

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080116

舞動靜默—空間迴音問題探討

學校名稱： 金門縣金城鎮中正國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳宥叡	盧志鎮
小六 李卓翰	盧則宇
小五 陳羿妃	
小五 張允霏	
小五 洪語彤	

關鍵詞： 吸音、迴音、噪音

作品名稱：舞動靜默—空間迴音問題探討

摘要

本研究起因於學校表演藝術課教室的迴音問題，影響學習專注與舒適度。為改善此現象，本研究針對空間音場進行改善實驗，探討不同布料材質、不同樣式窗簾、不同吸音孔形狀、不同吸音孔深度，吸音與減少迴音的效果。研究使用手機應用程式產生定頻音源，透過自製音場實驗箱，搭配噪音計測量吸音量與殘響時間。

研究主要發現如下：

柔軟性高的布料具較佳吸音與減少迴音效果。

波浪簾吸音與減少迴音效果皆優於紙捲簾與百葉簾。

孔洞為圓形之吸音板比正方形或正六邊形更能有效吸音與減少迴音效果。

孔洞深度較深之吸音板，吸音與減少迴音效果越明顯。

透過本研究的結果應用，選擇合適的吸音材料與孔洞設計，可以有效改善空間音場環境，提升學習成效。

壹、前言

一、研究動機

上學期學校將前棟教學大樓地下室的雜物清空，並且增設架高地板，打造為動感教室，作為我們表演藝術課上課的場所，讓我們能有一個能在裏頭伸展筋骨，暢快表演的地方。

然而每次進到這間教室上課，我們都必須要豎起耳朵專心聽講，才能聽清楚老師說話的內容，整節課下來我的耳朵嗡嗡迴響，很不舒服，也影響了學習效果。老師說，這是因為這空間迴音太大，聲音一直在教室裡打轉。於是不禁讓我興起了一個念頭，我想研究看看，看有什麼方法可以改善這個惱人的問題。

剛好我們在自然課學到聲音的傳播與吸收，讓我們開始思考，是否有辦法透過一些材料或設計來改善迴音問題？例如，牆壁應該使用什麼材質或設計才能有效降低迴音？天花板或地板的處理是否也會影響迴音？窗簾要用什麼材料做才能有效吸音？

為了找出最有效的解決方法，我們決定在老師的指導下，與同學們一起進行這項有趣的研究，希望能透過實驗找到最適合我們學校動感教室的音場設計方案。

二、研究目的

(一) 了解什麼是空間迴音

(二) 了解什麼是噪音

(三) 了解不同窗簾布料材質吸音效果及減少迴音情形

(四) 了解不同窗簾樣式吸音效果及減少迴音情形

(五) 了解不同吸音孔形狀吸音效果及減少迴音情形

(六) 了解不同吸音孔深度吸音效果及減少迴音情形

三、 文獻回顧

(一) 聲音的傳播

聲音 (sound) 是物體快速振動 (vibration)，經過中介物質 (空氣或水等) 傳導，被聽覺系統接收的歷程。物體振動時造成周圍空氣分子的壓縮 (compression) 和放鬆 (rarefaction)，把能量以波動方式逐步向前傳送，所以又稱為聲波 (sound wave)。整體而言，聲音的產生與聲音能量的傳導是一種物理現象。侯志欽 (2007) 當遇見障礙物時，部分聲波會反射，部分被吸收，另一部分會穿越，此三部分的量將視障礙物表面的孔隙、密度等因子而定，遇到大平面的障礙物時，聲波會如同光波的平面鏡方式進行反射的特性與光波相似，遇到凸面的障礙物時，會產生音波發散 (scattering)，而遇到凹面的障礙物時，則有音波會聚的強化效應。邱銘杰等 (2014)。

(二) 吸音

吸音 (sound absorption) 指的是減少房間表面所反射的聲音能量。可說是音能 (sound energy) 在材料內部藉由各種形式的摩擦與振動變成熱能而趨散的性質。主要的過程大概有三個部分：1. 傳導所導致的衰減，2. 空氣黏性所導致的衰減，3. 材料機械振動導致的衰減。施文和 (2004)。

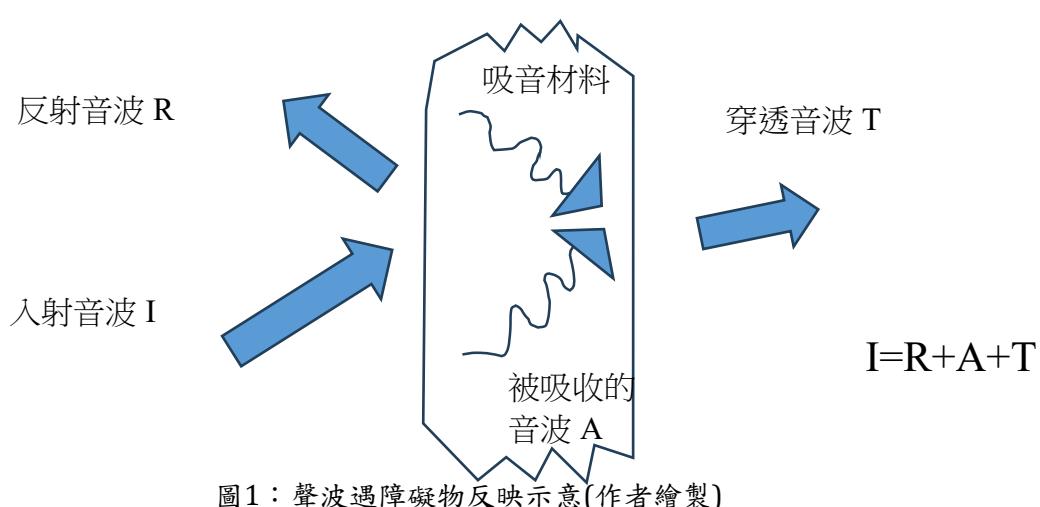


圖1：聲波遇障礙物反映示意(作者繪製)

(三) 隔音

隔音 (Sound Insulation)：是指阻隔聲音的傳遞，防止聲音從一個空間傳到另一個空間。高密度、質量較重的材料（如石膏板、混凝土、隔音玻璃）通常有較好的隔音效果。徐學文等（2004）。

(四) 迴音

音源在室內發聲後，使室內聲場達到穩態，然後關閉聲源，聲源停止發聲後由於受到邊界影響，會有連續不斷之反射聲，使得聲音不會立刻消失之音衰減過程。此種聲音不會立刻消失的現象稱做「迴響」(Reverberation，亦稱做殘響或混響)，而迴響所持續的時間稱為「殘響時間」(Reverberation Time)。劉德源等（2006）。

又，美國國家標準協會 (American National Standards Institutes, ANSI) 於 2002 年建議迴響時間 (Reverberation Time) 少於 600 毫秒 (= 0.6 秒) 有最佳的語音理解和學習。在安靜的情境中，如果反射回來的語音較早抵達聽者的耳朵，則原聲和迴響會在聽覺系統裡整合，可能提升語音辨識度 (Speech Recognition)；而較晚抵達的迴響，則不會與原聲有加成的作用，反而會遮蔽或模糊原本的聲音，而使語音辨識表現下降。除了語音辨識度之外，也可能因聲音的失真，而使聆聽變得費力。

(五) 噪音

在聲學領域中，「噪音」(Noise) 通常被定義為一種無規律、頻率混雜，缺乏和諧性與音樂性的聲音，與「樂音」相對 (Rossing et al., 2002)。然而，噪音的判斷也具有高度主觀性，在心理聲學與社會學的觀點下，噪音被視為任何對個體造成干擾、不悅或影響其活動的聲音 (Berglund et al., 1999)。

從環境與公共衛生的角度，噪音常被定義為超出特定空間與時間容許範圍的聲音污染。根據世界衛生組織 (WHO, 2018) 報告，長期暴露於環境噪音中，特別是道路交通、鐵路與航空噪音，已被證實與睡眠障礙、心血管疾病與認知功能下降等健康問題有關。

(六) 常見的吸音、隔音材料及其特性。許榮均等 (2018)

表1：吸音材料特性比較(作者製作)

吸音材 種類	代表性材料	吸音特性	吸音 率
多孔性	玻璃棉、岩棉、泡 棉、礦棉麻纖與棉纖 維等吸音材	具不錯的中高頻吸音能力，背後預留空氣層有助低頻 吸音能力提升。(多孔性材料多依材料厚度決定材料的 吸音率，也就是材料厚度越厚，吸音率越高)	0.4~ 0.9
板狀	合板、石膏板、塑膠 板、金屬板、水泥板	吸收低頻較有效。(這種材料對低頻效果佳，但中高頻 以上效果較不佳，目前噪音控制較少使用這種材	0.2~ 0.4

吸音材 種類	代表性材料	吸音特性	吸音 率
穿孔板	穿孔石膏板、穿孔合 板、穿孔鋁板、穿孔 鋼板、細孔板	一般使用狀態吸收中頻，與多孔性材料配合使用時吸 收中高頻，背後預留空氣層還能吸收低頻。	0.4~ 0.9
異變型 微孔板	微孔吸音鋁板、微孔 綠建材吸音鋁板	屬於吸收全頻特性，可藉由控制背後空氣層厚度，削 減低、中、高頻音能，低頻尤佳。	0.7~ 0.9

(七) 歷屆科展相關研究

表2：歷屆科展作品比較(學生製作)

作者(屆次)	主題	研究方法	研究結果
林雯瑤、謝友仁、江 勝偉 台北縣丹鳳國民小學 (第35屆--民國84 年)	洞一洞聲音就 變小了——孔 穴吸音的探討	1. 測試孔洞數量、 大小、深度對吸 音效果的影響 2. 探討孔洞排列方 式及填充物效 3. 比較不同形狀孔 洞的吸音能力	1. 當孔洞距離為 1.5 公 分時，吸音效果最佳。 2. 孔洞深度越深，吸音效 果越佳。 3. 孔洞直徑約為 3 公厘 時，吸音效果最佳。 4. 填充雪衣纖維和棉花可 進一步提升吸音性能。
林詩敏、賴思吟、張 碧雯、陳惠珠 國立員林高級農工職 業學校(第44屆--民 國93年)	吸音大法	1. 使用木箱與紙箱 進行吸音實驗 2. 比較不同環保材 料吸音效果 3. 採用不同排列方 式與間距進行測 試	1. 質地柔軟且具多孔性的 材質具有良好的吸音效 果。 2. 不同的排列方式對吸音 效果的影響有限。 3. 牛奶罐的吸音效果優於 養樂多罐。 4. 使用環保素材可有效減 少噪音干擾。
吳芯瑀、林妤儒、吳 宣宜、翁淑紋 臺中市立豐東國民中 學(第53屆--民國102 年)	隔牆有耳 噪音防護之隔 音、吸音材料 之研究與設計	1. 製作多孔性輕質 水泥板、陶土板 及粉筆板 2. 測試抗壓強度、 耐火性及隔音效 果 3. 研發吸音造型耳 機	1. 雜草混合水泥或陶土可 製成輕質多孔板材。 2. 此類板材具有良好的隔 音與耐火性能。 3. 陶碗具備優異的吸音效 能，可應用於製作環保 耳機。 4. 材料設計符合環保理 念，並具備創新性。
黃柏勛、王竣陞、顏 宇謙、歐陽雪妍、袁 登俊、呂婕瑜、李永 欽、謝家耀 金門縣金湖國民小學 (第58屆--民國107年)	小窗簾立大功 ——窗簾的吸 音與隔音效果 之研究	1. 比較不同材質窗 簾的吸音與隔音 效能 2. 測試窗簾厚度、 波折高度及間距 的影響 3. 分析窗簾層數及 含水量對聲波阻 隔的影響	1. 棉質窗簾吸音+隔音效 果最佳，減少 35.5 dBA 2. 厚度增加有助於吸音， 但不利於隔音 3. 波折高度 ≥ 10 cm，間距 6-7 cm 時效果最佳 4. 含水量 168% 提升隔音 至 42.78 dBA

貳、研究設備及器材

一、研究設備及器物：

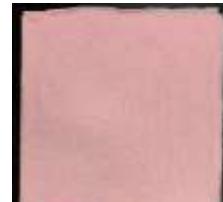
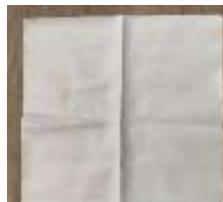
噪音計、手機、平板電腦、美工刀、剪刀、圓規、膠帶、直尺、保麗龍膠、保麗龍刀、鬧鐘、藍芽喇叭、透明玻璃杯、音場測試箱

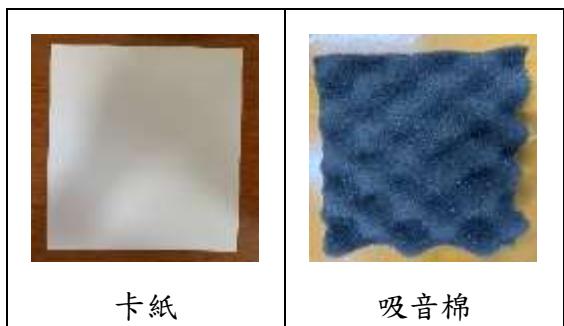
表2:實驗器材(學生拍攝.整理)

品名	廠牌	型號	規格
噪音計	HOLA	HA-5030A	測量範圍30~130 db 解析度0.1 db 精度+-1.5 db 響應頻率31.5~8000Hz
藍芽喇叭	ONPRO	MA-SPN5	輸出功率5w 輸出頻率80-200000 Hz

二、研究材料：

表3:實驗材料(作者拍攝.整理)

