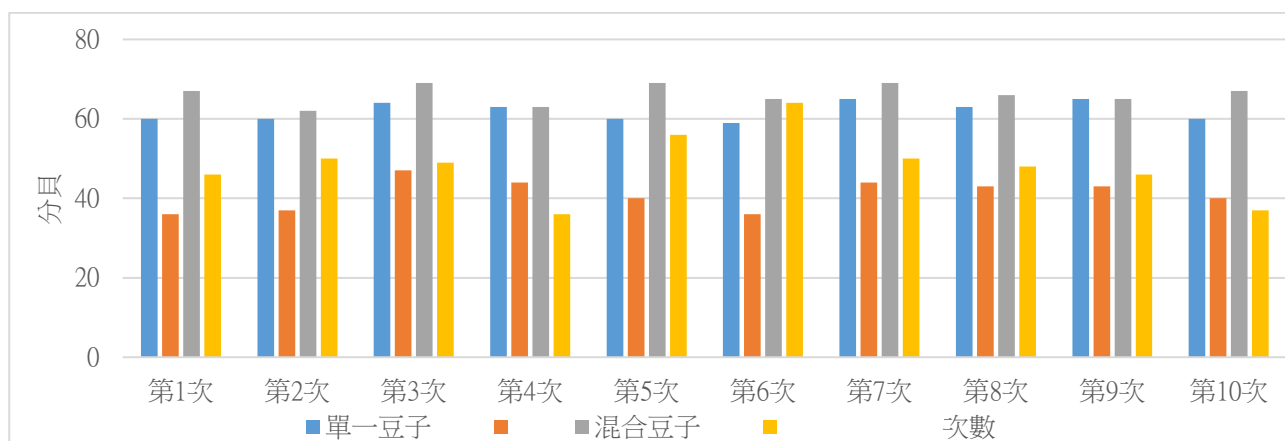
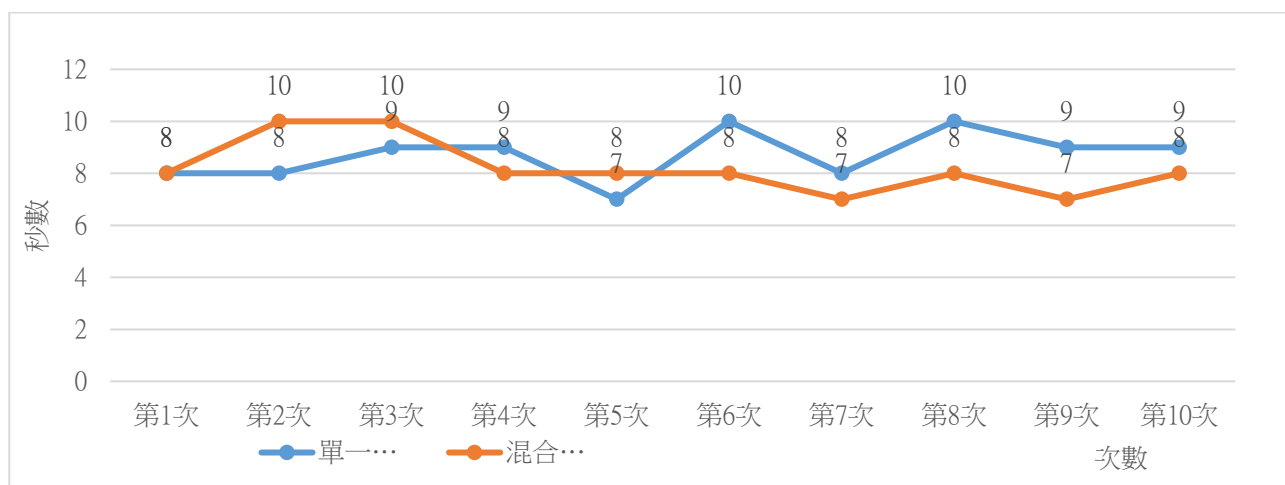
實驗組 B：比較單一豆子、混合豆子。

實驗結果：

(一)、各以 10 次實驗數據求平均後，單一綠豆掉落的秒數是 8.7 秒；混合豆子掉落的秒數是 8.2 秒。

(二)、各以 10 次實驗數據求平均後，單一綠豆音量最高 61.9 分貝、最低 41 分貝；混合豆子音量最高 66.2 分貝、最低 48.2 分貝，音量較大，如下表。

實驗項目	實驗次數		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均								
	最長秒數	分貝最高最低											秒數	分貝							
實驗組 B-單一 豆子	8	60	8	60	9	64	9	63	7	60	10	59	8	65	10	63	8.7	61.9			
		36	8	37	9	47	9	44	7	40	10	36	8	44	10	43			9	65	9
對照組 B-混合 豆子	8	67	8	62	10	69	8	63	8	69	8	65	7	69	8	66	8.2	66.2			
		46	10	50	10	49	8	36	8	56	8	64	7	50	8	48			7	65	8