			
硬棉布	棉布	絨布	不織布
			
毛氈布	無紡布	人造皮革	保麗龍板



參、研究過程或方法

一、建立研究架構

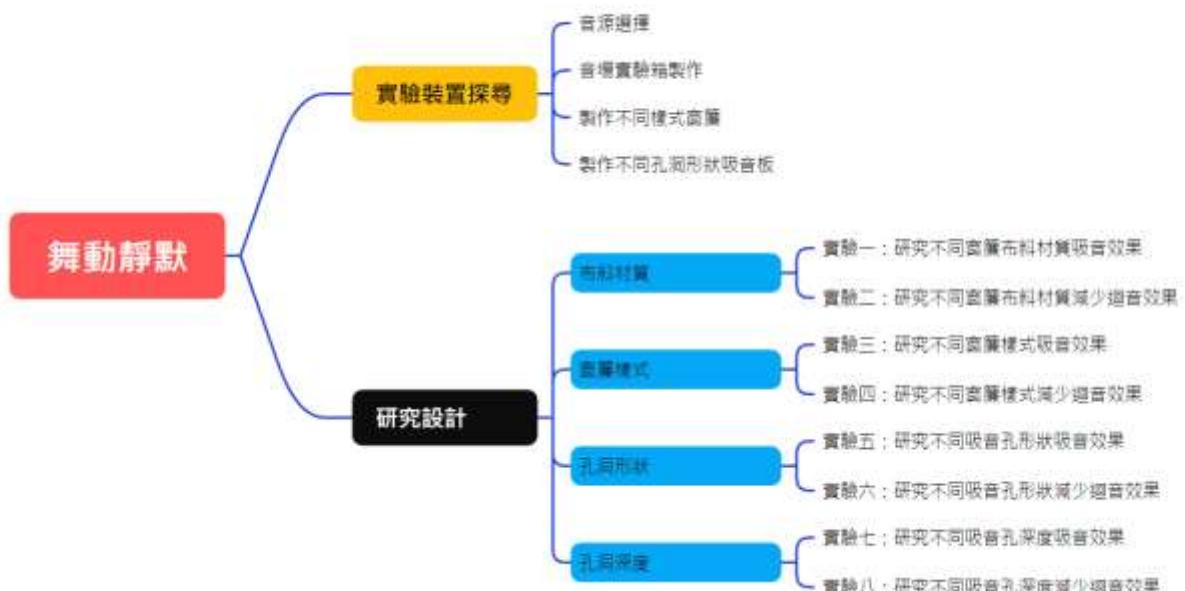


圖2:架構圖(作者繪製)

二、實驗裝置探尋

(一) 音源選擇及其歷程

1. 電子式鬧鐘：

實驗原本使用一般電子式鬧鐘，經測試發現這類鬧鐘無法發出固定音頻，導致在噪音計上測試音量時，分貝數會高高低低跳動，難以測出實際音量。

2. 尋找定頻音效：

在手機上搜尋下載應用程式《phyphox》，選擇【音調產生器】選項，打開後即可輸入頻率，發出固定音頻。然而手機上有數個喇叭，無法確保聲音輸出之方向。

3. 使用藍芽喇叭：

選擇市售單向藍芽喇叭，藉由藍芽傳輸，可將手機上的聲音傳送至藍芽喇叭發出

聲音，達到單一喇叭發出聲音的效果。經測試在喇叭前10公分及喇叭後10公分處分別測到的音量為79.8分貝及70.2分貝，差距僅有9.6分貝，為了讓聲音由前方輸出，避免因後方音量影響空間音量測試結果，應盡可能阻隔音量從喇叭後方發出聲音。

4. 加裝聲音阻隔器：

經查文獻，高密度、質量較重的材料（如石膏板、混凝土、隔音玻璃）通常有較好的隔音效果，所以我們在喇叭後方套入透明玻璃杯。經測試可達到降低 8.4分貝音量的效果。



圖3:聲音阻隔器(作者拍攝)

5. 加裝套筒讓聲音平面前進：

為了讓聲音以平面波方式前進，避免弧形發散，影響實驗結果，我們查詢網路，發現如果在喇叭前加裝套筒，可以讓聲波以平面方式前進，避免干擾增加實驗準確性。



圖4:套筒(作者拍攝)

6. 利用應用程式《Adjust Volume》準確控制音量輸出大小：

由於一般手機或平板電腦都沒有辦法準確控制音量輸出大小，所以我們下載《Adjust Volume》應用程式，可將音量做量化為 0至100，如此就可以控制喇叭音量輸出大小，讓聲音不至於過大影響聽力，亦不至於過小影響音量測量準確性，達到每測實驗都可在同一音量輸出功率測量的效果。

(二) 音場實驗箱製作

由於教室空間較大且無法移動，若要進行實驗，除了需要大量實驗材料，也較難控制環境雜音。因此，我們找來一個內長55公分、內寬40公分、內高36公分的紙箱，以它代替教室來作為實驗箱，進行實驗。布置如下：

1. 藍芽喇叭先放於玻璃杯內，再將它放入厚卡紙捲成的圓筒內。喇叭前端距離捲筒

口16公分。捲筒口距離紙箱牆面中心點10公分。捲筒與牆面垂直線夾30度角。

2. 噪音計放於(乙)點，(乙)點與牆面中心點距離25公分。兩點連線與牆面垂直線夾30度角。乙點右方3公分處為(甲)測量點，左方3公分處為(丙)測量點。



圖5:實驗箱(作者拍攝)

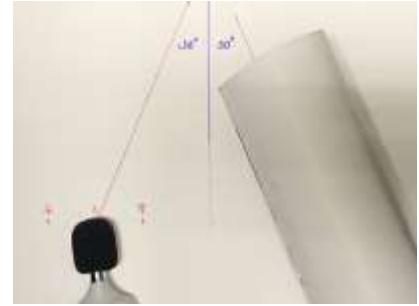


圖6:實驗箱器材擺設(作者拍攝)

(三) 製作不同樣式窗簾

為了讓不同樣式窗簾能在實驗箱內實驗，我們利用卡紙、麻線、竹籤、膠帶等製作以下型式窗簾

1. 百葉簾：將卡紙裁切成長38公分寬4公分得紙板，並用麻線串起來。
2. 波浪簾：將卡紙彎折成深度4公分之波浪形狀。
3. 紙捲簾：將竹籤整齊排列，再用麻線串接起來。



圖7: 百葉簾(作者拍攝)

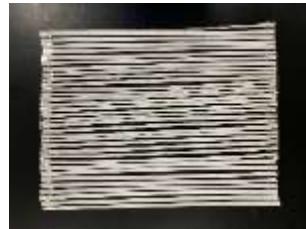


圖8: 紙捲簾(作者拍攝)



圖9: 波浪簾(作者拍攝)

(四) 製作不同孔洞形狀吸音板

1. 將保麗龍板裁切成長40公分、寬36公分大小，分別在不同保麗龍板上裁出圓形孔、正方形孔、正六邊形孔，以下簡稱為圓形吸音板、正方形吸音板、正六形吸音板。
2. 為了讓板上的形狀能均勻排列，我們將保力龍板畫出長4公分方格，並在方格內劃出圖形。
3. 為了讓實驗更為準確，我們想辦法控制讓每一塊保麗龍板的穿孔面積一樣大，經過詢問 ChatGTP 計算後，當圓形半徑2公分、正方形邊長3.544公分、正六邊形邊長2.2公分時，面積相同。

圓的面積公式： $A=\pi r^2$

半徑 $r=2$ 公分，因此圓的面積為： $A=\pi \times 2^2=4\pi \approx 12.566$ 平方公分

找出邊長為多少公分的正方形，面積和圓一樣大。

正方形的面積公式為： $A=s^2$

令 s 為正方形的邊長，

所以： $s^2=4\pi$ ， $s=\sqrt{4\pi}=2\sqrt{\pi}\approx2\times1.772=3.544$ (公分)

找出邊長為多少公分的正六邊形，面積和圓一樣大。

邊長為 a 的正六邊形面積是：

$$A_{\text{六邊形}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$$

讓它等於圓的面積：

$$a^2 = \frac{4\pi}{\frac{3\sqrt{3}}{2}} = \frac{8\pi}{3\sqrt{3}} \quad a = \sqrt{\frac{8\pi}{3\sqrt{3}}}$$

代入近似值 $\pi\approx3.1416$ ， $\sqrt{3}\approx1.732$

所以：

$$a^2 \approx \frac{25.1328}{5.196} \approx 4.835$$

$$a \approx \sqrt{4.835} \approx 2.199 \text{ (公分)}$$



圖10:正方形吸音板(作者拍攝)



圖11:正六邊形吸音板(作者拍攝)



圖12:圓形吸音板(作者拍攝)

三、研究方法設計

(一) 實驗一：研究不同窗簾布料材質吸音效果

1. 備妥硬棉布、棉布、尼龍布、不織布、毛氈布、人造皮革、無紡布、絨布等八種實驗布料。
2. 在距離牆面中心點10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在測量點(甲)擺上噪音計。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放。
4. 紀錄聲音在空箱中撥放時，所測到的音量。

5. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
6. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
7. 於牆面擺上硬棉布，重複2~6步驟。
8. 依序於牆面擺上棉、尼龍布、不織布、毛氈布、人造皮革、無紡布、絨布，重複1~6步驟。

(二) 實驗二：研究不同窗簾布料材質減少迴音效果

1. 備妥硬棉布、棉布、尼龍布、不織布、毛氈布、人造皮革、無紡布、絨布等八種實驗布料。
2. 在距離牆面中心點10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在測量點(甲)，擺上噪音計，並測量音量。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放數秒。
4. 打開平板錄影，紀錄聲音按停到迴音結束所花的時間。
5. 按停聲音後，觀察噪音計音量變化，當音量降到未撥放聲音前的空箱音量時，所花的時間就是迴音時間。
6. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
7. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
8. 於牆面擺上硬棉布，重複2~7步驟。
9. 依序於牆面擺上棉、尼龍布、不織布、毛氈布、人造皮革、無紡布、絨布，重複2~8步驟。

(三) 實驗三：研究不同窗簾樣式吸音效果

1. 備妥自製百葉窗、紙捲簾、波浪簾。
2. 在距離牆面10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在距離牆面中心點25公分處(測量點甲)擺上噪音計。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放。
4. 紀錄聲音在空箱中撥放時，所測到的音量。
5. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
6. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
7. 於牆面擺上百葉窗，重複2~6步驟。

8. 依序於牆面擺上紙捲簾、波浪簾，重複1~6步驟。

(四) 實驗四：研究不同窗簾樣式減少迴音效果

1. 備妥自製百葉簾、紙捲簾、波浪簾。
2. 在距離牆面10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在測量點甲，擺上噪音計，並測量音量。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放數秒。
4. 打開平板錄影，紀錄聲音按停到迴音結束所花的時間。
5. 按停聲音後，觀察噪音計音量變化，當音量降到未撥放聲音前的空箱音量時，所花的時間就是迴音時間。
6. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
7. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
8. 於牆面擺上百葉簾，重複2~7步驟。
9. 依序於牆面擺上紙捲簾、波浪簾，重複2~7步驟

(五) 實驗五：研究不同孔洞形狀吸音板吸音效果

1. 備妥自製圓形、正方形、正六邊形孔洞保麗龍吸音板。
2. 在距離牆面中心點10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在距離牆面中心點25公分處(測量點甲)擺上噪音計。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放。
4. 紀錄聲音在空箱中撥放時，所測到的音量。
5. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
6. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
7. 於牆面擺上圓孔吸音板，重複2~6步驟。紀錄聲音在空箱中撥放時，所測到的音量。
8. 依序於牆面擺上正方形孔吸音板、正六邊形孔吸音板，重複2~6步驟。

(六) 實驗六：研究不同孔洞形狀吸音板減少迴音時間

1. 備妥自製圓形、正方形、正六邊形孔洞形狀保麗龍吸音板。
2. 在距離牆面(A)10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在測量點甲，擺上噪音計，並測量音量。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放數秒。

4. 打開平板錄影，紀錄聲音按停到迴音結束所花的時間。
5. 按停聲音後，觀察噪音計音量變化，當音量降到未撥放聲音前的空箱音量時，所花的時間就是迴音時間。
6. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
7. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
8. 於牆面擺上圓形孔吸音板，重複2~7步驟。
9. 依序於牆面擺上正方形孔吸音板、正六邊形孔吸音板，重複2~7步驟。

(七) 實驗七：研究不同**孔洞深度**吸音板吸音效果

1. 備妥自製1公分深、2公分深、3公分深圓形孔洞保麗龍吸音板。
2. 在距離牆面中心點10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在距離牆面中心點25公分處(測量點甲)擺上噪音計。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放。
4. 紀錄聲音在空箱中撥放時，所測到的音量。
5. 於測量點乙擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
6. 於測量點丙擺上噪音計，重複2~4步驟，測量音量。
7. 於牆面擺上1公分深圓形孔吸音板，重複2~6步驟。
8. 依序於牆面擺上2公分深圓形孔洞吸音板、3公分深圓形吸音板，重複2~6步驟。

(八) 實驗八：研究不同**孔洞深度**吸音板減少迴音效果

1. 備妥自製1公分深、2公分深、3公分深圓形孔洞保麗龍吸音板。
2. 在距離牆面中心點10公分處擺上藍芽喇叭套筒，在測量點(甲)，擺上噪音計，並測量音量。
3. 打開《Adjust Volume》應用程式，將音量調整至適當大小，打開應用程式《phyphox》，將頻率調整為1000赫茲，並撥放數秒。
4. 打開平板錄影，紀錄聲音按停到迴音結束所花的時間。
5. 按停聲音後，觀察噪音計音量變化，當音量降到未撥放聲音前的空箱音量時，所花的時間就是迴音時間。
6. 於測量點(乙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
7. 於測量點(丙)擺上噪音計，重複2~5步驟，測量時間。
8. 於牆面擺上1公分深保麗龍吸音板，重複2~7步驟。

9. 依序於牆面擺上2公分深保麗龍吸音板、3公分深保麗龍吸音板，重複2~7步驟。

肆、研究結果

一、實驗一：研究不同窗簾布料材質吸音效果

表4:甲處不同窗簾布料材質吸音量(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音 量	優 劣
0.空箱		78.1	77.8	77.8	77.7	77.8	77.84		
1.硬棉布		77.5	77.6	77.6	77.6	77.5	77.56	0.28	
2.棉布		74.0	74.9	74.9	74.6	74.7	74.62	3.22	2
3.尼龍布		77.5	77.3	77.6	77.6	77.8	77.56	0.28	
4.不織布		75.9	75.8	75.9	75.5	75.6	75.74	2.10	4
5.毛氈布		77.4	77.4	77.6	77.5	77.3	77.44	0.40	
6.人造皮革		78.3	78.4	78.3	78.4	78.4	78.36	-0.52	
7.無紡布		75.0	74.6	74.3	74.2	74.1	74.44	3.40	1
		75.1	75.5	74.9	75.2	75.6	75.26	2.58	3

表5:乙處不同窗簾布料材質吸音量(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音 量	優 劣
0.空箱		77.5	77.4	77.4	77.2	77.6	77.42		
1.硬棉布		76.5	76.6	76.4	76.8	76.8	76.62	0.80	
2.棉布		74.4	74.4	74.3	74.3	74.4	74.36	3.06	3
3.尼龍布		74.4	74.5	74.5	74.6	74.6	74.52	2.90	
4.不織布		74.8	74.4	74.6	74.1	74.6	74.50	2.92	4
5.毛氈布		76.3	76.2	76.2	76.1	76.7	76.30	1.12	
6.人造皮革		76.2	76.3	76.3	76.2	76.2	76.24	1.18	
7.無紡布		74.7	75.1	74.1	73.5	74.1	74.30	3.12	2
		73.6	73.7	73.5	73.6	73.5	73.58	3.84	1

**以上紅色數字為不佳測量數值，不採計。

表6:丙處不同窗簾布料材質吸音量(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音 量	優 劣
0.空箱		76.8	76.7	76.5	76.4	76.5	76.58		
1.硬棉布		75.5	75.5	75.3	75.8	75.9	75.60	0.98	
2.棉布		72.7	72.5	72.7	72.7	72.7	72.66	3.92	1

3.尼龍布	76.2	76.0	76.0	76.0	76.0	76.04	0.54	
4.不織布	74.7	74.5	74.6	74.5	74.4	74.54	2.04	3
5.毛氈布	76.6	76.6	76.5	76.5	76.5	76.54	0.04	
6.人造皮革	75.5	75.5	75.5	75.4	75.5	75.48	1.10	
7.無紡布	74.6	74.4	74.5	74.7	75.4	74.72	1.86	4
	74.0	74.0	73.8	73.8	73.9	73.90	2.68	2

二、實驗二：研究不同窗簾布料材質減少迴音時間

表7:甲處不同窗簾布料材質減少迴音時間(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲							
時間(秒)＼次別 品名		1	2	3	4	5	剔除紅字 後迴音時 間平均	減少 迴音 時間	優 劣
0.空箱	3.67	4.09	2.06	2.36	3.09	2.80			
1.硬棉布	2.64	2.38	3.12	2.92	2.56	2.63	0.17		
2.棉布	1.82	1.46	1.82	1.70	1.65	1.69	1.11	1	
3.尼龍布	2.90	2.45	1.89	1.70	2.35	2.35	0.45		
4.不織布	2.38	2.24	2.13	2.12	1.60	2.22	0.58		
5.毛氈布	1.54	2.00	2.08	2.07	1.50	1.84	0.96	3	
6.人造皮革	1.66	2.04	2.10	2.04	2.01	2.05	0.75	4	
7.無紡布	2.19	1.76	1.86	1.85	1.80	1.82	0.98	2	
8.絨布	1.96	1.81	1.82	1.72	1.77	1.82	0.98	2	

表8:乙處不同窗簾布料材質減少迴音時間(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲							
時間(秒)＼次別 品名		1	2	3	4	5	剔除紅字 後迴音時 間平均	減少 迴音 時間	排 序
0.空箱	3.01	2.83	1.87	2.32	2.82	2.75			
1.硬棉布	2.83	2.67	2.89	3.19	2.56	2.74	0.01		
2.棉布	1.74	1.63	2.07	1.82	1.61	1.70	1.05	1	
3.尼龍布	1.95	1.89	2.33	1.59	1.60	1.76	0.99	2	
4.不織布	1.74	2.11	1.85	1.81	1.89	1.82	0.92	3	
5.毛氈布	2.24	2.84	2.88	2.90	2.79	2.73	0.01		
6.人造皮革	2.29	2.01	1.66	2.11	2.28	2.07	0.68		
7.無紡布	1.89	5.05	1.83	1.97	1.75	1.86	0.89	4	
8.絨布	1.77	1.78	2.11	1.95	2.00	1.92	0.82		

表9:丙處不同窗簾布料材質減少迴音時間(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲							
時間(秒)＼次別 品名		1	2	3	4	5	剔除紅字 後迴音時	減少 迴音	排 序

						間平均	時間	
0.空箱	2.23	2.41	2.86	2.75	2.02	2.45		
1.硬棉布	5.93	1.81	1.90	1.74	1.88	1.83	0.62	
2.棉布	1.65	1.71	1.63	1.57	1.68	1.65	0.81	1
3.尼龍布	1.87	1.83	1.57	1.86	1.94	1.81	0.64	4
4.不織布	1.98	2.09	1.60	1.80	1.67	1.83	0.63	
5.毛氈布	1.84	2.23	2.32	2.18	2.25	2.16	0.29	
6.人造皮革	1.72	1.86	1.92	1.80	1.54	1.83	0.63	
7.無紡布	1.82	1.82	1.58	1.75	1.86	1.77	0.69	3
8.絨布	2.04	2.26	1.92	2.35	1.73	2.06	0.74	2

**以上紅色數字為不佳測量數值，不採計。

三、實驗三：研究不同窗簾樣式吸音效果

表10:甲處不同窗簾樣式吸音量(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲							
分貝	次別	1	2	3	4	5	音量平均	吸音量	優劣
品名									
1 空箱		79.1	79.1	79.1	79.1	79.1	79.10		
2 百葉簾		78.7	78.7	78.6	78.7	78.7	78.68	0.42	3
3 紙捲簾		77.8	77.8	77.9	77.6	77.8	77.78	1.32	2
4 波浪簾		63.4	63.9	64.3	63.8	64.0	63.88	15.22	1

表11:乙處不同窗簾樣式吸音量(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲							
分貝	次別	1	2	3	4	5	音量平均	吸音量	優劣
品名									
1 空箱		78.0	78.1	78.1	78.0	78.1	78.06		
2 百葉簾		76.0	76.5	76.5	76.5	76.5	76.40	1.66	3
3 紙捲簾		76.2	76.1	76.0	76.0	76.1	76.08	1.98	2
4 波浪簾		65.3	64.9	65.0	65.1	65.4	65.14	12.92	1

表12:丙處不同窗簾樣式吸音量(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲							
分貝	次別	1	2	3	4	5	音量平均	吸音量	優劣
品名									
1 空箱		78.9	79.0	79.3	79.2	79.1	79.10		
2 百葉簾		78.7	79.0	79.3	79.2	79.1	79.06	0.04	3
3 紙捲簾		77.4	77.3	77.5	77.5	77.4	77.42	1.68	2
4 波浪簾		70.7	70.9	70.8	70.8	70.7	70.78	8.32	1

四、實驗四：研究不同窗簾樣式減少迴音時間

表13:甲處不同窗簾樣式減少迴音時間(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲					剔除紅字 後迴音時 間平均	減少 迴音 時間	優 劣
時間(秒)	次別 品名	1	2	3	4	5			
1 空箱		3.57	3.09	3.01	2.94	2.17	3.15		
2 百葉簾		3.31	2.68	2.71	2.37	2.13	2.64	0.51	3
3 紙捲簾		2.70	4.70	2.40	2.52	2.54	2.54	0.61	2
4 波浪簾		1.77	1.72	1.73	1.88	2.00	1.82	1.33	1

表14:乙處不同窗簾樣式減少迴音時間(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲					剔除紅字 後迴音時 間平均	減少 迴音 時間	排 序
時間(秒)	次別 品名	1	2	3	4	5			
1 空箱		2.82	2.08	3.08	3.38	3.51	2.97		
2 百葉簾		1.98	2.03	4.73	2.50	2.32	2.71	0.26	3
3 紙捲簾		2.43	2.33	2.58	2.17	1.81	2.38	0.60	2
4 波浪簾		2.03	2.31	1.77	2.03	1.59	1.95	1.03	1

**以上紅色數字為不佳測量數值，不採計。

表15:丙處不同窗簾樣式減少迴音時間(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲					迴音時 間平均	減少回 音時間	優 劣
時間(秒)	次別 品名	1	2	3	4	5			
1 空箱		2.70	2.91	2.86	2.73	2.65	2.77		
2 百葉簾		2.25	2.93	2.98	1.94	2.06	2.43	0.34	2
3 紙捲簾		2.60	2.39	2.87	2.46	2.39	2.54	0.23	3
4 波浪簾		1.54	1.83	1.81	1.77	1.78	1.75	1.02	1

五、實驗五：研究不同孔洞形狀吸音板吸音效果

表16:甲處不同孔洞形狀吸音板吸音量(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲					音量 平均	吸音量	優 劣
分貝	次別品 名	1	2	3	4	5			
1 空箱		79.3	79.1	79.1	79.1	79.1	79.14		
2 圓形孔吸音板		76.8	76.7	76.8	76.7	76.7	76.74	2.40	1
3 正六形孔吸音板		78.2	78.2	78.0	78.0	78.0	78.08	1.06	3
4 正方形孔吸音板		77.4	77.4	77.5	77.4	77.4	77.42	1.72	2

表17:乙處不同孔洞形狀吸音板吸音量(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲						
分貝 次別 品名	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音量	優 劣
1 空箱	73.3	73.0	73.1	73.4	73.6	73.28		
2 圓形孔吸音板	66.4	66.9	66.0	66.0	66.7	66.40	6.88	2
3 正六形孔吸音板	65.2	65.7	67.1	67.0	66.0	66.20	7.08	1
4 正方形孔吸音板	79.0	74.9	78.8	78.8	78.6	78.02	-4.74	3

表18:丙處不同孔洞形狀吸音板吸音量(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲						
分貝 次別 品名	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音量	優 劣
1 空箱	73.3	74.6	73.9	75.0	75.0	74.36		
2 圓形孔吸音板	72.4	72.4	72.5	72.3	72.2	72.36	2.00	1
3 正六形孔吸音板	75.5	75.4	75.3	75.3	75.4	75.38	-1.02	3
4 正方形孔吸音板	74.3	74.3	74.4	74.4	74.4	74.36	0.00	2

六、實驗六：研究不同孔洞形狀吸音板減少迴音效果

表19:甲處孔洞形狀吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間 平均	減少迴 音時間	優 劣
1 空箱	3.16	3.34	3.66	3.21	3.28	3.33		
2 圓形孔吸音板	2.34	2.49	2.91	2.09	2.34	2.43	0.90	1
3 正六形孔吸音板	2.96	2.68	2.59	2.64	2.16	2.61	0.72	2
4 正方形孔吸音板	3.06	2.96	2.36	2.94	2.91	2.85	0.48	3

表20:乙處孔洞形狀吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間 平均	減少迴 音時間	優 劣
1 空箱	3.31	3.76	3.44	3.24	3.41	3.43		
2 圓形孔吸音板	2.27	2.58	2.84	2.38	2.56	2.53	0.91	1
3 正六形孔吸音板	2.51	2.33	2.44	2.91	2.79	2.60	0.84	2
4 正方形孔吸音板	2.24	2.28	4.51	2.44	2.16	2.73	0.71	3

表21:丙處孔洞形狀吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間 平均	減少迴 音時間	優 劣
1 空箱	3.61	3.41	3.14	3.46	3.28	3.38		
2 圓形孔吸音板	2.41	2.26	2.29	2.06	1.96	2.20	1.18	1
3 正六形孔吸音板	2.79	2.99	3.23	3.78	2.64	3.17	0.47	3

4 正方形孔吸音板	2.68	2.43	2.41	2.99	3.16	2.73	0.65	2
-----------	------	------	------	------	------	------	------	---

**以上紅色數字為不佳測量數值，不採計。

七、實驗七：研究不同孔洞深度吸音板吸音效果

表22:甲處不同孔洞深度吸音板吸音量(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音量	優 劣
1 空箱		79.3	79.1	79.1	79.1	79.1	79.14		
2 一公分深									
圓形孔吸音板		78.1	78.9	79.4	79.1	79.4	78.98	0.16	3
3 二公分深									
圓形孔吸音板		74.4	73.9	74.0	74.0	74.0	74.06	5.08	1
4 三公分深									
圓形孔吸音板		74.4	74.3	74.4	74.4	74.4	74.38	4.76	2

表23:乙處不同孔洞深度吸音板吸音量(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音量	優 劣
1 空箱		73.3	73.0	73.1	73.4	73.6	73.28		
2 一公分深									
圓形孔吸音板		68.8	69.5	69.1	69.5	69.5	69.28	4.00	2
3 二公分深									
圓形孔吸音板		72.7	72.6	73.1	72.1	72.0	72.50	0.78	3
4 三公分深									
圓形孔吸音板		67.9	67.8	67.9	67.8	67.8	67.84	5.44	1

表24:丙處不同孔洞深度吸音板吸音量(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲							
分貝 品名	次別	1	2	3	4	5	音量 平均	吸音量	優 劣
1 空箱		73.3	74.6	74.9	74.0	75.0	74.36		
2 一公分深									
圓形孔吸音板		74.5	74.3	74.1	74.2	74.1	74.24	0.12	3
3 二公分深									
圓形孔吸音板		67.0	66.6	64.5	66.2	66.1	66.08	8.28	2
4 三公分深									
圓形孔吸音板		65.1	64.3	64.0	64.6	64.4	64.48	9.88	1

八、實驗八：研究不同孔洞深度吸音板減少迴音效果

表25: 甲處不同孔洞深度吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：甲		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間平均	減少迴音時間	優劣
1 空箱	3.31	3.76	3.44	3.24	3.41	3.43		
2 一公分深 圓形孔吸音板	1.58	1.91	1.98	2.09	2.24	1.96	1.47	3
3 二公分深 圓形孔吸音板	2.08	1.89	2.01	1.58	2.06	1.92	1.51	2
4 三公分深 圓形孔吸音板	1.71	1.66	1.68	1.81	1.58	1.69	1.74	1

表26: 乙處不同孔洞深度吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：乙		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間平均	減少迴音時間	優劣
1 空箱	2.61	2.41	2.14	2.46	2.28	2.38		
2 一公分深 圓形孔吸音板	2.76	2.78	2.29	2.84	2.38	2.61	0.23	3
3 二公分深 圓形孔吸音板	2.11	2.08	2.14	2.26	1.91	2.10	0.28	2
4 三公分深 圓形孔吸音板	1.66	2.09	2.01	2.04	1.83	1.93	0.45	1

表27:丙處不同孔洞深度吸音板減少迴音時間(作者整理)

測量點：丙		頻率：1000 赫茲						
時間(秒) 次別 品名	1	2	3	4	5	迴音時間平均	減少迴音時間	優劣
1 空箱	2.16	2.34	2.66	2.21	2.28	2.33		
2 一公分深 圓形孔吸音板	1.91	2.36	2.64	1.69	2.11	2.14	0.19	2
3 二公分深 圓形孔吸音板	2.14	2.16	1.91	2.32	2.24	2.15	0.18	3
4 三公分深 圓形孔吸音板	2.01	1.84	1.91	1.88	1.74	1.88	0.45	1

伍、討論

根據以上實驗，我們歸納以下結果，並加以討論：

一、不同窗簾布料材質吸音及迴音

(一) 實驗一：研究不同窗簾布料材質吸音效果

表28:不同窗簾布料材質吸音效果比較(作者整理)

布料材質	甲處 吸音量(db)	乙處 吸音量(db)	丙處 吸音量(db)	平均	優劣
1 硬棉布	0.28	0.80	0.98	0.69	
2 棉布	3.22	3.06	3.92	3.40	1
3 尼龍布	0.28	2.9	0.54	1.24	
4 不織布	2.10	2.92	2.04	2.35	4
5 毛氈布	0.40	1.12	0.04	0.52	
6 人造皮革	-0.52	1.18	1.10	0.59	
7 無紡布	3.40	3.12	1.86	2.79	3
8 純布	2.58	3.84	2.68	3.03	2