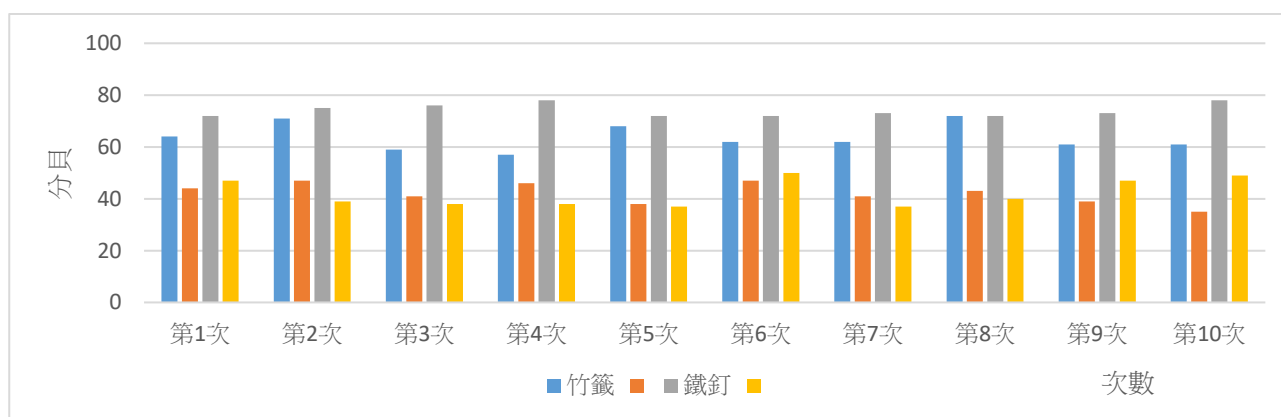
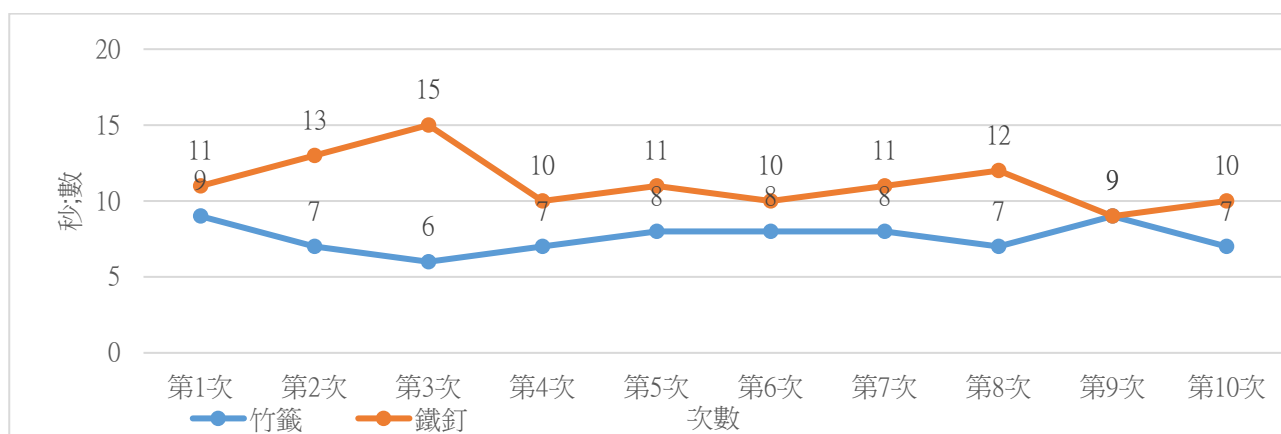


實驗組 C：比較不同螺旋狀導流物的密度。

實驗結果：

- (一)、此實驗結果與假設相符。
- (二)、各以 10 次實驗數據求平均後，竹籤的秒數是 7.6 秒；鐵釘的秒數是 11 秒。
- (三)、各以 10 次實驗數據求平均後，竹籤的音量最高 63.7 分貝、最低 42.1 分貝；鐵釘的音量最高 74.1 分貝、最低 42.2 分貝，音量較大，聲音的延長性比較久，如下表。

實驗項目	實驗次數		第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	第6次	第7次	第8次	第9次	第10次	平均										
	最低秒數	分貝最高聲壓											秒數	分貝									
對照組	C-竹籤	9	64	7	71	6	59	7	57	8	68	8	62	8	62	7	72	9	61	7	61	7.6	63.7
		44	47	41	46	38	47	41	43	39	35	42.1											
實驗組	C-鐵釘	11	72	13	75	15	76	10	78	11	72	10	72	11	73	12	72	9	73	10	78	11	74.1
		47	39	38	38	37	50	37	40	47	49	42.2											



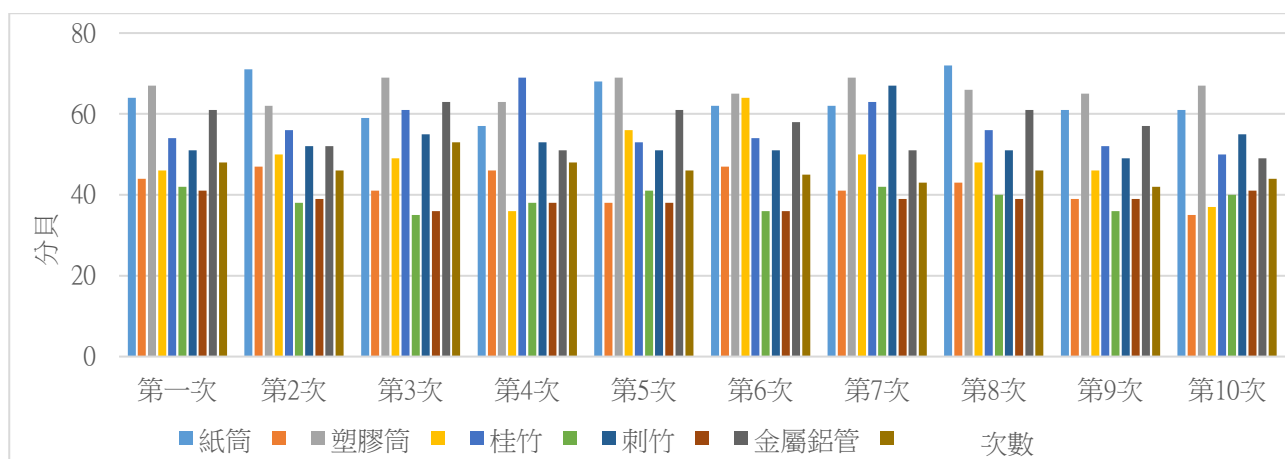
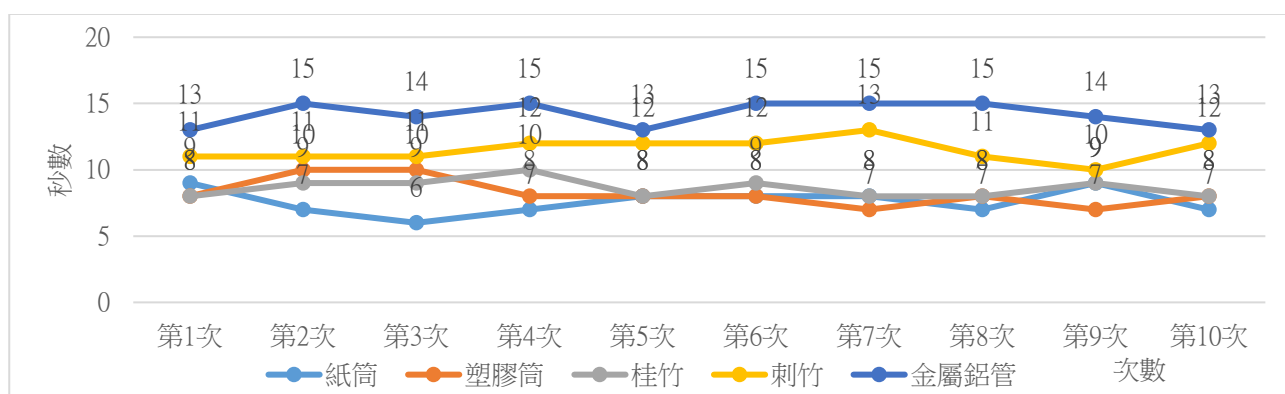
實驗組 D：比較不同材質的筒子密度。