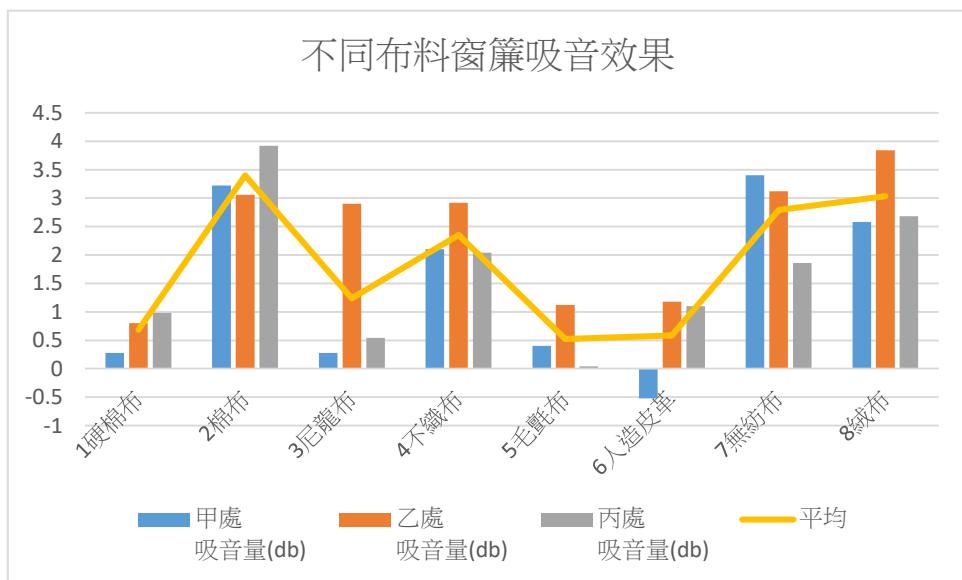


圖13:不同窗簾布料吸音效果(作者繪製)

研究發現：

1. 將噪音計放在甲處，**無紡布**吸音效果最佳，其次是棉布，第三是純布。將噪音計放在乙處，**純布**吸音效果最佳，其次是無紡布，第三是棉布。將噪音計放在丙處，**棉布**吸音效果最佳，其次是純布，第三是不織布。
2. 三處吸音量平均，發現**棉布**效果最佳，其次是純布，人造皮革和毛氈布最差。

(二) 實驗二：研究不同窗簾布料材質減少迴音時間

表29:不同窗簾布料材質減少迴音效果比較(作者整理)

布料材質	甲處 減少迴音時間(s)	乙處 減少迴音時間(S)	丙處 減少迴音時間(s)	平均	優劣
1 硬棉布	0.17	0.01	0.62	0.27	
2 棉布	1.11	1.05	0.81	0.99	1
3 尼龍布	0.45	0.99	0.64	0.69	
4 不織布	0.58	0.92	0.63	0.71	3
5 毛氈布	0.96	0.01	0.29	0.42	
6 人造皮革	0.75	0.68	0.63	0.68	
7 無紡布	0.98	0.89	0.69	0.85	2
8 絨布	0.98	0.82	0.74	0.85	2

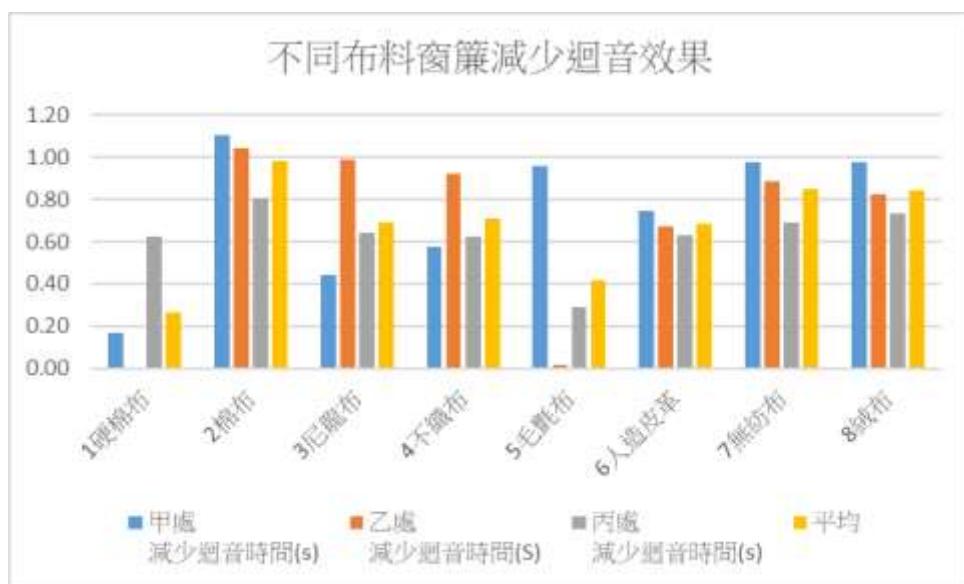


圖14:不同窗簾布料減少迴音效果(作者繪製)

研究發現：

1. 將噪音計放在甲處，**棉布**減少迴音效果最佳的。其他布料無紡布毛、絨布、毛氈布也都有不錯的減少迴音效果，差距不明顯。將噪音計放在乙處，棉布減少迴音效果最佳的，其他尼龍布、不織布、毛氈布、無紡布都有不錯的效果。將噪音計放在丙處，棉布減少迴音效果最佳的。其他布料硬棉布、尼龍布、不織布、無紡布都有不錯的效果，差距不大。

2. 整體平均，**棉布**最佳，**無紡布和絨布**第二，硬棉布和毛氈布較差。

(三)根據實驗一、實驗二，**棉布**在吸音及減少迴音時間的效果最佳，絨布和無紡布第二。而效果最差的是硬棉布和毛氈布，推測可能跟布料的**柔軟性**有關，柔軟性較佳的布料可吸收音波的衝擊時，可以減震緩衝的效果，所以音波較不易反射形成迴音。在甲、乙、丙三個地方測量，硬棉布和毛氈布有較大的差異性，推測可能是實

驗細節未能掌握好，或是環境因數干擾，造成實驗測得數據不準確。

二、不同窗簾樣式吸音及迴音

(一) 實驗三：研究不同窗簾樣式吸音效果

表30:三處不同窗簾樣式吸音效果比較(作者整理)

窗簾樣式	甲處 吸音量(db)	乙處 吸音量(db)	丙處 吸音量(db)	平均	優劣
百葉簾	0.42	1.66	0.04	0.71	3
紙捲簾	1.32	1.98	1.68	1.66	2
波浪簾	15.22	12.92	8.32	12.15	1

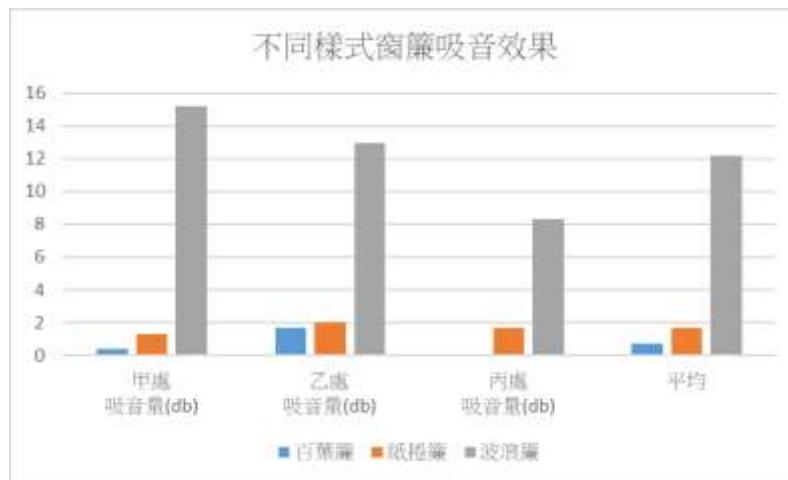


圖15: 不同窗簾樣式吸音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放在甲、乙、丙三處測量，**波浪簾**都是吸音效果最佳的，而且與其他兩種有較大的差距。而紙捲簾和百葉簾較差，且兩種相差不大。

(二) 實驗四：研究不同窗簾樣式減少迴音效果

表31:三處不同窗簾樣式減少回音效果比較(作者整理)

窗簾樣式	甲處 減少迴音時間(S)	乙處 減少迴音時間(S)	丙處 減少迴音時間(S)	平均	優劣
百葉簾	0.51	0.26	0.34	0.37	3
紙捲簾	0.61	0.60	0.23	0.48	2
波浪簾	1.33	1.03	1.02	1.13	1

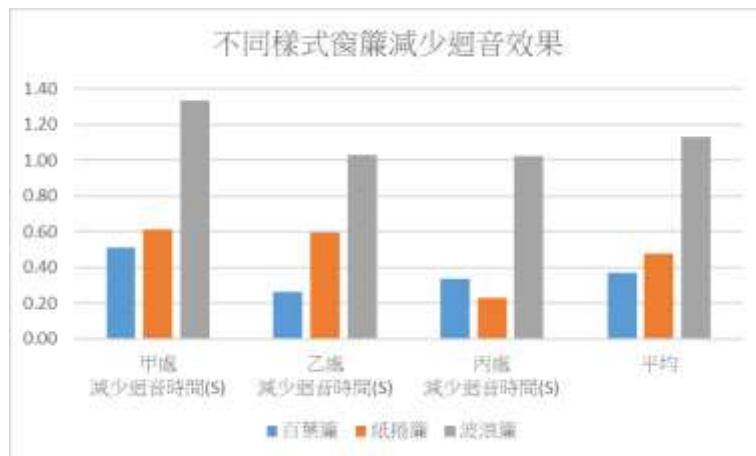


圖16:不同窗簾樣式減少迴音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放在甲處、乙處，**波浪簾**減少迴音效果都是最佳的，其次是紙捲簾，百葉簾最差。而丙處則百葉簾稍優於紙捲簾。

(三) 根據實驗三、實驗四，表現較差者為百葉簾，推測可能原因是本實驗百葉簾葉片倆倆都是水平擺放，間距較大，音波可以直接穿透後又反射回來，所以吸音效果最差，減少迴音效果也最不明顯。而波浪簾因彎折曲面多面向關係，聲音除了被吸收外，反射音波也較沒有規律性。容易互相干擾抵銷，所以較不容易傳遞到較遠的地方。

三、不同孔洞形狀吸音板吸音及減少迴音效果

(一) 實驗五：研究不同孔洞形狀吸音板吸音效果

表32:三處不同孔洞形狀吸音板吸音效果比較(作者整理)

吸音孔形狀	甲處 吸音量(db)	乙處 吸音量(db)	丙處 吸音量(db)	平均	優劣
圓形孔吸音板	2.40	6.88	2.00	4.44	1
正六邊形孔吸音板	1.06	7.08	-1.02	3.03	2
正方形孔吸音板	1.72	-4.74	0.00	-2.37	3

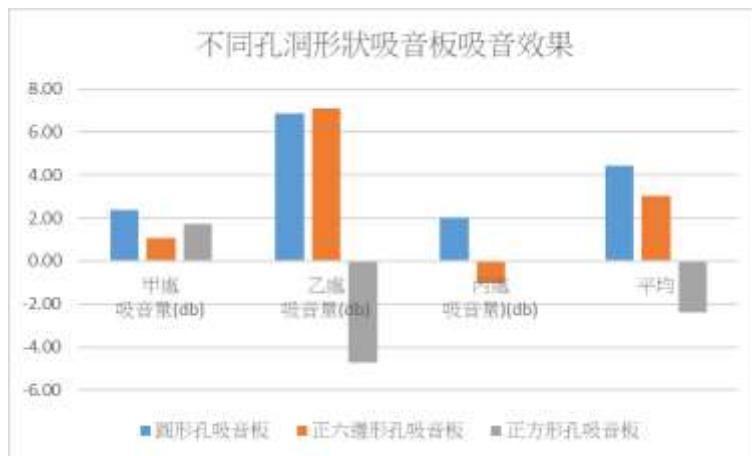


圖17:不同吸音孔洞形狀吸音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放在乙處，正六邊形孔洞吸音板具有較佳吸音效果，不過與圓形孔吸音板差距不大。而正方形孔吸音板較差，甚至不具吸音效果。三處平均，圓形吸音孔吸音板有最佳吸音效果。

(二) 實驗六：研究不同孔洞形狀吸音板減少迴音效果

表33:三處不同孔洞形狀吸音板減少迴音效果比較(作者整理)

吸音孔形狀	甲處 減少迴音時間(秒)	乙處 減少迴音時間(秒)	丙處 減少迴音時間(秒)	平均	優劣
圓形孔吸音板	0.90	0.91	1.18	1.00	1
正六形孔吸音板	0.72	0.84	0.47	0.68	2
正方形孔吸音板	0.48	0.71	0.65	0.61	3

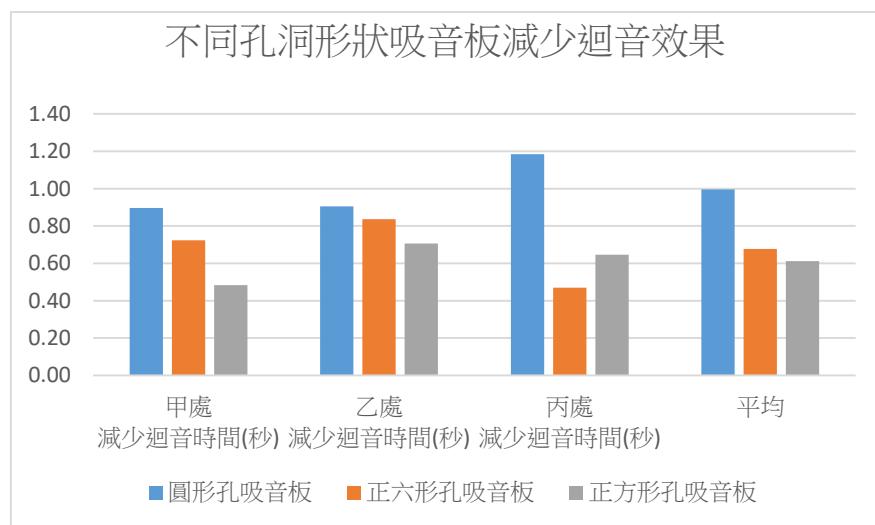


圖18: 不同吸音孔洞形狀減少迴音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放於甲處測量，發現圓形孔吸音板具有最佳減少迴音效果，第二是正六邊形。將噪音計放於乙處測量，發現和甲處相同，而在丙處則是正方形孔吸音板較六邊形吸音孔減少迴音效果好。三處平均，圓形孔洞吸音板效果最佳。

(三) 根據實驗五、實驗六，圓形孔洞吸音板具有較佳的吸音，及減少迴音的效果。推論可能原因是因為聲音進入吸音孔後，音波破觸到孔牆面為弧形，容易讓聲音成無一定方向反射而互相抵消，因此反射出來的音波較少，相對形成迴音的時間也會較短。

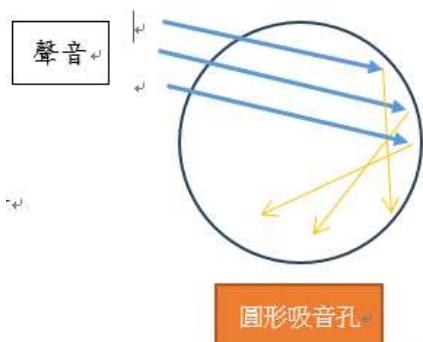


圖19:聲音進入圓形吸音孔示意
(作者繪製)

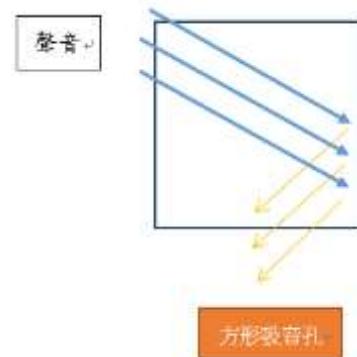


圖20:聲音進入方形吸音孔示意
(作者繪製)

四、不同孔洞深度吸音板吸音及減少迴音效果

(一) 實驗七：研究不同孔洞深度吸音板吸音效果

表34:三處不同孔洞深度吸音板吸音效果比較(作者整理)

圓形吸音孔深度	甲處吸音量(db)	乙處吸音量(db)	丙處吸音量(db)	平均	優劣
一公分厚	0.16	4.00	0.12	1.43	3
二公分厚	5.08	0.78	8.28	4.71	2
三公分厚	4.76	5.44	9.88	6.69	1

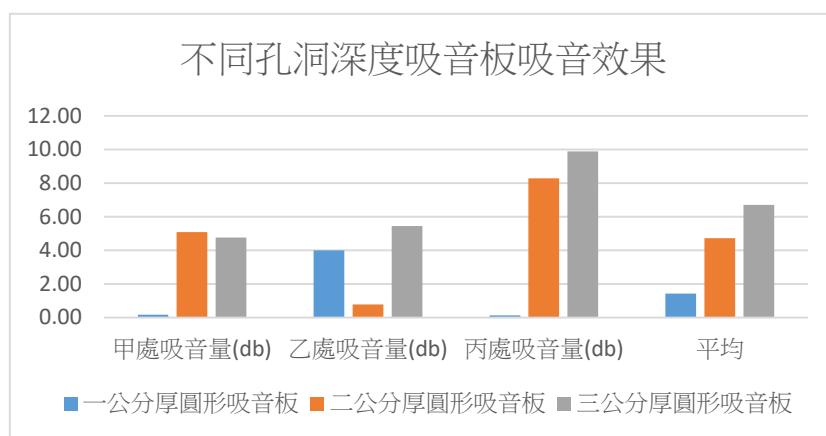


圖21:不同孔洞深度吸音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放在(甲處)，二公分深圓形孔洞吸音板具有最佳吸音量。將噪音計放在(乙處)，三公分深圓形孔吸音板具有最佳吸音量。將噪音計放在(丙處)，三公分深圓形吸音板具有最佳吸音量。而放一公分深孔洞吸音板，吸音效最差，甚至接近無效果。

(二) 實驗八：研究不同孔洞深度吸音板減少迴音效果

表35:三處不同孔洞深度吸音板減少迴音效果比較(作者整理)

圓形吸音孔深度	甲處 減少迴音時間(S)	乙處 減少迴音時間(S)	丙處 減少迴音時間(s)	平均	優劣
---------	-----------------	-----------------	-----------------	----	----

一公分	1.47	-0.23	0.19	0.48	3
二公分	1.51	0.28	0.18	0.65	2
三公分	1.74	0.45	0.45	0.88	1

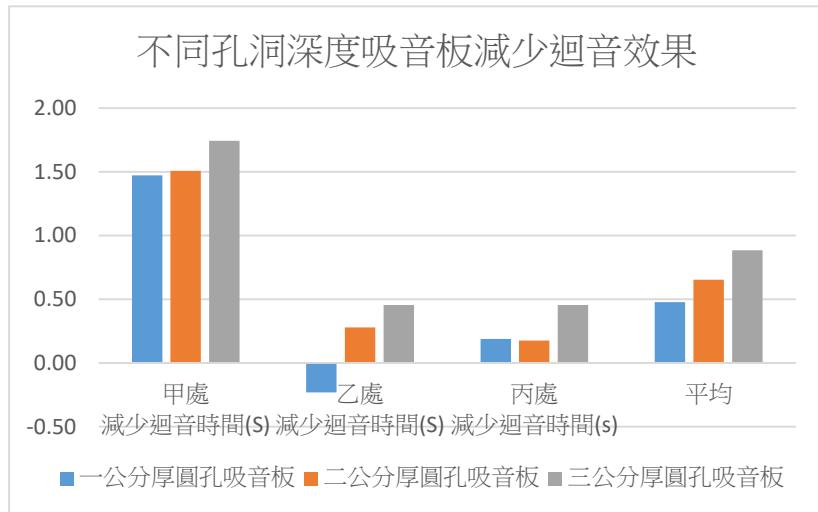


圖22:不同孔洞深度減少迴音效果(作者繪製)

研究發現：將噪音計放於測試箱(甲處)、(乙處)、(丙處)測量，測得的結果都是**三公分深孔洞吸音板**具有最佳減少迴音的效果。可見深度較深的吸音板具有較佳的吸音效果。

(三) 根據實驗七、實驗八，孔洞較深的吸音板具有較佳的吸音及減少迴音的效果。推論可能原因是因為聲音進入吸音孔後，因為深度較深，音波不易逃出，因此反射出來聲音較少，相對形成回音的時間也會較短。

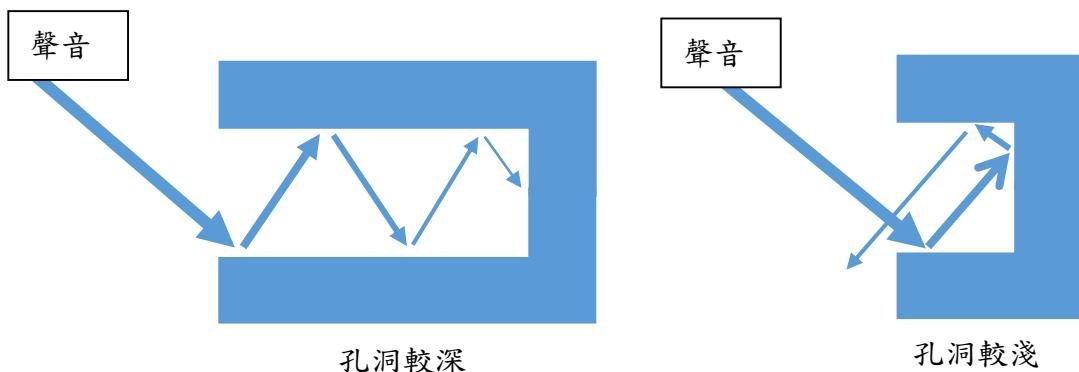


圖23:不同孔洞深度聲音傳遞示意圖(作者繪製)

五、從以上實驗我們發現，聲音是很敏銳的東西，要準確測量出測試箱的音量很不容易，常常會受到環境音量的干擾，造成測量不準確，應該要在隔音室內做實驗會比較準確。

陸、結論

- 一、「迴音」是音源在室內發聲停止後，因聲音受到邊界影響，連續不斷的反射，使得聲音不會立刻消失之聲音衰減過程。此種聲音不會立刻消失的現象又稱做「迴響」。
- 二、「噪音」是指在特定情境下對人耳造成干擾、不悅或無用的聲音。它並非單純以音量大小判斷，而是與聽者的主觀感受及當下環境有密切關係。
- 三、柔軟性較佳的布料，具有較佳吸收音波震動功能，所以減少迴音效果較佳。
- 四、波浪簾相較於捲簾、百葉簾，具有較佳的吸音，及減少迴音的效果。
- 五、圓形孔洞吸音板相較於正六邊形、正方形孔洞吸音板，具有較佳的吸音及減少迴音的效果。
- 六、孔深較深的吸音板具有較佳的吸音及減少迴音的效果。

柒、參考文獻資料

1. 徐學文、丘智憫、黃婉茹、林友千、林永揚、林春綺。(2004)。密封罩使用輕質材料的隔音性質研究。中華民國振動與噪音工程學會（主編），《中華民國振動與噪音工程學會論文集》，頁 310 – 315。中華民國振動與噪音工程學會。
2. 劉德源、李君輝。(2006)。建築聲場特性聲學軟體模擬計算與實驗比較。中華民國振動與噪音工程學會（主編），《中華民國振動與噪音工程學會論文集》，頁 D-1-D-10。中華民國振動與噪音工程學會。
3. 侯志欽。(2007)。聲學原理與多媒體音訊科技。臺灣商務印書館股份有限公司。
4. 邱銘杰、藍天雄。(2014)。噪音控制原理與工程設計。五南書局。
5. 許榮均、陳智隆、呂世明 (2018)。噪音暴露與健康影響。科學發展，545，頁 42 – 50。
6. 施文和。(2004)。建築音響吸音材試驗程序及品質認證之研究。內政部建築研究所。
https://www.abri.gov.tw/News_Content_Table.aspx?n=807&s=38280
7. 雅文文教基金會(2023年06月28日)。迴盪在耳際的聲音—迴響與聆聽知多少！。泛科學網。<https://pansci.asia/archives/367248>
8. World Health Organization. (2018). *Environmental noise guidelines for the European region*. WHO Regional Office for Europe.
9. Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization.

【評語】080116

該作品為探討各種材質與結構面的音響反射。發想與日常生活中對於噪音的困擾。作者建立了一個小型的隔音室以進行該項實驗，並發展了一個具有方向性的音源以探討反射後的響應。他們不僅僅探討各種軟硬材質的頻率響應問題，同時也探討了各種不同幾何形狀表面的反射效果。同時也深入探討了背後的物理原理是一個相當完整，且具有應用的作品。整體的架構與問題意識，表現出了作者們具有完整的科學概念。

作品海報

舞動靜默——空間迴音問題探討

壹、研究動機

上學期學校將前棟教學大樓地下室打造為動感教室，作為我們表演藝術課上課的場所，讓我們能有一個能在裏頭伸展筋骨，暢快表演的地方。

然而每次進到這間教室上課，我們都必須要豎起耳朵專心聽講，才能聽清楚老師說話的內容，整節課下來我的耳朵嗡嗡迴響，很不舒服，也影響了學習效果。剛好我們在自然課學到聲音的傳播與吸收，讓我們開始思考，是否有辦法透過一些材料或設計來改善迴音問題？

為了找出最有效的解決方法，我們決定在老師的指導下，與同學們一起進行這項有趣的研究，希望能透過實驗，找到最適合我們學校動感教室的音場設計方案。

貳、研究目的

- (一) 了解什麼是空間迴音
- (二) 了解什麼是噪音
- (三) 探討不同窗簾布料材質吸音效果及減少迴音情形
- (四) 探討不同窗簾樣式吸音效果及減少迴音情形
- (五) 探討不同吸音孔形狀吸音效果及減少迴音情形
- (六) 探討不同吸音孔深度吸音效果及減少迴音情形



參、文獻回顧

(一) 聲音的傳播

聲音是物體快速振動，經過中介物質（空氣或水等）傳導，被聽覺系統接收的歷程。當遇見障礙物時，部分聲波會反射，部分被吸收，另一部分會穿越。侯志欽（2007）

(二) 吸音

吸音是指音能在材料內部經由摩擦與振動變成熱能而趨散的現象。主要包含傳導、空氣黏性及材料機械振動三種衰減方式。施文和（2004）

(三) 隔音

隔音是指阻隔聲音的傳遞，防止聲音從一個空間傳到另一個空間。高密度、質量較重的材料（如：石膏板、混凝土、隔音玻璃）通常有較好的隔音效果。徐學文等（2004）。

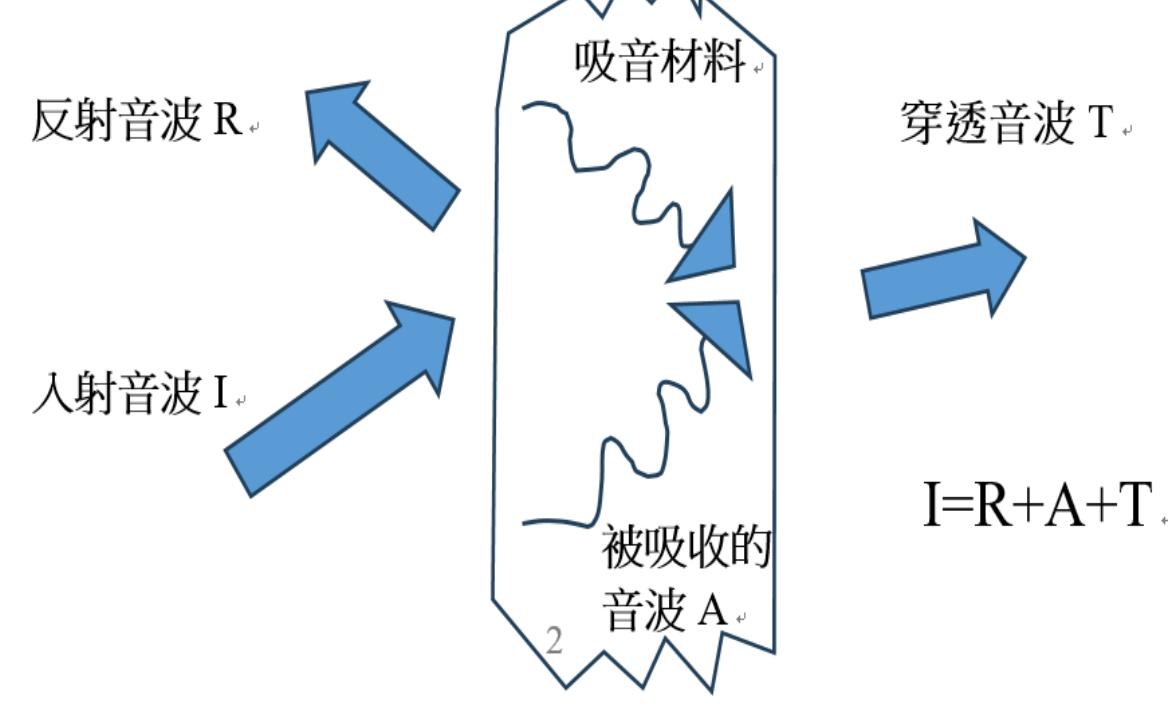
(四) 回音

是指聲源停止發聲後，由於受到邊界影響，會有連續不斷之反射聲，使得聲音不會立刻消失，此種聲音不會立刻消失的現象稱做「回響」，也稱「迴音」。劉德源等（2006）

(五) 噪音

指在特定情境下，對人耳造成干擾、不悅或無用的聲音。長時間暴露在噪音中，可能對人體健康產生負面影響，例如造成聽力損傷、睡眠品質下降，甚至引發心理壓力。

(六) 常見的吸音、隔音材料及其特性。許榮均等（2018）



吸音材種類	代表性材料	吸音特性	吸音率
多孔性材料	玻璃棉、岩棉、泡棉、礦棉麻纖與棉纖維等吸音材	具不錯的中高頻吸音能力，背後預留空氣層有助低頻吸音能力提升。（多孔性材料多依材料厚度決定材料的吸音率，也就是材料厚度越厚，吸音率越高）	0.4~0.9
板狀材料	合板、石膏板、塑膠板、金屬板、水泥板	吸收低頻較有效。（這種材料對低頻效果佳，但中高頻以上效果較不佳，目前噪音控制較少使用這種材料。）	0.2~0.4
穿孔板材	穿孔石膏板、穿孔合板、穿孔鋁板、穿孔鋼板、細孔板	一般使用狀態吸收中頻，與多孔性材料配合使用時吸收中高頻，背後預留空氣層還能吸收低頻。	0.4~0.9
異變型微孔板	微孔吸音鋁板、微孔綠建材吸音鋁板	屬於吸收全頻特性，可藉由控制背後空氣層厚度，削減低、中、高頻音能，低頻尤佳。	0.7~0.9