實驗結果：

(一)、以每個筒子 10 次實驗數據求平均的結果，金屬鋁管的聲音延長性是最持久 14 秒，紙筒對聲音的延長性是最短的 7.6 秒。

(二)、透明塑膠筒的音量是最高的 66.2 分貝，刺竹的音量是最低 53.5 分貝，如下表。

實驗項目	實驗次數	第1次		第2次		第3次		第4次		第5次		第6次		第7次		第8次		第9次		第10次		平均	
		秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝	秒數	分貝
實驗組 D、紙筒	9	64	44	7	47	6	41	7	46	8	38	8	47	8	41	7	43	9	39	7	35	7.6	63.7
實驗組 D、塑膠筒	8	67	46	10	50	10	49	8	36	8	56	8	64	7	50	8	48	7	46	8	37	8.2	66.2
對照組 D、桂竹	8	54	42	9	38	9	35	10	38	8	41	9	36	8	42	8	40	9	36	8	40	8.6	56.8
實驗組 D、刺竹	11	51	41	11	39	11	36	12	38	12	38	12	36	13	39	11	39	10	39	12	41	12	53.5
實驗組 D、金屬鋁管	13	61	48	15	46	14	53	15	48	13	46	15	45	15	43	15	46	14	42	13	44	14	56.4



## 伍、討論

### 第一階段實驗項目：

#### 一、各組實驗說明

實驗組一：比較單一豆子的重量。

(一)、一開始，我們以為是實驗步驟有誤，因此再增加實驗次數，每個兩聲筒累積共 30 次，求平均做比較。發現結果還是以 45 g 的豆子掉落的秒數最長、音量最大。

(二)、我們推測因為兩聲筒的空氣柱是 40 公分，聲波的傳播是受限的；以實驗一的結果確認「豆子的重量會影響聲波的傳播」是成立的，但因管內空間有限，30g 重的豆子顆粒數量不多在流動時撞擊次數有點太少；60g 重的豆子顆粒數量多在流動時撞擊次數多，但佔據空間，反而聲波的傳播會不好。我們又上 Gemini 求證後資料如下，驗證我們的推論。

The screenshot shows a Gemini AI search result for the query '綠豆紙管聲響實驗分析'. The main text asks: '請問, 同樣一根40公分中空紙管雙邊封口, 裡面有螺旋狀導流物間距1公分共有70支竹籤, 分別倒入30克、45克、60克重的綠豆後, 旋轉, 結果是45克的那根筒子音量最大, 豆子掉落的聲音最久?' Below this, Gemini provides an explanation: '這是一個非常有意思的物理實驗! 根據你的描述, 這其實涉及到了顆粒動力學 (Granular Dynamics)、聲能轉化以及空間填充率的平衡問題。' It then explains that 45g is the 'golden ratio' and lists three reasons: 30g is too little, 60g is too much, and 45g is the optimal amount for maximum sound. The 45g point is highlighted with a red box.

Gemini

綠豆紙管聲響實驗分析

請問, 同樣一根40公分中空紙管雙邊封口, 裡面有螺旋狀導流物間距1公分共有70支竹籤, 分別倒入30克、45克、60克重的綠豆後, 旋轉, 結果是45克的那根筒子音量最大, 豆子掉落的聲音最久?