(七) 歷屆科展相關研究

作者(屆次)	主題	研究方法	研究結果
林雯瑤、謝友仁、江勝偉 台北縣丹鳳國小（第35屆民國84年）	洞一洞聲音就變小了—孔穴吸音的探討	1. 測試孔洞數量、大小、深度對吸音效果的影響 2. 探討孔洞排列方式及填充物效 3. 比較不同形狀孔洞的吸音能力	1. 當孔洞距離為1.5公分時，吸音效果最佳。 2. 孔洞深度越深，吸音效果越佳。 3. 孔洞直徑約為3公厘時，吸音效果最佳。 4. 填充雪衣纖維和棉花可進一步提升吸音性能。
林詩敏、賴思吟、張碧雯等 國立員林高級農工職業學校（第44屆民國93年）	吸音大法	1. 使用木箱與紙箱進行吸音實驗 2. 比較不同環保材料吸音效果 3. 採用不同排列方式與間距進行測試	1. 質地柔軟且具多孔性的材質具有良好的吸音效果 2. 不同的排列方式對吸音效果的影響有限。 3. 牛奶罐的吸音效果優於養樂多罐。
吳芯瑀、林好儒、吳宣宜等 臺中市立豐東國中（第53屆民國102年）	隔牆有耳—噪音防護之隔音、吸音材料之研究與設計	1. 製作多孔性輕質水泥板、陶土板及粉筆板 2. 測試抗壓強度、耐火性及隔音效果 3. 研發吸音造型耳機	1. 雜草混合水泥或陶土可製成輕質多孔板材，具有良好的隔音與耐火性能。 2. 陶碗具備優異的吸音效能，可製作成環保耳機。 3. 材料設計符合環保理念，並具備創新性。
黃柏勛、王峻陞、顏宇謙等 金門縣金湖國小（第58屆民國107年）	小窗簾立大功—窗簾的吸音與隔音效果之研究	1. 比較不同材質窗簾的吸音與隔音效能 2. 測試窗簾厚度、波折高度及間距的影響 3. 分析窗簾層數及含水量對聲波阻隔的影響	1. 棉質窗簾吸音+隔音效果最佳，減少35.5 dBA 2. 厚度增加有助於吸音，但不利於隔音 3. 波折高度≥10 cm，間距6-7 cm時效果最佳 4. 含水量168%提升隔音至42.78 dBA

肆、研究設備及器材

噪音計	手機	平板電腦	手機顯微鏡	剪刀	圓規	美工刀	直尺	保麗龍膠	保麗龍刀	鬧鐘	藍芽喇叭
卡紙	透明玻璃杯	音場測試箱	硬棉布	棉布	絨布	不織布	毛氈布	無紡布	人造皮革	保麗龍板	吸音棉

伍、研究過程與方法

一、建立研究架構



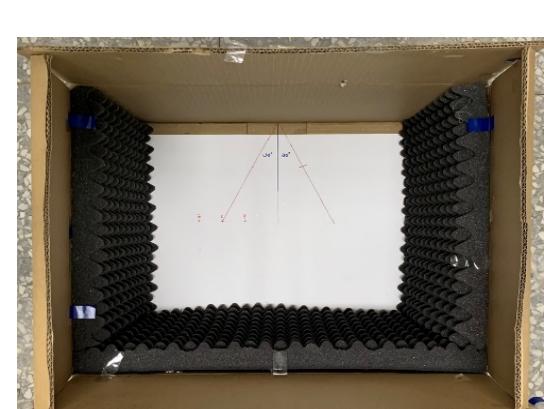
二、實驗裝置探尋

(一) 音源選擇及其歷程

選用物品、發現問題	解決方法
1. 電子式鬧鐘：無法發出固定音頻，音量高低跳動，難以測出實際音量。	下載應用程式《phypox》，選用【音調產生器】發聲。
2. 手機喇叭：有數個喇叭，無法固定聲音輸出之方向。	選擇單向藍芽喇叭，藉由手機藍芽傳輸音訊。
3. 藍芽單向喇叭：喇叭後方加裝聲音阻隔器(玻璃杯)降低音量也有聲音。	加裝聲音阻隔器(玻璃杯)降低音量9.6分貝。
4. 音箱內各測量點音量變化加裝套筒，讓聲音以平面波大	加裝套筒，讓聲音以平面波前進。

(二) 音場實驗箱製作

找來一個內長55公分、內寬40公分、內高36公分的紙箱，以它代替教室來作為實驗箱，進行實驗。



(三) 製作不同樣式窗簾



圖7: 百葉簾(作者拍攝)

圖8: 紙捲簾(作者拍攝)

圖9: 波浪簾(作者拍攝)

(四) 製作不同孔洞形狀吸音板，讓每一塊保麗龍板的穿孔面積一樣大



圖10: 正方形吸音板(作者拍攝)



圖11: 正六邊形吸音板(作者拍攝)

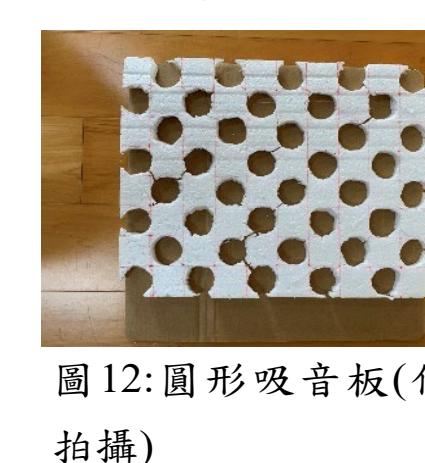


圖12: 圓形吸音板(作者拍攝)

三、研究方法設計

實驗一：研究不同窗簾布料材質吸音效果



實驗二：研究不同窗簾布料材質減少迴音效果



實驗三：研究不同窗簾樣式吸音效果

實驗四：研究不同窗簾樣式減少迴音效果

備妥自製百葉窗、紙捲簾、波浪簾，同以上方法進行實驗。

實驗五：研究不同孔洞形狀吸音板吸音效果

實驗六：研究不同孔洞形狀吸音板減少迴音時間

備妥自製圓形、正方形、正六邊形孔洞形狀保麗龍吸音板，同以上方法進行實驗。

實驗七：研究不同孔洞深度吸音板吸音效果

實驗八：研究不同孔洞深度吸音板減少迴音效果

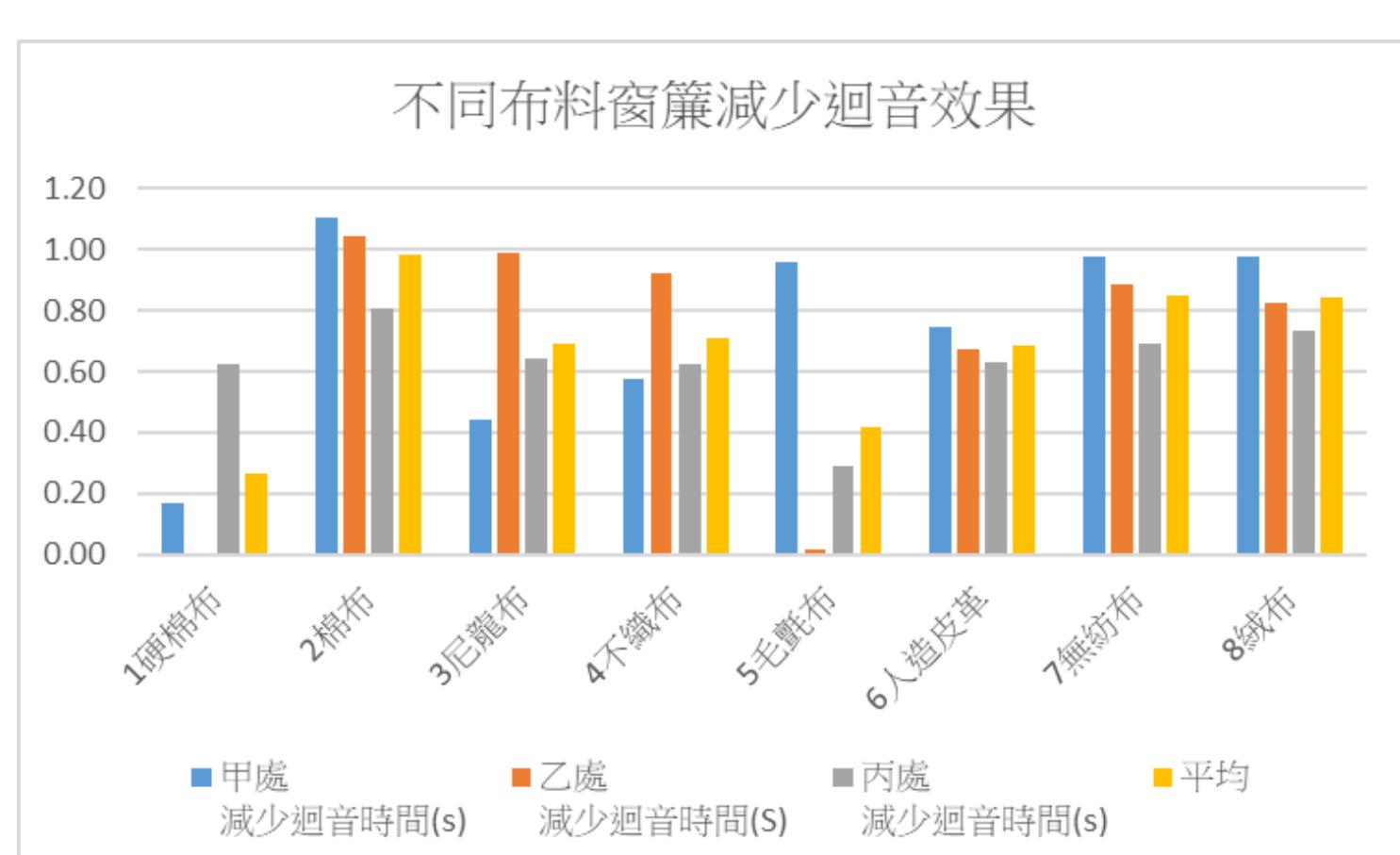
備妥自製1公分深、2公分深、3公分深圓形孔洞保麗龍吸音板，同以上方法進行實驗。

陸、研究結果與討論

一、不同窗簾布料材質吸音及迴音

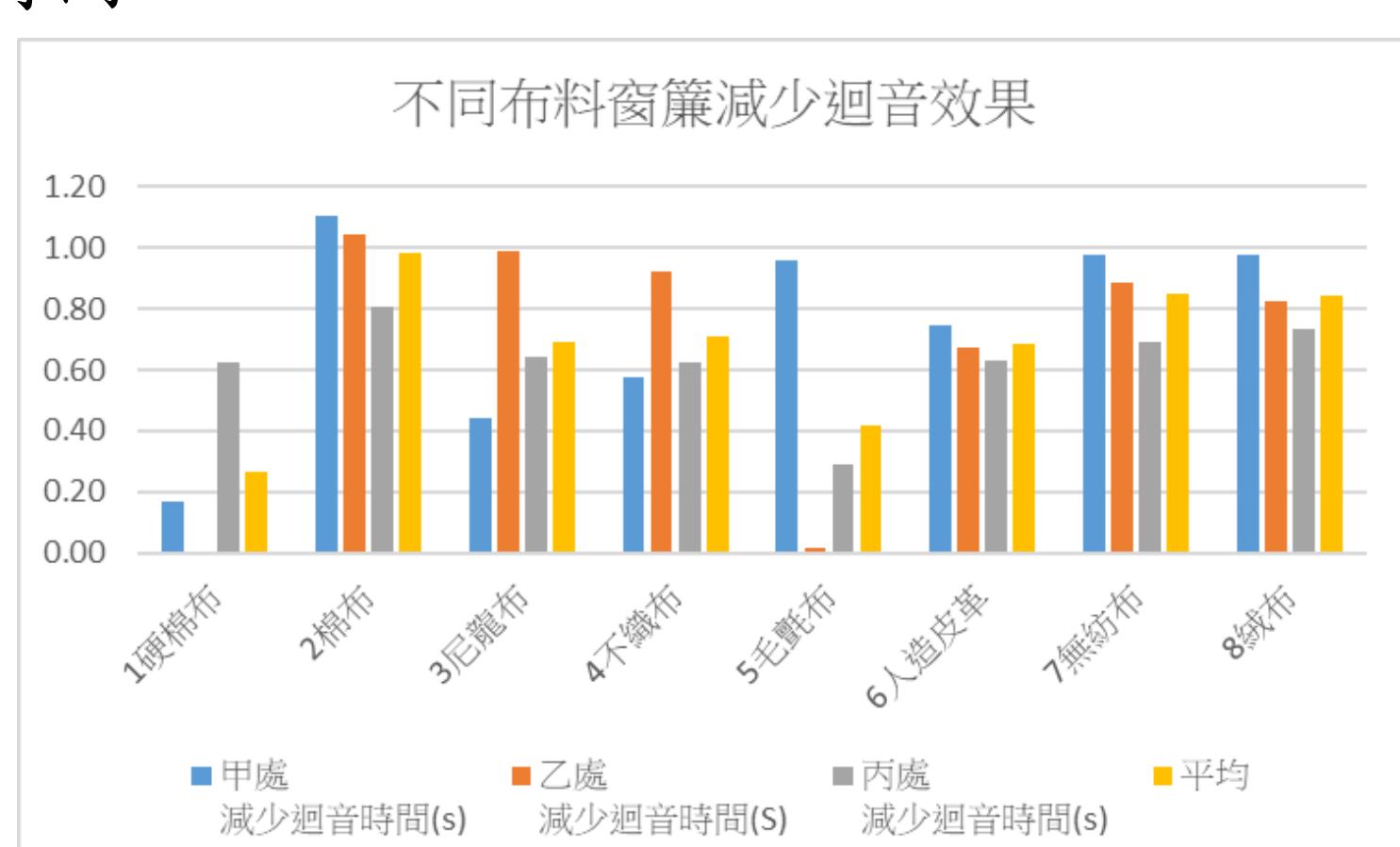
(一) 實驗一：研究不同窗簾布料材質吸音效果

布料材質	甲處吸音量	乙處吸音量	丙處吸音量	平均	優劣
硬棉布	0.28	0.80	0.98	0.69	1
棉布	3.22	3.06	3.92	3.40	1
尼龍布	0.28	2.9	0.54	1.24	
不織布	2.10	2.92	2.04	2.35	4
毛氈布	0.40	1.12	0.04	0.52	
人造皮革	-0.52	1.18	1.10	0.59	
無紡布	3.40	3.12	1.86	2.79	3
絨布	2.58	3.84	2.68	3.03	2