這是一個非常有意思的物理實驗! 根據你的描述, 這其實涉及到了顆粒動力學 (Granular Dynamics)、聲能轉化以及空間填充率的平衡問題。

通常我們會直覺認為「東西愈多聲音愈大」, 但在你這個特定構造 (螺旋導流、竹籤阻隔) 的紙管中, 45克成為「黃金比例」是有科學原因的:

**為什麼 45克的音量最大?**

音量的大小取決於豆子與紙管壁、竹籤及導流物碰撞時產生的**動能轉換**。

- **30克 (量太少):** 豆子總數不足, 雖然活動空間很大, 但單位時間內的碰撞次數較少, 產生的總聲壓級 (Sound Pressure Level) 自然較低。
- **60克 (量太多):** 這是最關鍵的一點。當豆子過多時, 管內空間變得擁擠, 豆子之間會互相擠壓、產生摩擦。這種\*\*「內摩擦力」\*\*會吸收掉能量, 導致豆子無法順暢地加速墜落, 碰撞管壁的力度反而變弱 (類似於緩衝墊效應), 聲音因此變得悶悶的。
- **45克 (適中):** 這個重量剛好提供了足夠的數量來產生頻繁碰撞, 同時又保留了足夠的\*\*「自由程」\*\* (Mean Free Path)。豆子在螺旋導流中能獲得充分的重力加速度後才撞擊目標, 動能最大化, 聲音自然最響亮。

實驗組二：比較螺旋狀導流物的數目。

(一)、各以 10 次實驗數據求平均後，竹籤 70 根的豆子掉落的秒數是 12 秒；竹籤 35 根的豆子掉落的秒數是 8.4 秒。因此 70 根的竹籤對聲音的延長性較久。

(二)、竹籤 70 根的音量最高 65.2 分貝、最低 41.2 分貝；竹籤 35 根的音量最高 63.4 分貝、最低 40.3 分貝。因此 70 根的竹籤音量比竹籤 35 根的音量大。

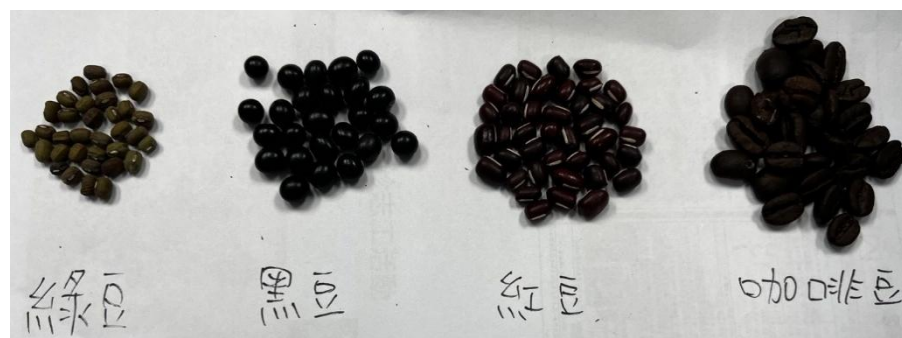
(三)、螺旋狀導流物的數目愈多，對聲音的影響性也愈明顯，聲音除了音量大，聲音的延長性較久。

## 第二階段實驗項目：

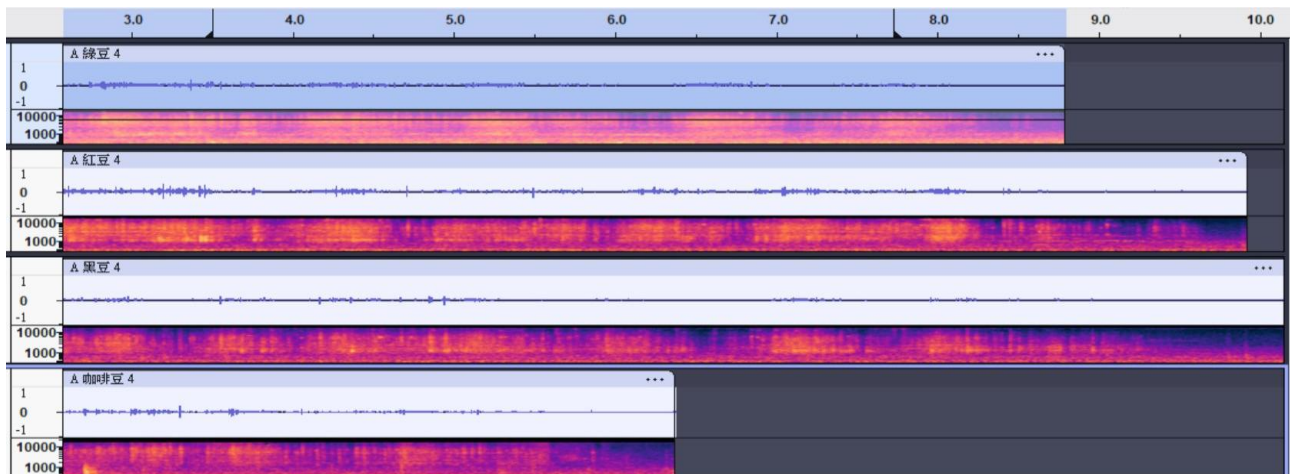
- 一、此階段加入音頻軟體分析，圖表上半部是時間及波形與振幅。
- 二、圖表下半部是頻譜圖，頻率範圍：約 0–10000Hz，如 100Hz – 500Hz 是低音，聽起來沉悶、厚重；如 2000Hz – 8000Hz 以上是高音，聽起來清脆、尖銳。
- 三、頻率圖示說明：顏色由紫 → 黃，代表能量由低 → 高。
- 四、各組結果說明

實驗組 A：比較不同豆子種類的堆積密度。

- (一)、以堆積密度來比較，綠豆、紅豆、黑豆的堆積密度相同，咖啡豆的堆積密度小於綠豆、紅豆、黑豆；咖啡豆的最高音量最低，紅豆的最高音量最大。
- (二)、10 次求平均後比較，咖啡豆的聲音延長性最低是 8.8 秒；黑豆的聲音延長性最大 10 秒。我們判斷因為黑豆的形狀比其他豆子更接近圓形，而且平均長度是 0.64 公分，在螺旋狀導流物一公分間距中可以很順暢、圓滑地流動，所以黑豆的聲音延長性最好。
- (三)、以估計密度來比較，綠豆的估計密度皆比其他豆子高一些，綠豆與紅豆的密度僅差 0.05 g/cm<sup>3</sup>，但紅豆的顆粒平均比綠豆大一些，撞擊力大、音量也比較大。
- (四)、以音頻軟體比較，四種豆子的波形不相同，代表音色不同；紅豆呈現最高與最寬的頻帶，聲音紮實、響亮；黑豆偏低頻，聲音沉悶、渾厚；綠豆高頻明顯，聲音清脆；咖啡豆呈現振幅較低與較窄高頻分布，紫色部份最多，聲音聽起來較悶。
- (五)、由實驗結果可得知，豆子的估計密度、堆積密度不相同，也會影響到聲音的表現，如下圖。



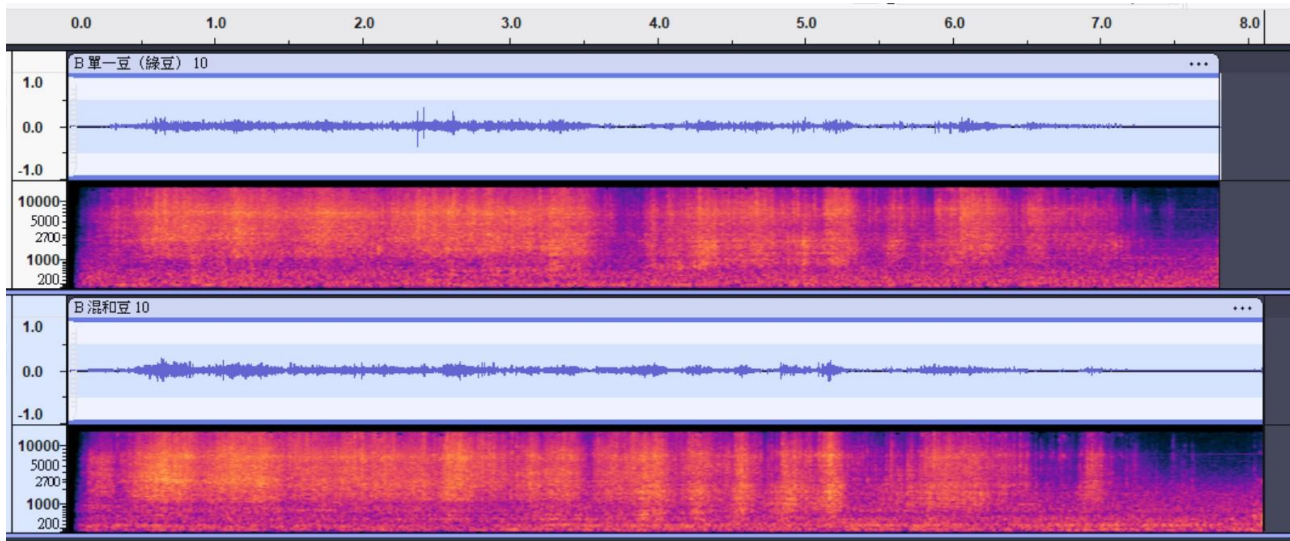
種類	平均長度 (公分)	總體積 cm <sup>3</sup>	總重量 60g 的 堆積密度 (g/cm <sup>3</sup> )	估計密度 (g/cm <sup>3</sup> )
綠豆	0.56	150-100=50	60/50=1.2	1.30 ~ 1.45
紅豆	0.8	150-100=50	60/50=1.2	1.30 ~ 1.40
黑豆	0.64	150-100=50	60/40=1.2	1.10 ~ 1.25
咖啡豆	1.12	220-100=120	60/120=0.5	0.30 ~ 0.60



實驗組 B：比較單一豆子、混合豆子。

- (一)、將 10 次實驗結果求平均後，混合豆子掉落的秒數 8.7 秒比單一豆子（綠豆）掉落的秒數 8.2 秒較長。
- (二)、單一綠豆掉落的最高音量 61.9 分貝、最低 41 分貝；混合豆子的最高音量 66.2 分貝、最低 48.2 分貝，音量較大。
- (三)、以音頻軟體比較，二組波形不相同，代表音色不同；以堆積密度來比較，雖然二者堆積密度是相同的，理論上聲音的表現應該是接近的，但因單一豆顆粒質量與尺寸較為一致，其碰撞分布較集中，聲音振幅與頻率分布穩定；混合豆則因豆子種類不同、顆粒大小不同，碰撞大小不一致，聲音振幅與頻率較寬、音色聽起來較豐富。
- (三)、由此得知，混合豆子對聲音的影響較明顯，如下圖。

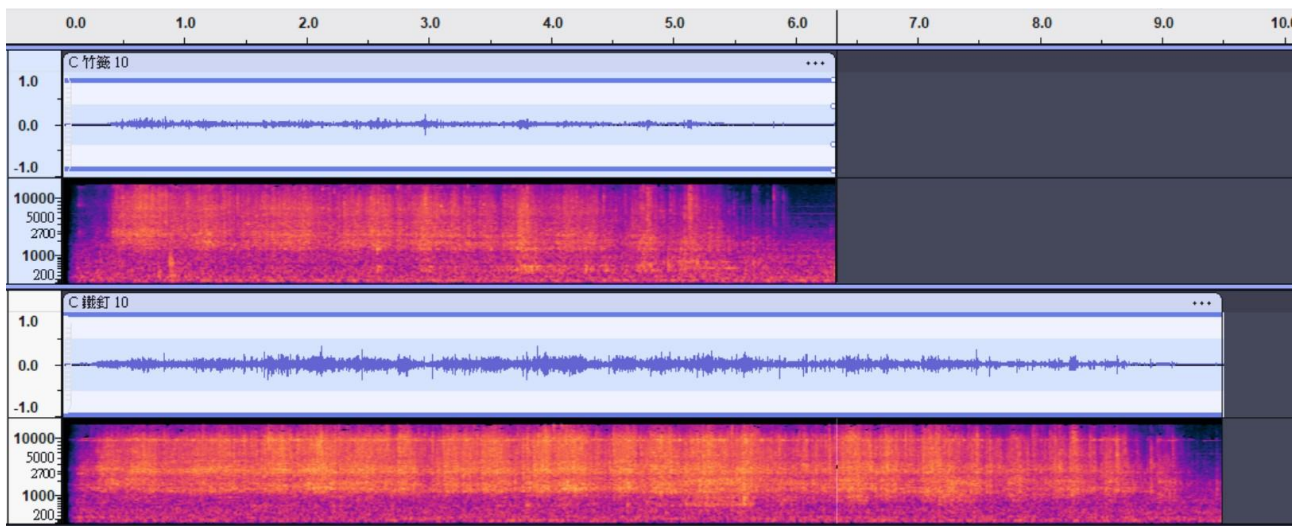
種類	平均長度 (公分)	總體積 cm <sup>3</sup>	總重量 60g 的 堆積密度 (g/cm <sup>3</sup> )	估計密度 (g/cm <sup>3</sup> )
單一豆子 (綠豆)	0.56	150-100=50	60/50=1.2	1.30 ~ 1.45
混合豆		150-100=50	60/50=1.2	



實驗組 C：比較不同螺旋狀導流物的密度。

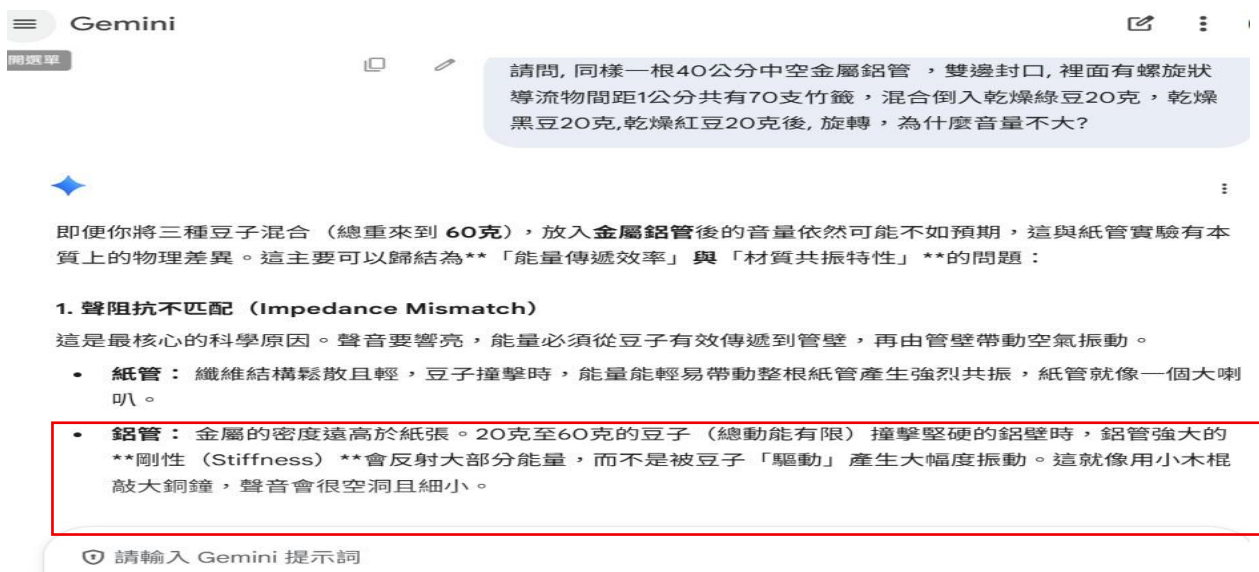
- (一)、經實驗結果得到，鐵釘的估計密度比較大，音量較大，聲音的延長性也比較久。
- (二)、以音頻軟體比較，二組波形不相同，代表音色不同。
- (三)、竹籤的高頻區（5000 赫茲以上）能量較少，頻帶較窄，集中在中低頻，表示聲音偏溫和、較不尖銳；鐵釘全段亮度高，高頻明顯，頻帶寬廣表示聲音清脆且尖銳。
- (四)、由此得知，鐵釘對聲音的影響較明顯，如下圖。

材質 / 物品	估計密度 (g/cm <sup>3</sup> )	物理特性說明
鐵釘	7.80 ~ 7.90	密度最高，在水中會迅速下沉。
竹籤	0.60 ~ 0.80	具有纖維孔隙，密度通常小於水，會浮在水面上。



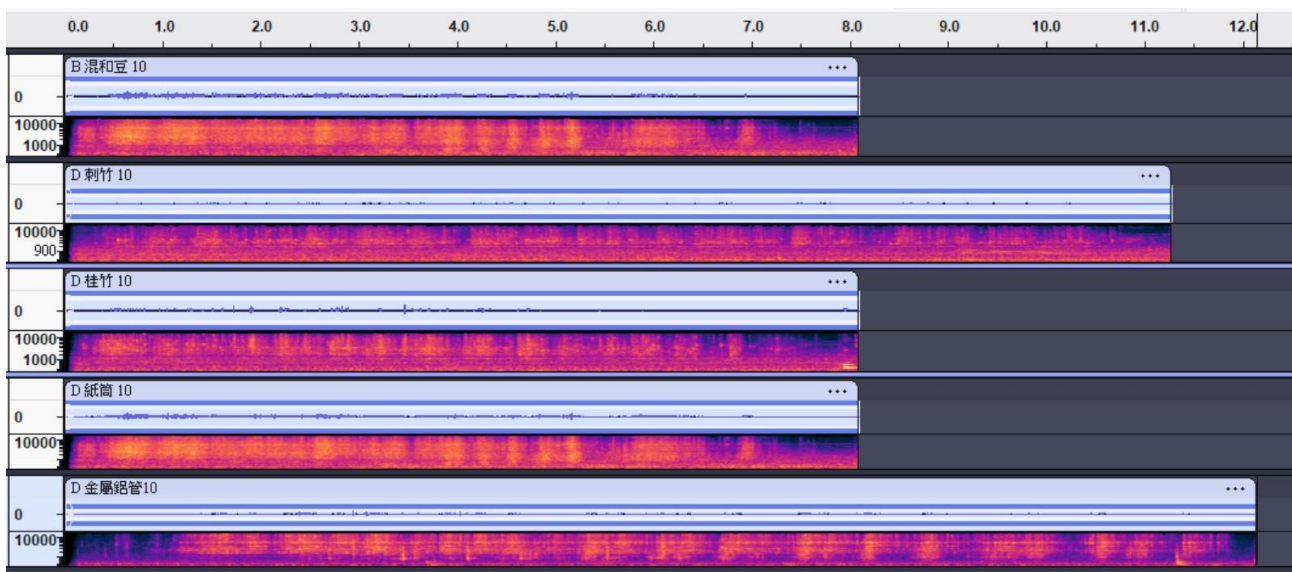
實驗組 D：比較不同材質的筒子密度。

- (一)、以每個筒子 10 次實驗數據求平均的結果，得到不同材質的筒子因密度不同，對聲音的影響也會不相同。
- (二)、金屬鋁管的估計密度最大，它對聲音的延長性是最持久 14 秒，但它不是音量最高的。關於這一點，我們感到疑惑，所以查詢 Gemini 求證後資料如下，原來鋁管硬度高，雖然它密度大，但如果管壁太厚或沒有與內部的竹籤形成良好的能量傳遞，它反而會將聲音「鎖」在管子內部音量就會顯得很悶、很小。



- (三)、紙筒對聲音的延長性是最短的 7.6 秒，我們日常生活中觀察到，紙箱、紙筒具有隔音的效果。從我們的實驗中觀察到，紙筒管壁較厚且具有空隙，會吸收一點聲音，所以秒數最短。
- (四)、透明塑膠筒的估計密度是第二高，但它音量表現是最高的 66.2 分貝。我們從金屬鋁管得到的資訊中比較，透明塑膠筒比其他四種材質具有彈性，豆子撞擊時能輕易激發管壁的振動，所以音量最高。
- (五)、以音頻軟體比較，五組波形不相同，代表音色不同。音色除了密度外，從上述四點可知，音色還會受材料硬度影響，如下圖。

材質 / 物品	估計密度 (g/cm <sup>3</sup> )	物理特性說明
塑膠筒	0.90 ~ 1.40	種類繁多。PC、PE、PP 通常會浮在水面，PVC 則會下沉。
紙筒	0.40 ~ 0.70	取決於纖維緊密度與塗層，受壓實程度影響。
桂竹	0.70 - 0.90	質地較細密，纖維密度高。
刺竹	0.60 - 0.85	質地較粗，纖維密度中等
金屬鋁管	2.7	鋁的本體重，但空心結構使其堆積密度低。



## 陸、結論

- 一、根據研究目的進行實驗，我們發現：從物理原理來看：當豆子倒入筒子或彼此碰撞時，聲音來自「撞擊+振動+空氣共鳴」，再加上豆子或筒子本身的材質密度不同時，聲音都有不同的表現；當樂器材料如果密度不同，震動的方式也會不同，所以聽起來的聲音特色也會不一樣，這也就是平常買樂器會考慮或挑選材質的關鍵因素。
- 二、第一階段的實驗組一：比較單一豆子的重量，我們發現 60g 重的豆子顆粒數量多在流動時撞擊次數多，但佔據空間，反而聲波的傳播會不好；在實驗中，紙筒長 40 公分、豆子重 45g 表現最好。但這是僅限於使用紙筒實驗的結果，未來還可以使用其他材質測試。
- 三、我們收集到的資訊中有提到：「材質密度越高，音量傾向較大；密度越高，音調傾向較低；材質也因密度不同會有不一樣的音色。」。但是，當我們以五種不同材質的筒子做成「雨聲筒」實驗時，卻有不太相同的結果。五種筒子依估計密度由大到小排列是 1.金屬鋁管、2.透明塑膠筒、3.桂竹、4.刺竹、5.紙筒，分析如下：

- (一)、金屬鋁管— 雖然估計密度大，若是管壁太厚或內部的材料沒搭配好，反而會將聲音「鎖」在管子內部音量就會顯得很悶、很小。
- (二)、透明塑膠筒— 透明塑膠筒比其他四種材質具有彈性，豆子撞擊時能輕易激發管壁的振動與空氣共鳴，所以平均音量最高。這一點跟我們五年級上學期的自然課本第二單元[探索聲光世界]中提到：發聲物體的長短、粗細、鬆緊等都會影響樂器發出的聲音高低，原理是一樣的。
- (三)、桂竹— 對於竹製樂器，桂竹是一般人最喜歡採用的材質，以中華民國中小學科學展覽會歷屆優勝作品第 57 屆【兩棍的奧祕】中所提到「竹筒搭配竹籤與白米，三者都是自然材質，可以做出最接近流水聲的雨棍。」，因為桂竹的聲音清亮、傳導好。五種材質的估計密度，桂竹介於中間值，所以豆子掉落的秒數也是介於中間值，音量也是介於中間值，代表桂竹的穩定性高，所以大家都喜歡採用。
- (四)、刺竹— 實驗開始時，我們使用新鮮的刺竹做成「雨聲筒」，放置一個月後發現它縮水了，導致無法實驗，而另尋已經乾燥的刺竹重新製作。刺竹的平均音量在五種材質中是最低的，因為刺竹的密度低，比紙筒高一些，材質特性與紙筒相似具有空隙。這件事情，讓我們學習到「空氣中的濕度、溫



度、材質的含水量等都會改變材質本身的密度，同時會影響到聲波的傳遞。」。

(五)、紙筒 — 紙筒的估計密度最小，它是一層層的紙張堆疊形成，具有空隙會吸收一點聲音，所以豆子掉落的秒數最短，但是也因空隙有空間、空氣，所以聲波在筒子內可多一些傳播，因此紙筒這一組的音量平均是五種材質中第二名。

(六)、由上述實驗結果可確認，以金屬鋁管為例，雖然材質本身的密度大，但會因搭配的材質或製作的方式等因素，音量並不一定會很響亮。

四、在實驗組 B：比較單一豆子、混合豆子，這個實驗結果，我們確認豆子的堆積密度並不是直接影響聲音的主要原因；觀察實驗材料的外觀，豆子的顆粒大小與形狀、重量與體積；筒身的硬度與彈性、內部孔隙是否多孔？這些都會影響聲音的表現，因此，我們確認材質的密度不是影響聲音的唯一因素。

#### 五、研究限制

1. 雖然已經指定同一位同學翻轉以求操作一致，但終究是人工手動方式實驗一定會有稍微不穩定的誤差，這個問題日後可以再修正成改以機器的方式操作。
2. 沒有精密儀器，無法測量實際材料的真實密度，只能簡單以排水法測量，或以網路資料為參考。
3. 使用手機 APP 測量，會有小誤差存在。
4. 關於聲波在雨聲筒內部如何傳遞的物理量，例如：紙筒的吸音程度、金屬鋁管跟豆子及螺旋狀導流物之間產生的摩擦力、撞擊力等等，需要更精密的設備測量，這部份可以考慮尋求校外研究機構協助與指導，進行更深入的探討。

#### 六、未來研究方向

1. 可以進一步探究豆子的含水量不同，研究含水量不同對密度的影響變化，例如：生豆或脫水的豆子等等。
2. 除了不同筒身的材質，還可以再增加「管壁的厚度不同」做為實驗變因，測試厚度不同對聲音傳遞的影響。
3. 可以使用其他樂器進行延伸研究，例如：吉他的背板採用不同木頭製作等等。

七、這個實驗有很多物理知識，這些知識我們會透過 AI 查詢並學習，但 AI 有可能會出錯，只能提供參考，還是需要多方查證，例如：再向老師請教、翻閱相關書籍等。

八、透過實驗，我們認識科學家阿基米德、波以耳，學到[阿基米德排水法]測量豆子的堆積密度、認識到「音頻軟體」。同時，這個實驗讓我們涉獵到國中二年級的理化課程，學

到「聲音」是一種波的傳遞、一公斤棉花和一公斤鐵一樣重但「密度」不相同，所以體積會不一樣等有趣的物理知識，讓我們很期待未來可以學到更多有趣的科學知識。

## 柒、參考文獻

### 一、【書籍】

- (一) 康軒。(民 114 年) 國小 4 上自然科學第三單元有趣的聲光現象。臺北：康軒。
- (二) 康軒。(民 114 年) 國小 5 上自然科學第二單元探索聲光世界。臺北：康軒。

### 二、【影片】

#### (一) 均一教育平台

波動的基礎概念 [https://youtu.be/m6fn1WcmROk?si=hMgRH\\_hoeiytfVeX](https://youtu.be/m6fn1WcmROk?si=hMgRH_hoeiytfVeX)

聲波的產生與傳播 <https://youtu.be/R81hDXOkLg?si=F0DuLLIQZ67Yb5fAS>

聲音的三要素 <https://youtu.be/d6Lzym61NDg?si=kj5YuRmrVBkjVu2y>

聲音的頻率和音調 [https://youtu.be/nX8ZmcIJQhU?si=Ocj91Ev3\\_I3P7DLe](https://youtu.be/nX8ZmcIJQhU?si=Ocj91Ev3_I3P7DLe)

聲音的振幅 <https://youtu.be/4UsUynJt1iM?si=-gTretPN8fzpa3T>

聲音的基本性質 <https://youtu.be/rcolMiQOU64?si=ZvyZHT3MI9iRhjHR>

密度的測量〈素養動畫〉 <https://youtu.be/DG44CT46rSM?si=OGnCS0KvALSgqOf1>

- (二) 【TRY 科學】20210505 — 密度怎麼測？密度的測量，密度實驗，阿基米德排水法  
<https://youtu.be/uTNBwn3clpE?si=FC50vF1IDia9BQU2>

#### (三) 科學角度看咖啡\_含水量與密度

<https://youtu.be/do74sG5pnm8?si=XrNRhBLGSy27m9mK>

### 三、【網站】

#### (一) AI：Gemini、ChatGPT

#### (二) 科技大觀園\_全國科學探究競賽—這樣教我就懂 2016 聲音好好玩

[https://sciexplore2016.colife.org.tw/sciexplore\\_vote\\_pop.aspx](https://sciexplore2016.colife.org.tw/sciexplore_vote_pop.aspx)

#### (三) 魔法學習 EnchantedLearning.com 兩棒工藝

<https://www.enchantedlearning.com/crafts/music/rainstick/>

### 四、【歷屆科展之資料】

#### (一) 中華民國第 42 屆：

竹蟬是胡琴的老祖宗 — 探究弦樂器的構造、發聲方式及製作簡易絃樂器 —

#### (二) 中華民國第 47 屆：拍出旋律 — 自製號笛管樂器研究

#### (三) 中華民國第 47 屆：魔笛機密

#### (四) 中華民國第 50 屆：當號角響起 ~ 探究影響自製喇叭聲音之因素

#### (五) 中華民國第 56 屆：傳聲筒之五四三

#### (六) 中華民國第 57 屆：兩棍的奧祕

本作品『兩下得好「密」~自製兩聲筒之探究』內容所有照片、圖片、圖表，皆由作者自行拍攝、繪製。