(二) 實驗二：研究不同窗簾布料材質減少迴音時間

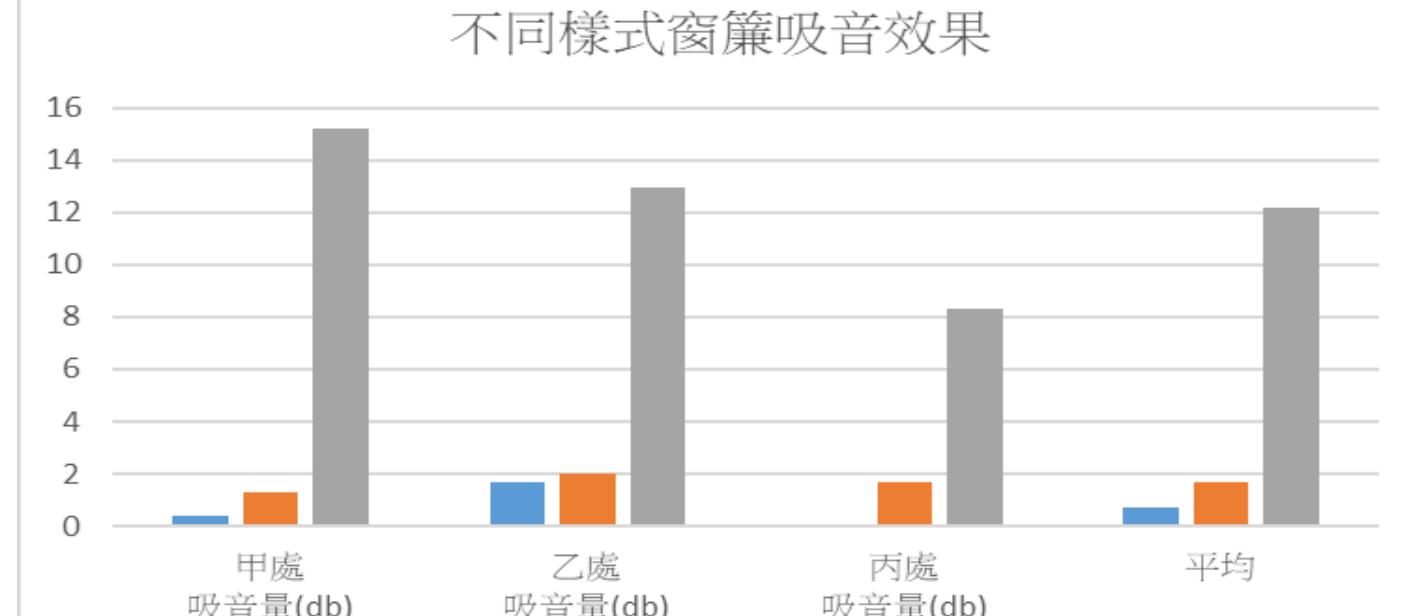
布料材質	甲處減少迴音時間(s)	乙處減少迴音時間(s)	丙處減少迴音時間(s)	平均	優劣
硬棉布	0.17	0.01	0.62	0.27	1
棉布	1.11	1.05	0.81	0.99	1
尼龍布	0.45	0.99	0.64	0.69	
不織布	0.58	0.92	0.63	0.71	3
毛氈布	0.96	0.01	0.29	0.42	
人造皮革	0.75	0.68	0.63	0.68	
無紡布	0.98	0.89	0.69	0.85	2
絨布	0.98	0.82	0.74	0.85	2



二、不同窗簾樣式吸音及迴音

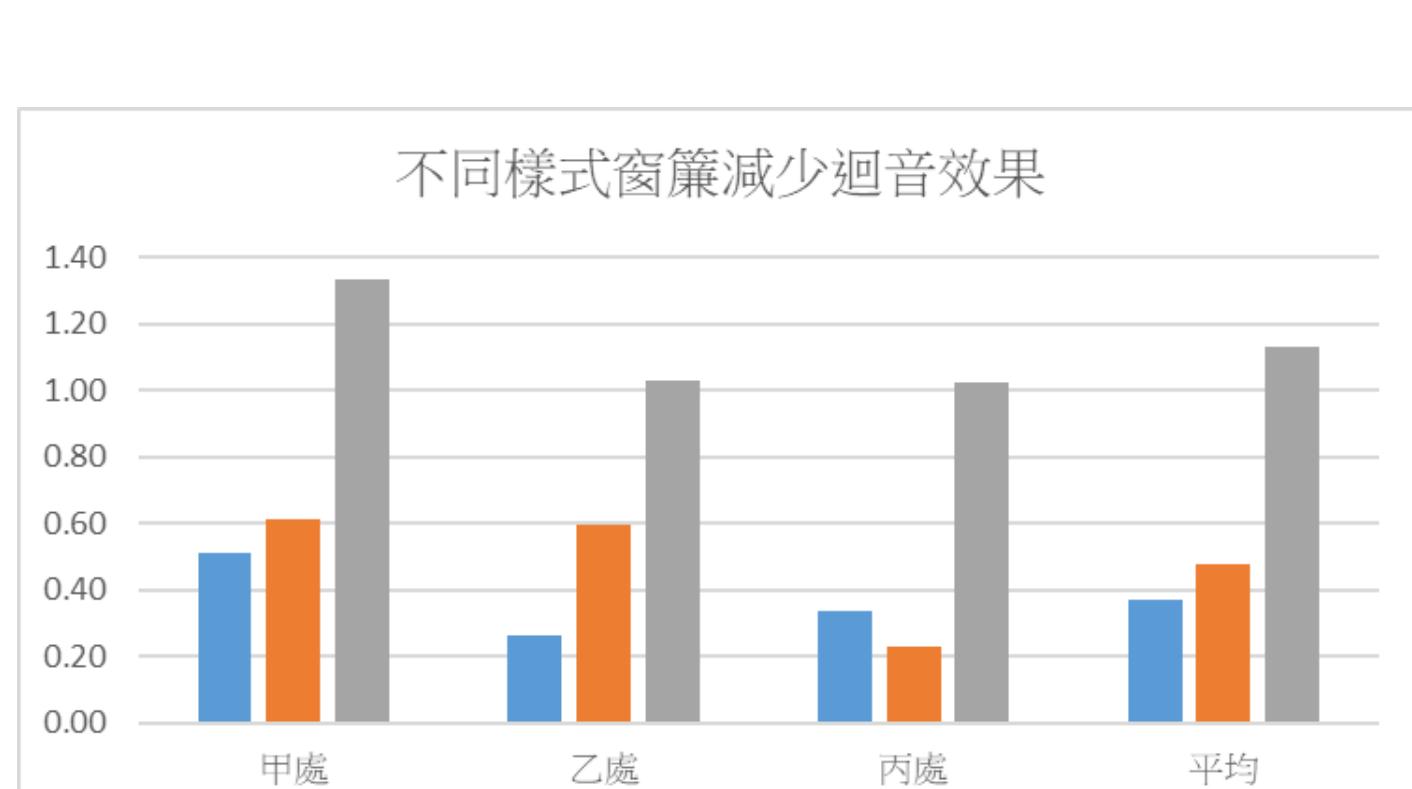
(一) 實驗三：研究不同窗簾樣式吸音效果

窗簾樣式	甲處吸音量(db)	乙處吸音量(db)	丙處吸音量(db)	平均	優劣
百葉簾	0.42	1.66	0.04	0.71	3
紙捲簾	1.32	1.98	1.68	1.66	2
波浪簾	15.22	12.92	8.32	12.15	1



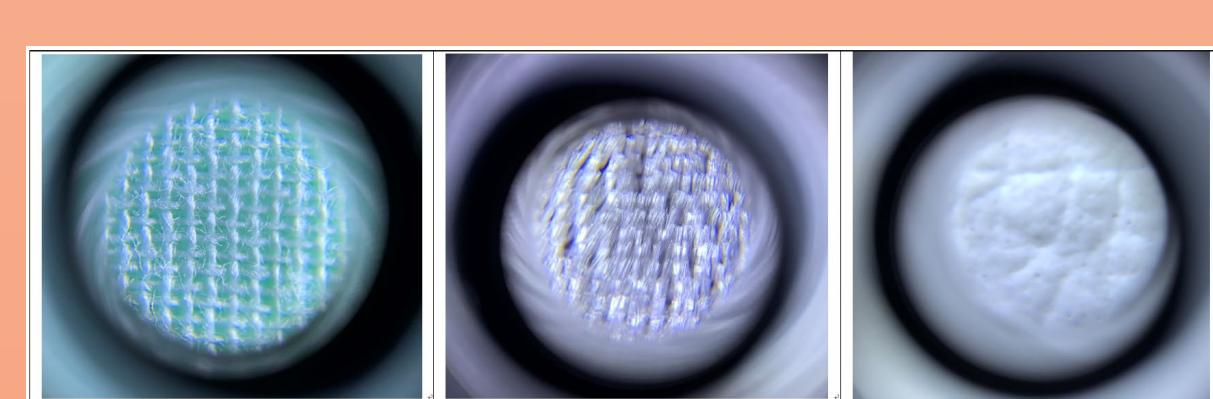
(二) 實驗四：研究不同窗簾樣式減少迴音效果

窗簾樣式	甲處減少迴音時間(S)	乙處減少迴音時間(S)	丙處減少迴音時間(S)	平均	優劣
百葉簾	0.51	0.26	0.34	0.37	3
紙捲簾	0.61	0.60	0.23	0.48	2
波浪簾	1.33	1.03	1.02	1.13	1



1、根據實驗一、實驗二，棉布在吸音及減少迴音時間的效果最佳，絨布和無紡布第二。而效果最差的是硬棉布和毛氈布，推測可能跟布料的柔軟性有關。
2、經使用手機顯微鏡觀察，發現棉布有細小孔洞，絨布有濃密短毛。

3、推測孔洞可讓音波進入不易反射逃出，短毛柔軟且有增加吸音減震表面積的效果，所以可以減少迴音。

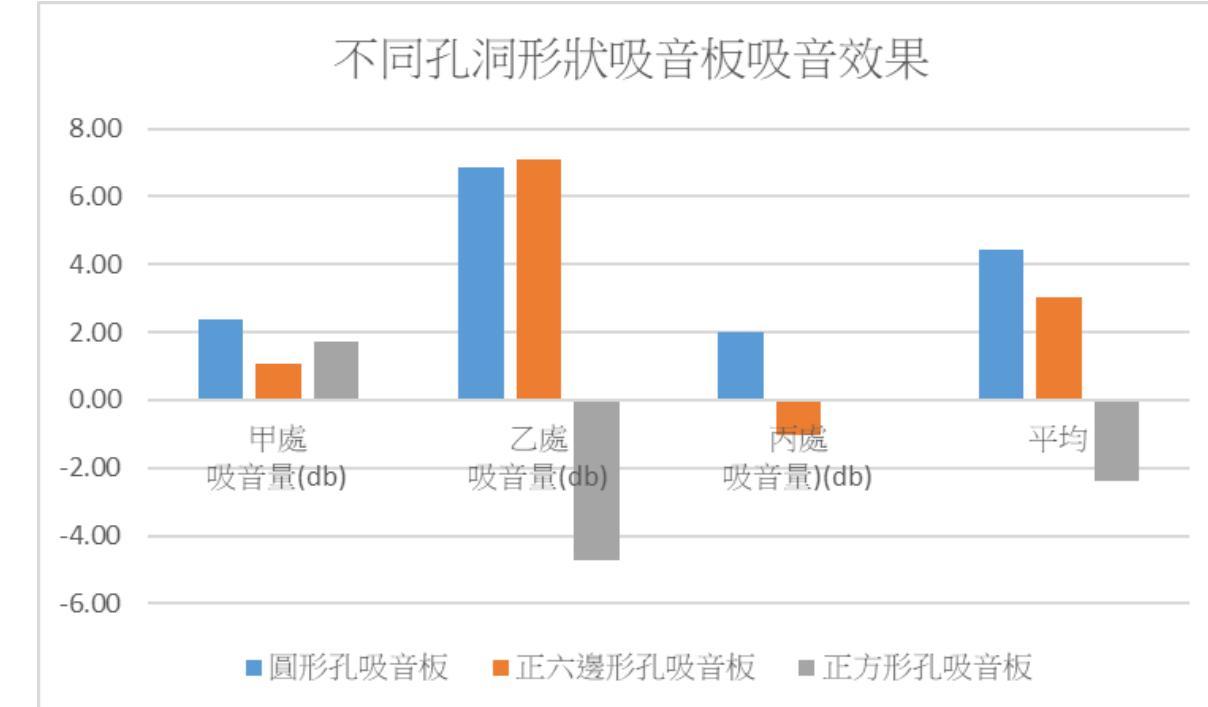


1、根據實驗三、實驗四，表現較差者為百葉簾，推測可能原因是本實驗百葉簾葉片倆倆都是水平擺放，間距較大，音波可以直接穿透後又反射回來，所以吸音效果最差，減少迴音效果也最不明顯。
2、波浪簾因彎折曲面多面向關係，聲音除了被吸收外，反射音波也較沒有規律性。容易互相干擾抵銷，所以較不容易傳遞到較遠的地方。

三、不同孔洞形狀吸音板吸音及減少迴音效果

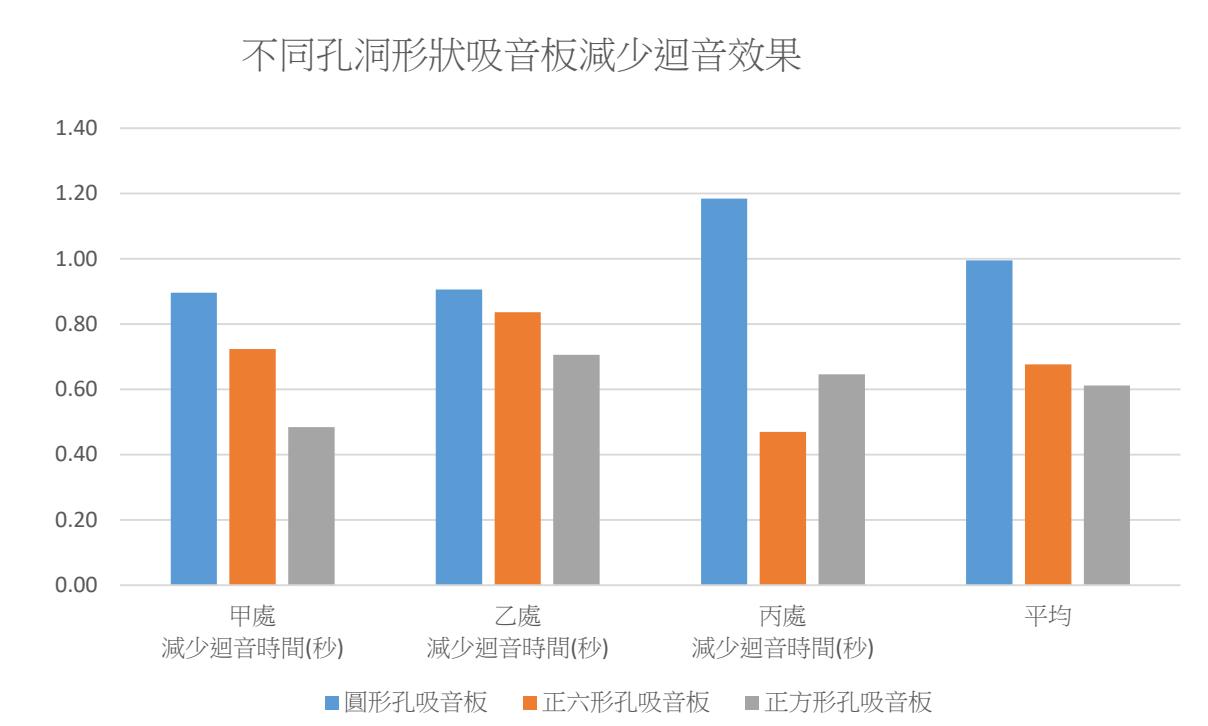
(一) 實驗五：研究不同孔洞形狀吸音板吸音效果

吸音孔形狀	甲處吸音量(db)	乙處吸音量(db)	丙處吸音量(db)	平均	優劣
圓形孔吸音板	2.40	6.88	2.00	4.44	1
正六邊形孔吸音板	1.06	7.08	-1.02	3.03	2
正方形孔吸音板	1.72	-4.74	0.00	-2.37	3



(二) 實驗六：研究不同孔洞形狀吸音板減少迴音效果

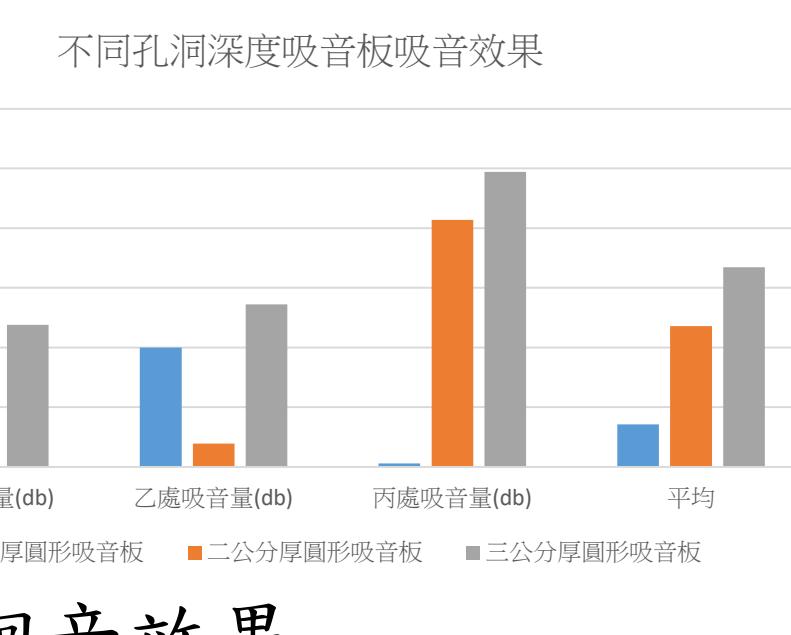
吸音孔形狀	甲處減少迴音時間(秒)	乙處減少迴音時間(秒)	丙處減少迴音時間(秒)	平均	優劣
圓形孔吸音板	0.90	0.91	1.18	1.0	1
正六邊形孔吸音板	0.72	0.84	0.47	0.6	2
正方形孔吸音板	0.48	0.71	0.65	0.6	3



四、不同孔洞深度吸音板吸音及減少迴音效果

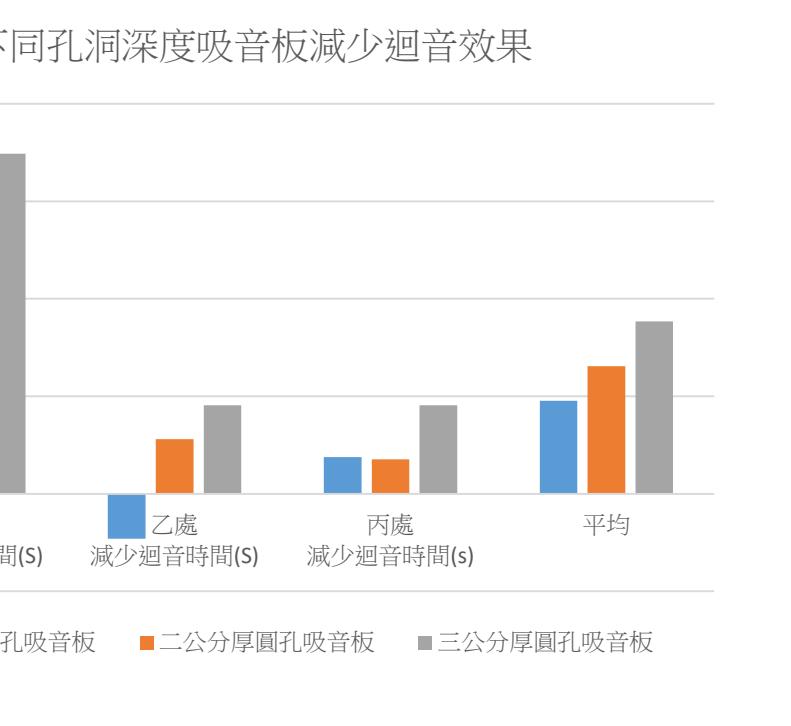
(一) 實驗七：研究不同孔洞深度吸音板吸音效果

圓形吸音孔深度	甲處吸音量(db)	乙處吸音量(db)	丙處吸音量(db)	平均	優劣
一公分厚	0.16	4.00	0.12	1.4	3 3
二公分厚	5.08	0.78	8.28	4.71	2
三公分厚	4.76	5.44	9.88	6.69	1



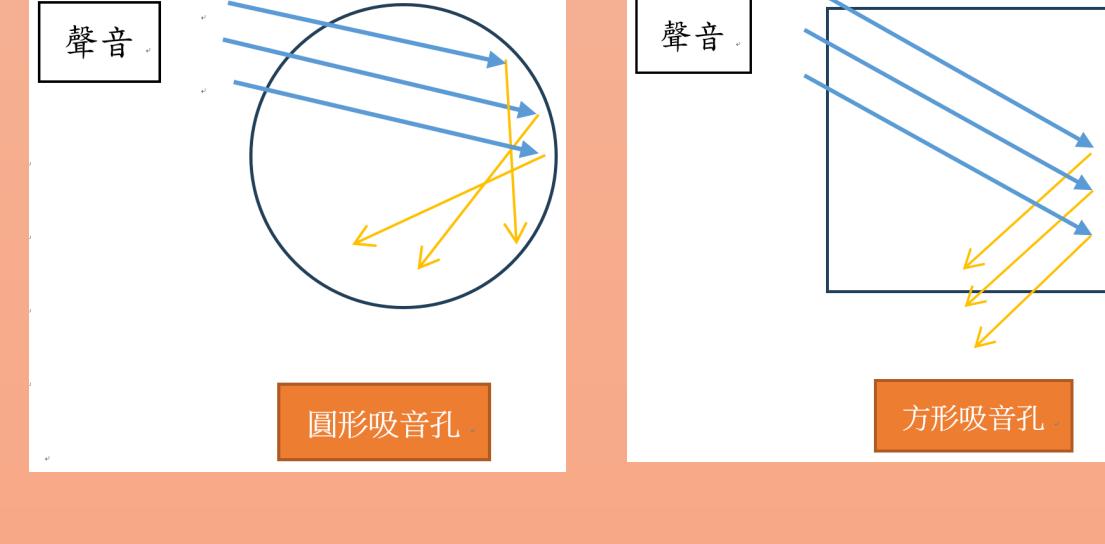
(二) 實驗八：研究不同孔洞深度吸音板減少迴音效果

圓形吸音孔深度	甲處減少迴音時間(s)	乙處減少迴音時間(s)	丙處減少迴音時間(s)	平均	優劣
一公分	1.47	-0.23	0.19	0.4	3 3
二公分	1.51	0.28	0.18	0.6	5 2
三公分	1.74	0.45	0.45	0.8	8 1



1、根據實驗五、實驗六，圓形孔洞吸音板具有較佳的吸音，及減少迴音的效果。

2、推論可能原因是因為聲音進入吸音孔後，音波碰觸到的孔洞牆面為弧形，容易讓聲音成無一定方向反射而互相抵消，因此反射出來的音波較少，相對形成迴音的時間也會較短。



柒、結論

一、「迴音」是音源在室內發聲停止後，因聲音受到邊界影響，連續不斷的反射，使得聲音不會立刻消失之聲音衰減過程。此種聲音不會立刻消失的現象又稱做「迴響」。

二、「噪音」是指對人耳造成干擾、不悅或傷害的聲音。它並非單純以音量大小判斷，而是與聽者的主觀感受及當下環境有密切關係，長時間暴露下，可能對人體健康產生負面影響。

三、具有孔洞或短毛的柔軟性布料，具有較佳吸收音波震動功能，所以減少迴音效果較佳。

四、波浪簾相較於捲簾、百葉簾，具有較佳的吸音，及減少迴音的效果。

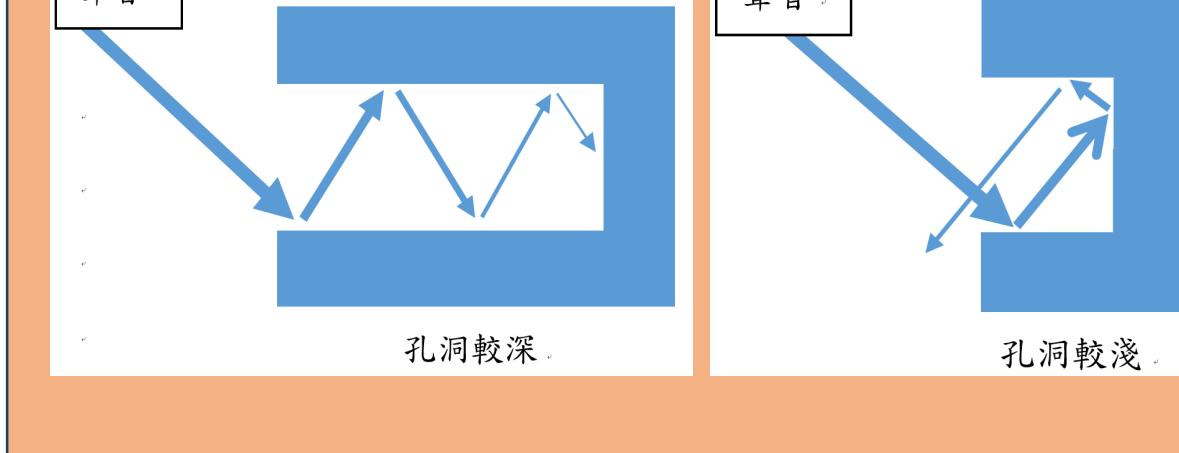
五、圓形孔洞吸音板相較於正六邊形、正方形孔洞吸音板，具有較佳的吸音及減少迴音的效果。

六、孔深較深的吸音板具有較佳的吸音及減少迴音的效果。

七、空間安裝柔軟布料波浪簾及較深圓形孔洞吸音板，改善迴音問題效果較佳。

1、根據實驗七、實驗八，孔洞較深的吸音板具有較佳的吸音及減少迴音的效果。

2、推論可能原因是因為聲音進入吸音孔後，因為深度較深，音波不易逃出，因此反射出來聲音較少，相對形成回音的時間也會較短。



捌、參考資料

- 徐學文、丘智憲、黃婉茹、林友千、林永揚、林春綺（2004）。密封罩使用輕質材料的隔音性質研究。中華民國振動與噪音工程學會（主編），《中華民國振動與噪音工程學會論文集》，頁310 - 315。中華民國振動與噪音工程學會。
- 劉德源、李君輝（2006）。建築聲場特性聲學軟體模擬計算與實驗比較。中華民國振動與噪音工程學會（主編），《中華民國振動與噪音工程學會論文集》，頁D-1-D-10。中華民國振動與噪音工程學會。
- 侯志欽（2007）。聲學原理與多媒體音訊科技。臺灣商務印書館股份有限公司。
- 邱銘杰、藍天雄（2014）。噪音控制原理與工程設計。五南書局。
- 許榮均、陳智隆、呂世明（2018）。噪音暴露與健康影響。科學發展，545，頁42 - 50。
- 施文和（2004）。建築音響吸音材試驗程序及品質認證之研究。內政部建築研究所。
https://www.abri.gov.tw/News_Content_Table.aspx?n=807&s=38280
- 雅文文教基金會(2023.06.28)。迴盪在耳際的聲音—迴響與聆聽知多少！。泛科學網。
<https://pansci.asia/archives/367248>
- Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization.