

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第二名

081505

自製紙杯耳機

學校名稱：桃園縣桃園市中埔國民小學

作者： 小六 陳仁和 小六 潘晨 小六 陳琬琳 小六 游育寧 小六 黃采庭	指導老師： 陳俊明、鄭昭娟
--	------------------

關鍵詞：耳機、磁鐵、振動

摘要

- 一、紙杯耳機能發出聲音，主要是漆包線圈接上音源線後，使漆包線圈產生了電磁效應，紙杯杯底產生來回振動，進而振動空氣發出與音源裝置所播放相同的音樂聲。
- 二、經由實驗發現，要製作音量大的紙杯耳機，可掌握幾個原則：
 - (一) 使用磁力強一點的磁鐵。
 - (二) 漆包線圈纏繞 20 圈的效果較好。
 - (三) 磁鐵擺放的位置使磁鐵的圓面與漆包線圈的外端交接時效果最好，兩者的距離增加或磁鐵深漆包線圈中，都會使音量減弱。
 - (四) 漆包線圈的直徑大小愈接近磁鐵的直徑大小，產生的音量愈大。
 - (五) 漆包線圈的直徑大小，小於杯底直徑的 1/2，產生的音量較大。
 - (六) 紙杯耳機的主體使用飲水用的紙杯效果最好，其次飲水用的塑膠杯亦可考慮使用。

壹、引起動機

這次的活動是「紙杯喇叭」，題材來自於科學研習月刊四十四卷第四期「紙杯喇叭」。我很認真的照著老師所講的步驟完成作品「紙杯喇叭」，正準備去試試我的紙杯喇叭時，發現同學都把紙杯套在耳朵上。

「什麼嘛！這哪是喇叭，頂多叫耳機吧！耍我！」我心裡想。

更慘的是，我的耳機沒有聲音。

我找了幾個有聲音和發不出聲音的紙杯耳機，詳細的比對一下他們的構結與做法，才發現可能是造成發不出聲音的原因。

貳、研究目的

- 一、比較可以發出聲音和發不出聲音的紙杯耳機，找出紙杯耳機發不出聲音的原因。
- 二、改變紙杯耳機的構造，尋找讓紙杯耳機變大聲的方法。
 - (一) 改變固定磁鐵的方式，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
 - (二) 改變磁鐵的磁力大小，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
 - (三) 改變纏繞漆包線圈的圈數，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
 - (四) 改變漆包線圈的直徑，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
 - (五) 改變磁鐵與漆包線圈的相對位置，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
 - (六) 改變杯子的材質與大小，是否會影響紙杯耳機的聲音大小。
- 三、綜合影響紙杯喇叭聲音大小的因素，製作出最佳的紙杯耳機。

參、研究材料

磁鐵、漆包線、紙杯、熱熔膠、天平、厚紙板、木板、喇叭、直流電源供應器、筆記型電腦、廢光碟片、黏土、雷射光筆、壓克力箱、保麗龍、窗簾布等。

肆、研究過程

一、發現紙杯耳機發不出聲音的原因

(一) 尋找沒有聲音的原因

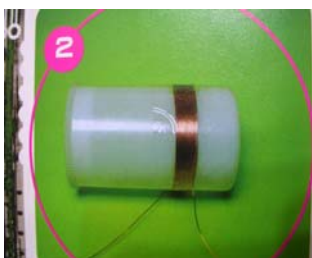
科學研習月刊紙杯耳機製作內容(「基本型(一)」)如圖 1.2.3.4 :

若無法由紙杯聽到音源裝置所播放的音樂聲，試檢查以下事項：

- (1) 兩條引線外部的絕緣漆是否刮除乾淨？
- (2) 鱷魚夾連接音源接線的接法是否錯誤？
- (3) 磁鐵的磁力是否太弱？



(圖 1) 杯底端以大頭針在杯緣刺 2 小孔。



(圖 2) 纏繞 20 圈的單螺線形漆包線圈。



(圖 3) 將線圈以快乾膠固定在紙杯底部中央，兩端接上鱷魚夾。







(圖 4) 音源接線的一端連接音源裝置的耳機孔。

我們依照上列三條自我檢查的問題測試，還是無法發現沒有聲音的原因。所以我們只好列出更詳細的構造對照表(表一)(表二)。

(表一) 不同紙杯耳機的構造對照表

構造比對項目	發出聲音組	聲音比較小聲組	完全沒有聲音組
引線絕緣漆是否刮除乾淨？	○	○	○
鱷魚夾連接音源接線的接法是否正確？	○	○	○
磁鐵是否有磁性？	○	○	○
是否使用兩個磁鐵？	○	○	○
漆包線是否纏繞 20 圈？	○	○	○
漆包線是否重疊纏繞？	○	○	○
紙杯是否有破損？	○	○	○
音源開關是否有打開？	○	○	○
磁鐵是不是用膠帶黏在漆包線圈中間？	○	?	?

(表二)磁鐵放置的方式分類

磁鐵放置的方式				
	磁鐵用膠帶黏在漆包線圈上	磁鐵用熱熔膠黏在漆包線圈上	磁鐵直接黏在杯底	漆包線纏繞在磁鐵上
發出聲音	○	△	×	×

○清楚 △比較小聲 ×沒有聲音

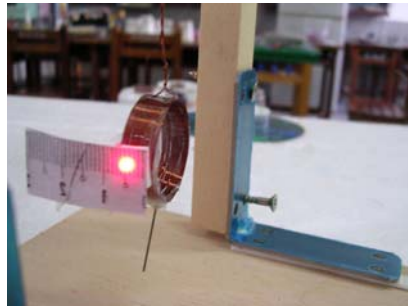
發現：磁鐵用膠帶黏住，發出的聲音會比較大聲。

(二)發現漆包線圈的振動

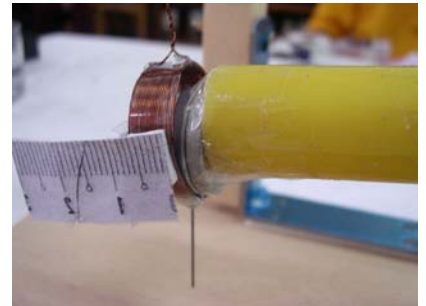
1. 纏繞一漆包線圈，使漆包線圈可懸掛在一門字型的支架上(圖 5)。
2. 在漆包線圈的下端黏上一根鉛筆心，並在漆包線圈的正面與側面上貼上尺規，使用光筆照射尺規定位(圖 6)。
3. 將磁鐵黏在一支撐架上，慢慢靠近漆包線圈，使磁鐵放置的位置，與紙杯耳機相同(圖 7)。
4. 將漆包線圈兩端的漆包線接上音源線，並開啟音樂，觀察漆包線圈的變化。



(圖 5)漆包線圈可懸掛在一門字型的支架上。



(圖 6)使用光筆照射尺規定位。



(圖 7)磁鐵放置的位置，與紙杯耳機相同。

結果：

1. 播放音樂，漆包線下端的鉛筆心產生輕微的振動，側面的光點有輕微的位移，當音樂停止，筆心停止振動，正面尺規光點的位置則無改變。

發現：



(圖 8)檢流器在音樂撥放時，指針產生輕微的振動。

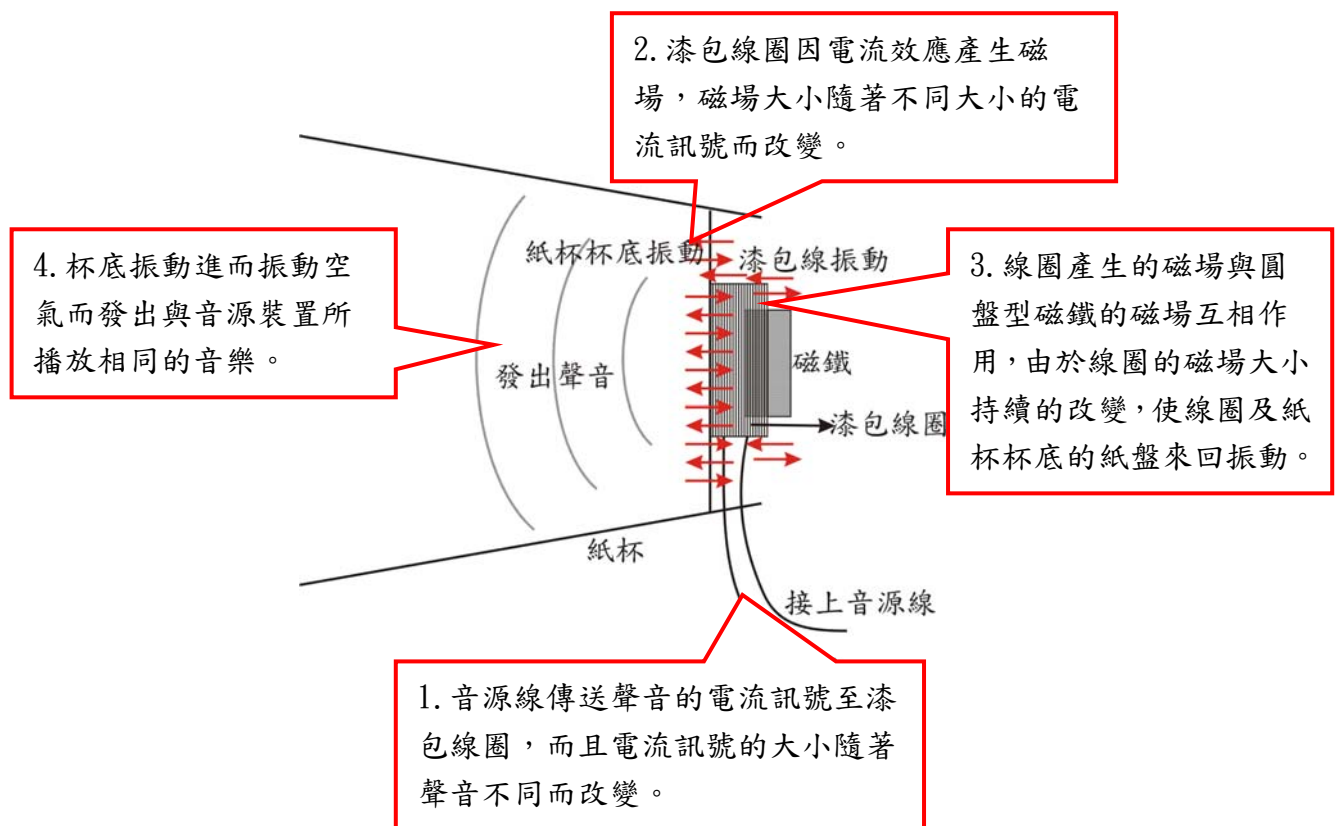
1. 我們嘗試將音源線接上檢流器，當音樂撥放時，指針產生輕微的振動，表示音源線會有電流產生，但電流量很少，在 $2\mu\text{A}$ 以下(圖 8)。當我們試著將音源線插在電腦外接喇叭上，再把音量開到最大，檢流器的指針發生明顯的振動，最大振幅可達 $60\mu\text{A}$ ，而且發現音量大時檢流器的指針偏轉大，當音樂停止時，指針歸零，表示止時無電流產生(圖 9)。



(圖 9)音源線插在接喇叭上，檢流器的指針發生明顯的振動。

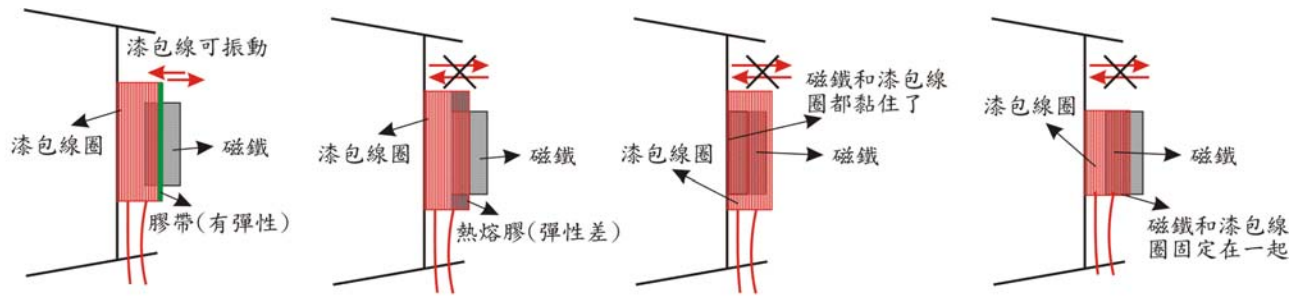
(三)紙杯耳機發出聲音的祕密

經由大家討論，發現紙杯耳機能發出聲音的原理程序(圖 11)：



(圖 11)紙杯耳機能發出聲音的原理程序

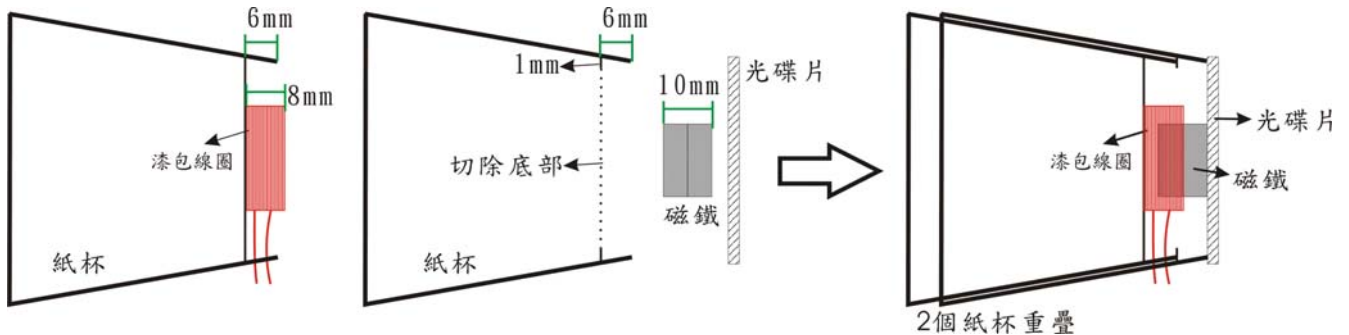
我們推論，將漆包線纏繞在磁鐵上或磁鐵固定在紙杯底，雖然兩者產生了磁場作用，但卻無法有效的產生來回振動，所以紙杯無法發出聲音(圖 12)。



1. 用膠帶黏在漆包線圈上 2. 用熱熔膠黏 3. 磁鐵黏在杯底 4. 漆包線纏在磁鐵上
 (圖 12)磁鐵放置方式對發出聲音大小的影響

(四)改良紙杯耳機

1. 把一個廢光碟剪成和杯底一樣的大小，並將 2 個磁鐵疊在一起，再黏在廢光碟的中央(圖 14)。



(圖 14) 光碟紙杯耳機(一)設計圖

2. 將一個紙杯的杯底切除，套在黏有漆包線圈的紙杯外，並將 2 個紙杯黏在一起。
3. 將黏有磁鐵的廢光碟黏在步驟 3 的杯底，使其磁鐵正好套入漆包線圈中，深入漆包線圈的範圍正好是一個磁鐵的厚度，與用膠帶黏磁鐵的方式相同，定為「光碟紙杯耳機(一)」(圖 15)。



(圖 15)光碟紙杯耳機(一)

結果：測試結果聽起來好像有比較大聲，可是感覺的總是比較不準確。

(五)測量光碟紙杯耳機(一)的聲音大小

1. 準備一個壓克力製無底盒子，並在箱子表面黏上厚 1.1 cm 的保麗龍板(圖 16)。
2. 取一木板當底板，上方黏上厚 2.6 cm 的不織布，不織布上方再黏上一層厚 1.1 cm 的保麗龍板。
3. 聲音測量時先將光碟紙杯耳機或其他樣本放置在底板上，漆包線接上音源線，使用分貝機放置在紙杯耳機裡的固定位置(圖 17)。

- 將壓克力盒蓋上，盒外再覆上一層窗簾布，以有效的阻絕外界聲音的影響(圖 18)。
- 使用外接喇叭為音源，發出 70.4、80.2、85.0、93.2、98.6、104.7 分貝的音量，測試未加隔音裝置與加隔音裝置的音量大小。
- 分別製作上述各種紙杯耳機測量音量大小。



(圖 16)使用壓克力製的無底盒子，並在箱子表面黏上保麗龍板。



(圖 17)將分貝機放置在紙杯耳機裡的固定位置，以測量聲音的大小。



(圖 18)將壓克力盒蓋上，盒外再覆上一層窗簾布，以更有效的阻絕外界聲音的影響。

結果：

(1) 隔音裝置隔音效果測試

單位：分貝

隔音裝置方式	音量(分貝)					
	測試 1	測試 2	測試 3	測試 4	測試 5	測試 6
未加隔音裝置	70.4	80.2	85.0	93.2	98.6	104.7
加隔音裝置	61.4	70.7	74.9	82.3	86.1	90.2
隔音效果	9.0	9.5	10.1	10.9	12.5	15.3

(2) 自製紙杯耳機測量結果

單位：分貝

磁鐵固定的方式	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
漆包線繞在磁鐵上	61.6	61.3	61.2	61.3	61.6	61.5
漆包線和磁鐵用熱溶膠黏起來	61.6	61.4	61.3	61.4	61.5	61.3
磁鐵黏在杯底	61.5	61.1	61.6	61.8	61.3	61.4
用膠帶黏磁鐵基本型(一)	68.2	68.5	69.4	67.6	69.2	68.6
光碟紙杯耳機(一)	72.2	72.4	72.1	73.1	72.7	72.5

未播音時的聲音大小是 61.3 分貝

發現：

- 經過隔音裝置的作用，聲音大小由原音量 104.7 分貝降至 90.2 分貝，減低 15.3 分貝，顯示我們自製的隔音裝置，應有達到隔音的水準，而且發現外界音量愈

大時，隔音的效果愈明顯。

- 光碟紙杯耳機的平均音量為 72.5 分貝，比用膠帶黏磁鐵的方式平均音量(68.6 分貝)大了 3.9 分貝，我們推論，由於磁鐵不能移動，磁場作用力便能更有效的使漆包線圈產生振動。

二、漆包線圈負重量與聲音大小關係測試

- 取 4 塊和磁鐵一樣重的黏土。
- 將 1 塊黏土黏在基本型(一)紙杯耳機的磁鐵上，增加磁鐵的重量，使漆包線圈的負重增加，測量紙杯耳機的音量。(圖 19)。



(圖 19)增加漆包線圈的重量

結果：

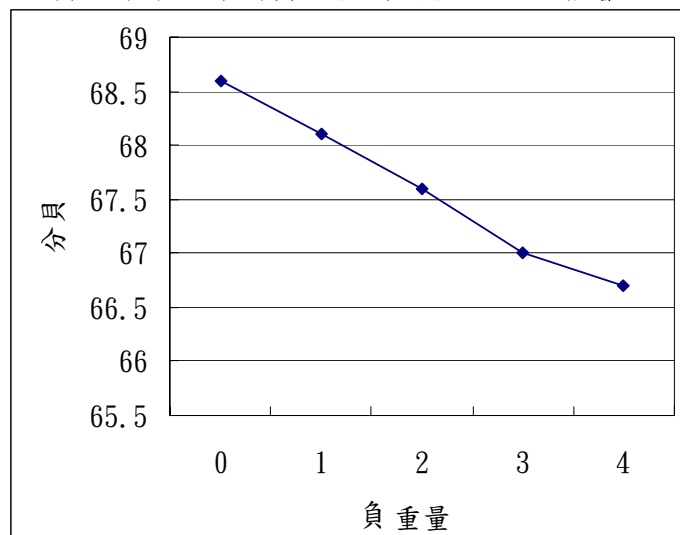
單位：分貝

漆包線的負重量	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	平均
未加重	68.4	68.4	69.0	68.5	68.8	68.6
加 1 個磁鐵重	68.3	68.2	68.2	68.1	67.9	68.1
加 2 個磁鐵重	67.1	67.8	67.5	67.8	67.9	67.6
加 3 個磁鐵重	66.8	67.3	66.6	67.3	67.2	67.0
加 4 個磁鐵重	66.2	67.2	66.4	66.6	67.0	66.7

發現：

- 漆包線圈的負重量愈大，紙杯耳機產生的音量愈小(表三)。

(表三)漆包線圈負重量對音量大小的影響



- 將磁鐵固定住可使漆包線圈產生有效的振動，有利於音量增大，而減輕漆包線的負重，也可以使音量增大。

三、改變磁鐵的磁力大小是否會影響紙杯耳機的聲音大小。

(一)累加磁鐵的數量與聲音大小

1. 製作光碟紙杯耳機(一)，裡面只放入一個磁鐵，測量音量大小。
2. 在光碟紙杯耳機的磁鐵處加磁鐵，提高磁鐵的磁力，測量發出的音量大小(圖 20)。



(圖 20)增加磁鐵的數量，測量紙杯耳機音量的變化。

結果：

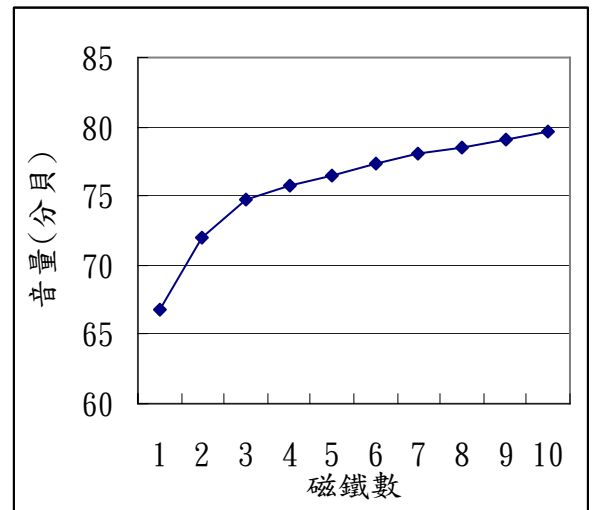
單位：分貝

磁鐵數	第 1 組	第 2 組	第 3 組	第 4 組	第 5 組	平均
1 (減少 1 個)	66.5	66.9	67.0	66.2	67.2	66.7
2 (未增加)	72.2	71.8	72.4	71.9	72.0	72.1
3 (加 1 個)	75.9	74.5	74.4	74.0	75.2	74.8
4 (加 2 個)	76.7	75.9	75.1	75.1	76.3	75.8
5 (加 3 個)	77.6	76.1	75.5	75.9	77.1	76.4
6 (加 4 個)	78.4	77.4	76.0	76.5	78.1	77.3
7 (加 5 個)	79.0	78.7	76.8	77.2	78.8	78.1
8 (加 6 個)	79.4	79.1	77.1	77.4	79.5	78.5
9 (加 7 個)	79.4	80.4	77.6	77.6	80.6	79.1
10 (加 8 個)	79.7	80.8	77.1	79.9	80.7	79.6

發現：

(表四)磁鐵數與音量大小的關係

1. 磁鐵數增加，音量變大。磁鐵數由 1 個增為 2 個時，音量明顯變大，但磁鐵數增為 3 個以後，音量的增加量變小。
2. 結果的顯現與我們預期的不太相同，原本以為磁鐵數量增加，音量應該愈大才對，結果發現並非如此。



(二)磁鐵累加與磁力大小

1. 吸引迴紋針的數量

使用一個磁鐵吸引迴紋針，迴紋針以串接吸引，觀察磁鐵可以吸引迴紋針的數量(圖 21)。

2. 同性相斥的距離

(1)製作一長 10cm 透明塑膠管，口徑大小正好可以讓磁鐵放入不會卡住。

(2)將一長 10cm 的吸管畫上刻度，一端黏在磁鐵圓面的正中間，使其成直立狀，並放入透明塑膠管內。

(3)取另一個磁鐵，圓面放入透明塑膠管的底部，使其與黏有吸管的磁鐵呈現

同性相斥而把黏有吸管的磁鐵抬高，記錄抬高的距離(圖 22)。

3. 載重法

(1)把一個迴紋針折成 T 形，在下端掛一平台，上端與磁鐵的圓平面互相吸住。

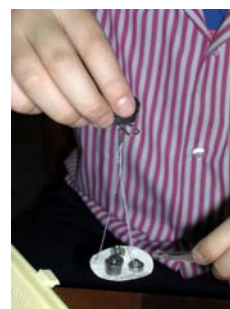
(2)在平台上放置砝碼，直到砝碼的重量大於磁鐵吸引迴紋針的力量，平台因此掉下來為止，計算砝碼的重量(圖 23)。



(圖 21)吸引迴紋針的數量



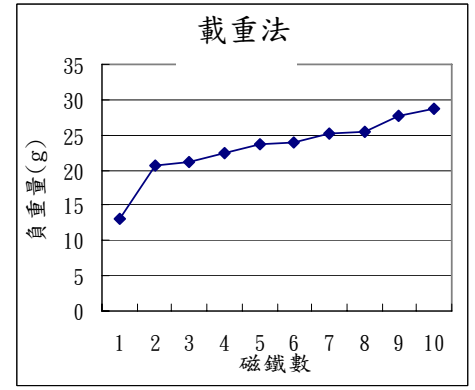
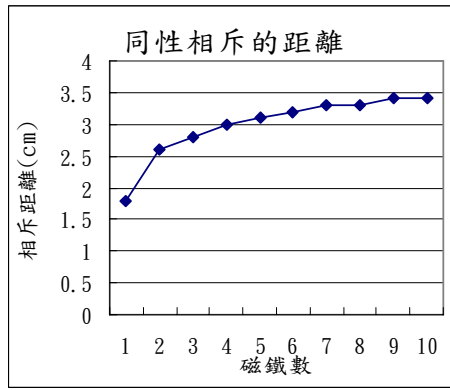
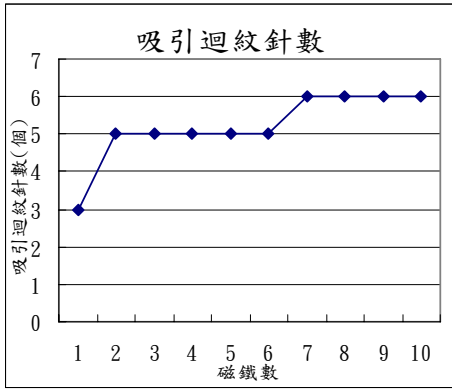
(圖 22)同性相斥的距離



(圖 23)測試磁鐵能吸引多少重量。

結果：

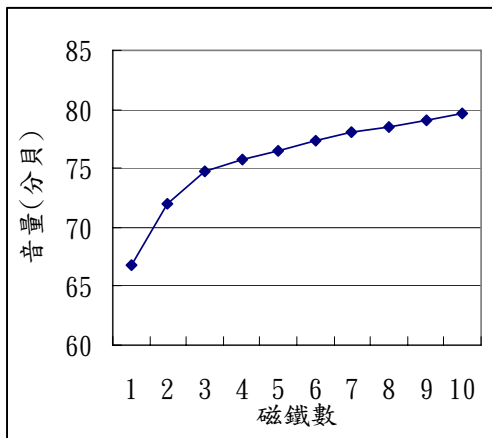
測量方式 磁鐵數	平均值	一般磁鐵			強力磁鐵	
		吸引迴紋針數(個)	同性相斥的距離(cm)	載重法(g)	同性相斥的距離(cm)	載重法(g)
1	3	1.8	13.2	8.8	137	
2	5	2.6	20.6	9.6	260	
3	5	2.8	21.2	10.1	274	
4	5	3.0	22.4	10.6	320	
5	5	3.1	23.6	10.9	350	
6	5	3.2	24.0	11.2	400	
7	6	3.3	25.1	11.3	410	
8	6	3.3	25.4	11.5	410	
9	6	3.4	27.6	11.6	410	
10	6	3.4	28.6	11.6	410	



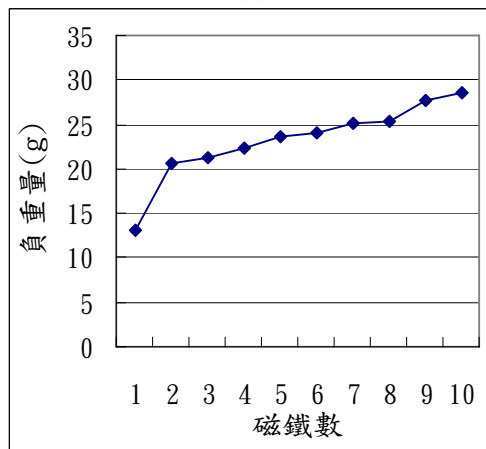
發現：

1. 測量磁力大小的方法中，以「載重法」的測量方法最佳，較能表現出不同磁鐵數的差異性。
2. 磁鐵數增加愈多，磁力愈強，但增加的比例並非呈現倍數關係，當磁鐵由1個增為2個時，磁力增強最明顯，磁鐵增為3個以後，磁力的變化愈不明顯，這與上一個磁鐵數與音量大小的實驗結果相合，以載重法的磁力增加曲線(表五)對照(表四)，兩者的曲線結構相似，表示磁力大小會影響音量大小，磁力愈大，音量愈大。

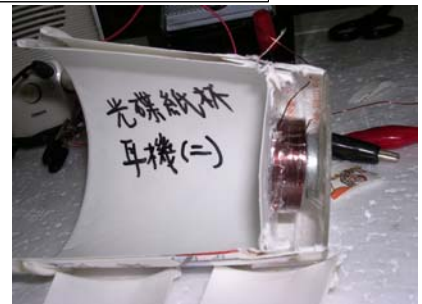
(表四)磁鐵數與音量大小的關係

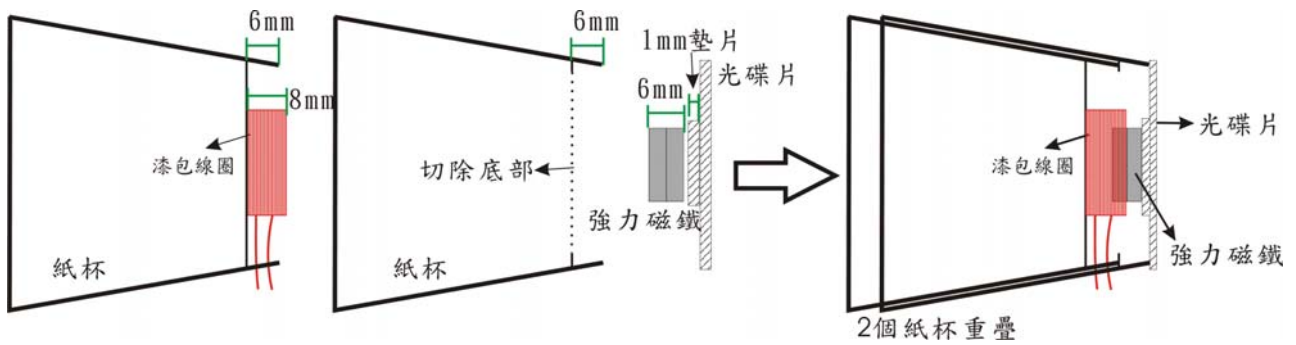


(表五)磁鐵數與載重量關係



3. 我們嘗試改以強力磁鐵製作紙杯耳機，產生的平均音量約 87.1 分貝，比使用一般磁鐵產生的音量 72.1 分貝大很多，因此決定改用強力磁鐵來製作紙杯耳機，做法定為「光碟紙杯耳機(二)」(圖 24)。

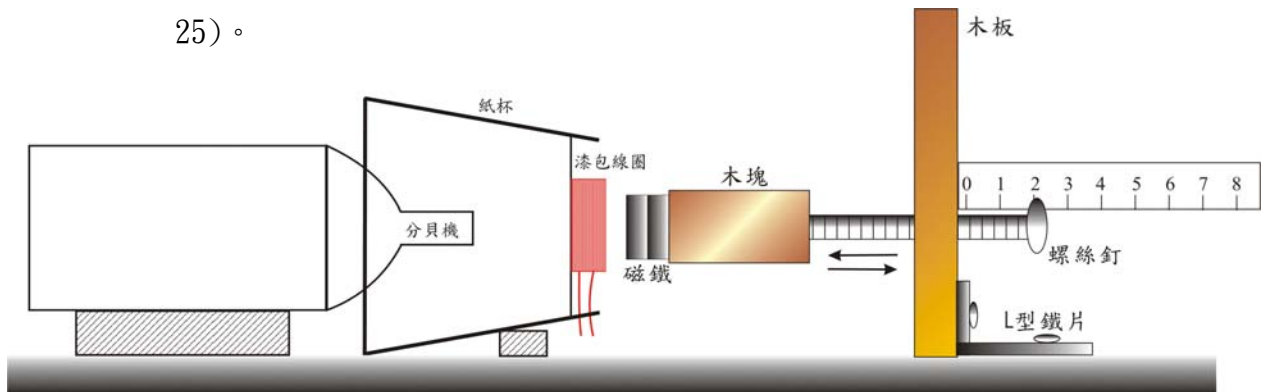




(圖 24)光碟紙杯耳機(二)的設計圖，將一般磁鐵改成強力磁鐵。

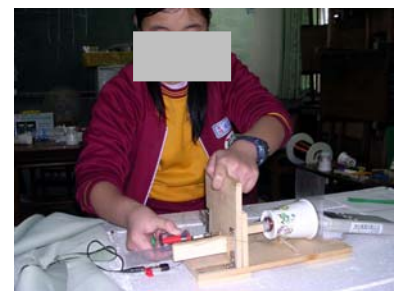
四、改變磁鐵放入到漆包線圈的位置是否會影響紙杯耳機的聲音大小。

- (一) 製作一個紙杯耳機，但只將漆包線圈黏在紙杯杯底。
- (二) 準備一方形木板，將螺絲釘鎖進木板，螺絲尖端再鎖上一木塊，木塊的末端再黏上兩顆強力磁鐵，木塊的長度需大於強力磁鐵可吸引螺絲釘的最大距離(圖 25)。



(圖 25)磁鐵與漆包線圈的距離實驗設計

- (三) 在木板上釘上一支尺，使尺立於螺絲釘的側邊(圖 26)。
- (四) 將木板立於一木板基座，磁鐵必須正好對準漆包線圈的正中央。
- (五) 依序改變漆包線圈與強力磁鐵的距離，測量紙杯耳機發出的聲音大小。



(圖 26)旋轉螺絲釘可以控制磁鐵與漆包線圈的距離。

結果：

單位：分貝

磁鐵與漆包線圈的距離	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
2.8cm	62.8	63.0	62.7	62.9	63.0	62.9
2.6cm	63.8	63.6	64.1	63.9	63.8	63.8
2.4cm	65.2	65.4	65.2	65.3	65.3	65.3
2.2cm	66.6	66.7	66.9	66.4	66.6	66.6

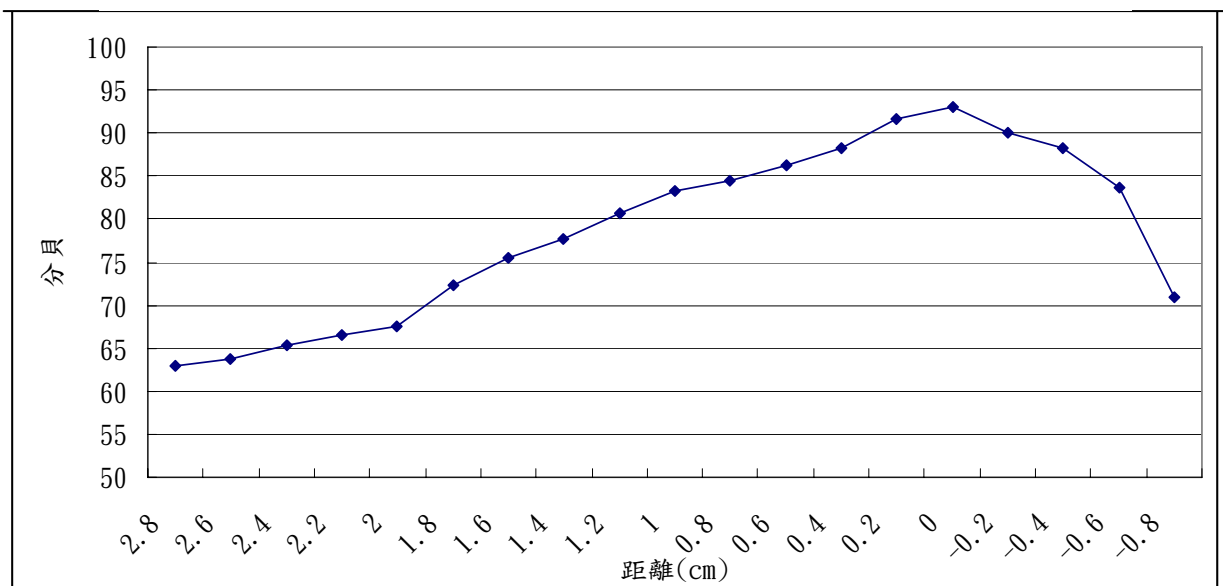
磁鐵與漆包線圈的距離	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均
2.0cm	67.9	67.2	67.5	67.5	67.5	67.5
1.8cm	71.9	72.5	72.3	72.4	72.3	72.3
1.6cm	75.9	75.0	75.4	75.6	75.3	75.4
1.4cm	77.7	77.7	77.9	77.4	77.3	77.6
1.2cm	81.0	80.5	80.7	80.7	80.7	80.7
1cm	83.8	83.0	83.2	83.4	83.0	83.2
0.8cm	84.9	84.1	84.3	84.5	84.4	84.4
0.6cm	86.7	86.0	86.3	86.5	86.2	86.3
0.4cm	88.8	87.9	88.3	88.5	88.1	88.3
0.2cm	92.1	91.3	91.5	91.9	91.7	91.7
0cm	93.5	92.7	93.1	92.8	93.0	93.0
-0.2cm	90.8	89.8	89.9	90.0	90.2	90.1
-0.4cm	88.9	88.1	88.2	88.5	88.2	88.3
-0.6cm	83.9	83.2	83.6	83.6	83.5	83.6
-0.8cm	71.7	70.3	70.9	71.3	71.0	71.0

「-」值表示深入漆包線圈的距離

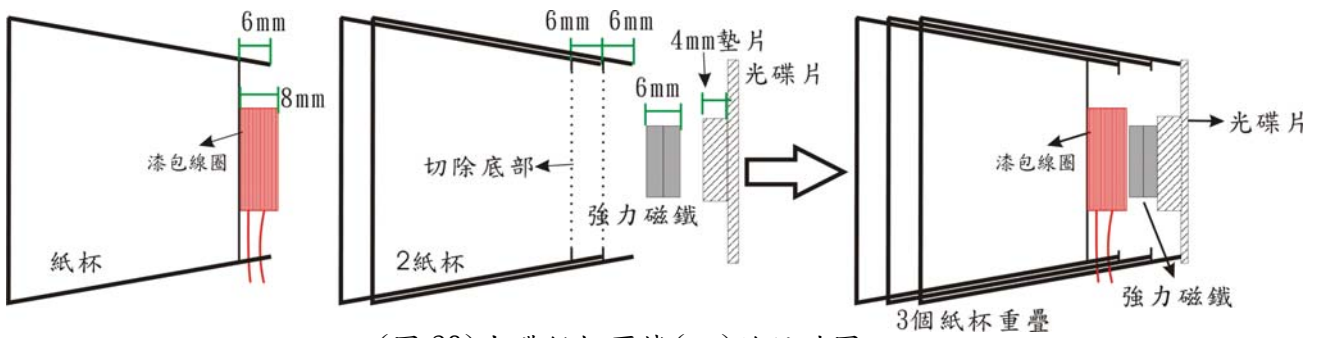
發現：

1. 當磁鐵與漆包線圈的距離為0時，產生的音量最大，距離愈遠或逐漸深入漆包線圈中時，音量會逐漸縮小(表六)。

(表六)磁鐵與漆包線圈距離對紙杯耳機聲音大小的影響



2. 經由上列的結果，修正「光碟紙杯耳機(二)」的作法，將磁鐵與漆包線圈的距離設置為 0cm，此作法定為「光碟紙杯耳機(三)」(圖 28)。



(圖 28)光碟紙杯耳機(三)的設計圖

五、改變纏繞漆包線的圈數是否會影響紙杯耳機的聲音大小。

(一) 不同圈數的影響

1. 使用纏繞漆包線不重疊的方式，分別纏繞 10、20、40、60、80、100 的漆包線圈(圖二十九)，使用「同性相斥的距離」的方法(圖 22)，測量不同漆包線圈產生的磁力強度。



(圖 29)不同漆包線圈數的實驗(不重疊纏繞法)

2. 分別將漆包線黏在紙杯杯底，使用改變磁鐵放入漆包線圈位置的實驗裝置(圖 25)，將磁鐵移至磁場效應最大的接觸面，測量各紙杯產生的音量大小。

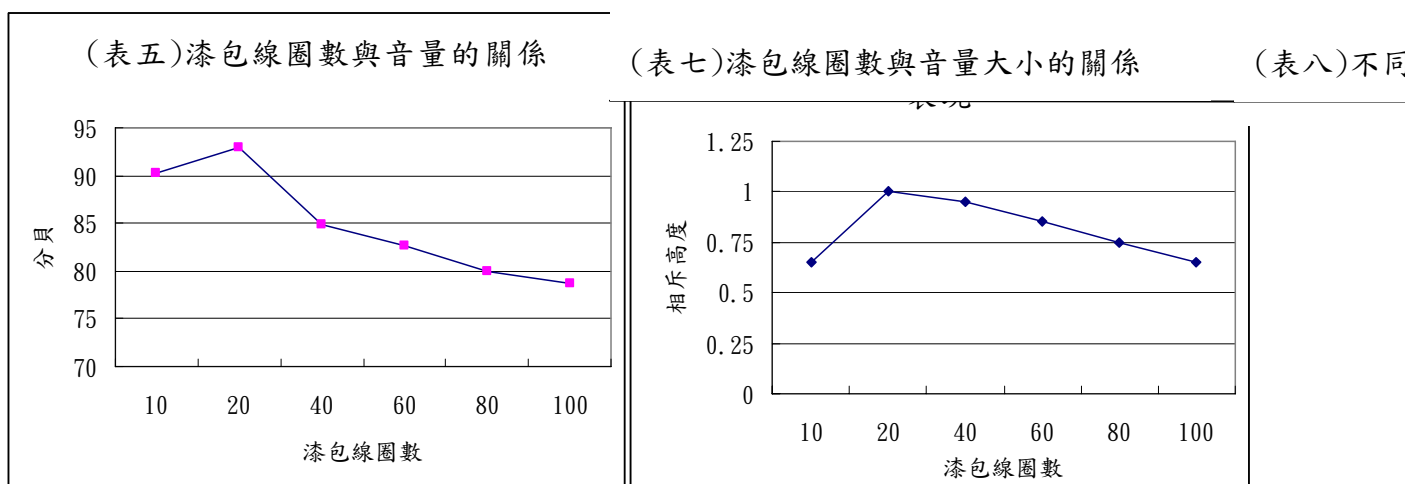
結果：

纏繞圈數	線圈長度 (cm)	線圈重量 (g)	相斥高度 (cm)	產生音量 (分貝)
10	0.4	0.8	0.65	90.2
20	0.8	1.6	1.00	93.0
40	1.6	3.2	0.95	84.9

60	2.4	4.8	0.85	82.7
80	3.2	6.4	0.75	79.9
100	4.0	8.0	0.65	78.7

發現：

1. 使用纏繞 20 圈的漆包線圈產生的音量最大，漆包線圈數增為 40 圈，音量反而降低了，而且圈數愈多，音量愈低(表七)。
2. 比較各漆包線圈通電後測量同性相斥的距離，發現在 20 圈時產生的磁力強度較強，40 圈以後的磁力反而變弱了(表八)，導致紙杯產生的音量逐漸變小。另外，漆包線纏繞的圈數愈多，漆包線圈的重量愈大，由「漆包線圈負重量與聲音大小關係」的實驗結果推論，漆包線圈的重量增大，也可能是音量降低的原因。



(二) 重疊繞法的影響

同上一步驟的方法，但漆包線圈採重疊繞法，厚度保持與 20 圈相同，10 圈則疏鬆的繞成 20 圈的厚度(圖 30)，分別測量同性相斥的距離與音量大小。



(圖 30)重疊繞法的紙杯

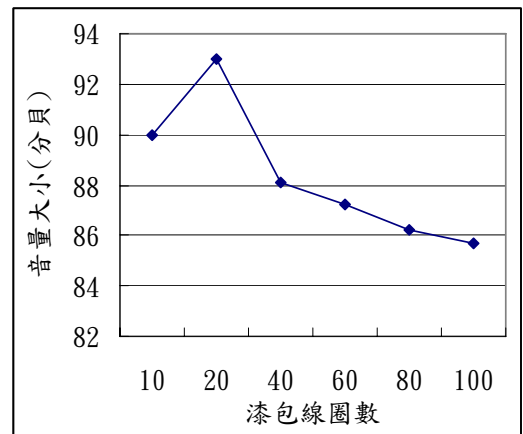
結果：

纏繞圈數	線圈長度 (cm)	線圈重量 (g)	相斥高度 (cm)	產生音量 (分貝)
10	0.8	0.8	0.85	90.0
20	0.8	1.6	1.00	93.0
40	0.8	4.1	1.15	88.1
60	0.8	6.8	1.25	87.2
80	0.8	9.5	1.33	86.2
100	0.8	12.7	1.40	85.7

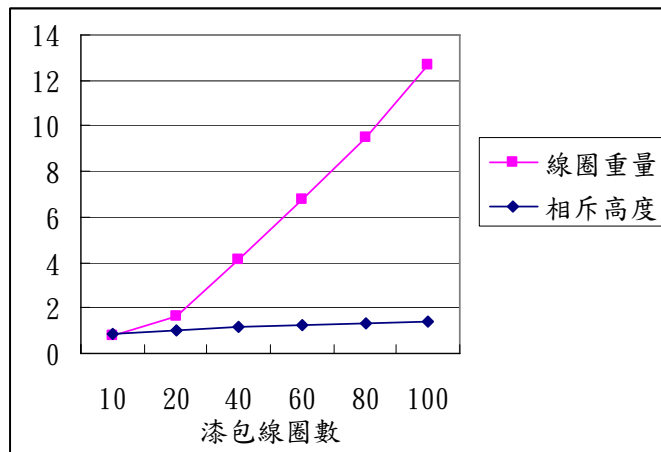
發現：

1. 使用纏繞20圈的漆包線圈產生的音量最大，漆包線圈數增為40圈時，音量降低，而且圈數愈多，音量愈低(表九)。
2. 比較各漆包線圈通電後測量同性相斥的距離，發現圈數增加時，漆包線圈產生的磁力強度也逐漸增強，理論上音量應逐漸增大才對，不過20圈以後的磁力強度增加趨緩，重量卻增加了更多倍，重量減弱的音量抵消了磁力增強的音量，導致紙杯產生的音量逐漸變小(表十)。

(表九)漆包線圈數與音量大小的關係



(表十)增加漆包線圈數，線圈重量與相斥高度的表現趨勢



六、改變漆包線圈的直徑

- (一) 取直徑 1.9 cm 的強力磁鐵備用。
- (二) 纏繞直徑為 3.3、3.0、2.4、2、1.3、1.0 cm 等 6 種不同直徑的漆包線圈，分別將漆包線圈分別黏在紙杯上。
- (三) 使用改變磁鐵放入漆包線圈位置的實驗裝置(圖 25)，將磁鐵移至磁場效應最大的接觸面，測量各紙杯產生的音量大小。

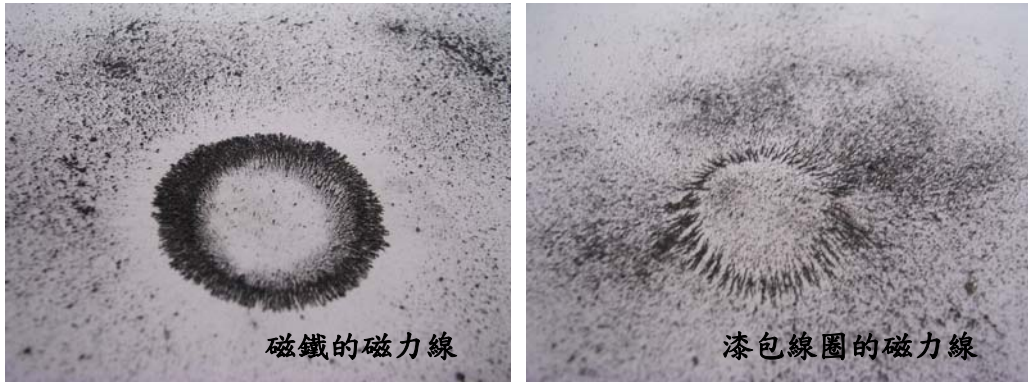
結果：

單位：分貝

漆包線圈的直徑(cm)	3.3	3.0	2.4	2.0	1.3	1.0
第 1 組	84.9	85.9	93.3	94.5	72.9	68.5
第 2 組	84.6	85.7	93.0	94.9	72.0	68.2
第 3 組	84.5	85.3	93.0	95.1	71.5	68.3
第 4 組	84.2	85.4	92.8	94.9	71.9	68.0
第 5 組	84.7	85.4	93.0	95.0	72.3	68.1
平均	84.6	85.5	93.0	94.9	72.1	68.2

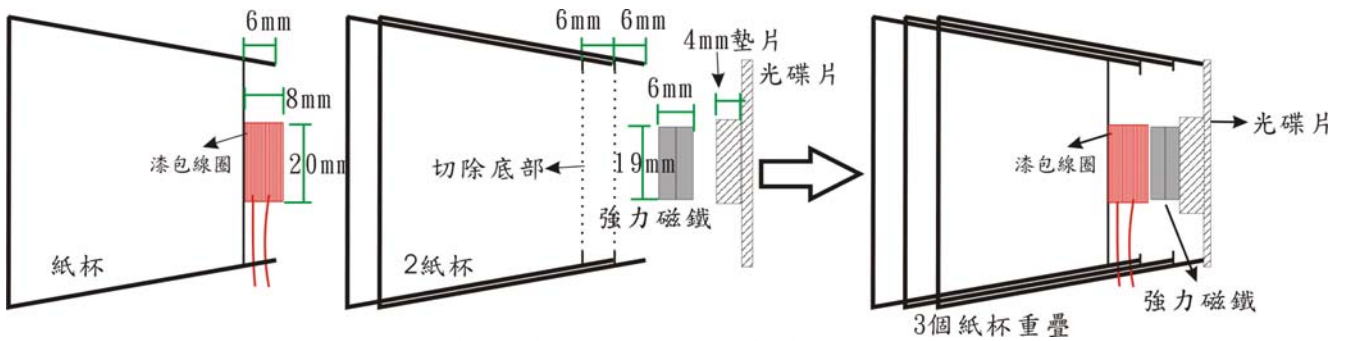
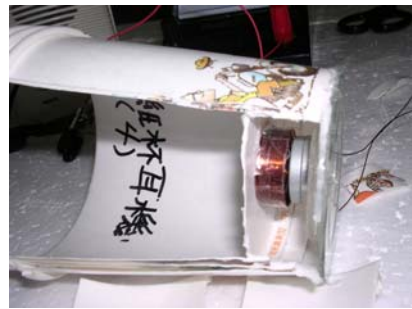
發現：

1. 直徑為 2.0 cm 的漆包線圈產生的音量最大，強力磁鐵的直徑為 1.9 cm，這與直徑 2.0 cm 的漆包線圈非常接近。
2. 觀察漆包線圈與強力磁鐵的磁場分布(圖 31)，漆包線圈的磁力線最密集處在漆包線上，強力磁鐵的磁力線最密集處在磁鐵邊緣，所以當兩者的直徑愈接近時，產生的磁場效應愈大，使紙杯產生的聲音也愈大聲。



(圖 31)磁鐵與漆包線圈的磁力線分布圖

3. 調整光碟紙杯耳機(三)的裝置，將漆包線圈的直徑改為 2.0 cm，此製作過程定為「光碟紙杯耳機(四)」(圖 32)。












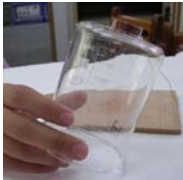






(圖 34)光碟紙杯耳機(四)的設計圖

七、使用不同的杯子是否會影響紙杯耳機的聲音大小。

- (一) 選擇 16 種不同的杯子，依光碟紙杯耳機(四)的製作方法，將漆包線圈黏在杯底。
- (二) 使用改變磁鐵放入漆包線圈位置的實驗裝置(圖 25)，將磁鐵移至磁場效應最大的接觸面，測量各種杯子產生的音量大小。

結果：

杯子種類	養樂多 	小塑膠杯 	飲水塑膠杯 	硬塑膠杯 	飲料杯 
材質	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠
杯底直徑(cm)	4.5	2.9	4.0	4.7	5.3
杯底厚度(cm)	0.185	0.025	0.035	0.06	0.05
音量大小(分貝)	84.0	87.0	88.2	83.6	90.3
杯子種類	免洗碗 	觀察杯 	試喝紙杯 	飲水紙杯 	奶茶紙杯 
材質	塑膠	塑膠	紙	紙	紙
杯底直徑(cm)	5.5	4.7	3.6	5.0	6.4
杯底厚度(cm)	0.1	0.15	0.030	0.030	0.04
音量大小(分貝)	70.6	83.6	94.8	95.1	90.5
杯子種類	玻璃杯 	玻璃燒杯 	透明玻璃杯 		
材質	玻璃	玻璃	玻璃		
杯底直徑(cm)	6.4	6.9	3.8		
杯底厚度(cm)	0.4	0.15	0.5		
音量大小(分貝)	63.1	63.1	63.1		
杯子種類	馬克杯 	造型杯 	瓷杯 		
材質	瓷	瓷	瓷		
杯底直徑(cm)	5.7	6.9	5.3		
杯底厚度(cm)	0.4	0.5	0.4		
音量大小(分貝)	63.1	63.1	63.1		

未接音源線時的背景音量：63.1 分貝

發現：

- (一) 一般飲水用的紙杯聲音較大，比一般耳機(圖 33)發出的音量 81.7 分貝大很多，其次是試喝用的小紙杯，而玻璃杯、瓷杯則沒有聲音。

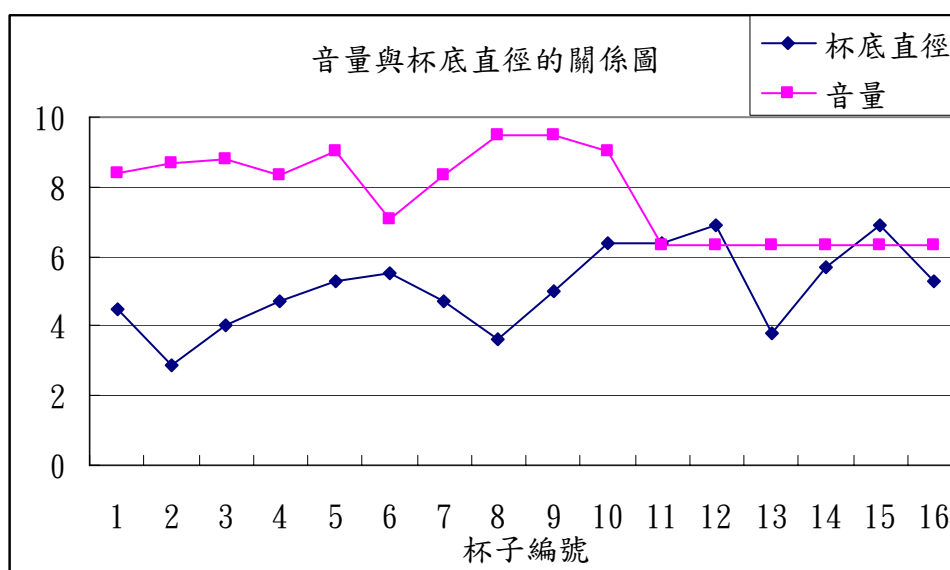


(圖 33) 耳機裝在紙杯杯底測得的音量為 81.7 分貝。

- (二) 比較各種杯子的直徑與音量大小，似乎無明顯的關係存在(表十一)。

杯子	養樂多	小塑膠杯	飲水塑膠杯	硬塑膠杯	飲料杯	免洗碗	觀察杯	試喝紙杯
杯底直徑	4.5	2.9	4.0	4.7	5.3	5.5	4.7	3.6
音量	84.0	87.0	88.2	83.6	90.3	70.6	83.6	94.8
杯子	飲水紙杯	奶茶紙杯	玻璃杯	玻璃燒杯	透明玻璃杯	馬克杯	造型杯	瓷杯
杯底直徑	5.0	6.4	6.4	6.9	3.8	5.7	6.9	5.3
音量	95.1	90.5	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1

(表十一) 音量與杯底直徑的關係圖



由上表音量與杯底直徑顯示，兩者似乎沒有明顯的關係。

*(表十一)所顯示的音量為原音量的 1/10。

- (三) 分析塑膠這一類的杯子發現，音量最高的飲料杯為 90.3 分貝，與免洗碗 70.6 分貝相差甚多，似乎無法由材質的不同明顯地區別音量的大小(表十二)。

(表十二)不同材質的杯子與音量大小的關係

材質	塑膠類							
杯子	硬塑膠杯	飲水塑膠杯	小塑膠杯	養樂多	飲料杯	免洗碗	觀察杯	平均
音量	83.6	88.2	87	84	90.3	70.6	83.6	83.9
材質	紙類							
杯子	試喝紙杯	飲水紙杯	奶茶紙杯	平均				
音量	94.8	95.1	90.5	93.5				
材質	玻璃							
杯子	玻璃杯	玻璃燒杯	透明杯	平均				
音量	63.1	63.1	63.1	63.1				
材質	瓷							
杯子	馬克杯	造型杯	瓷杯	平均				
音量	63.1	63.1	63.1	63.1				

由此表發現紙類杯子平均音量最大，塑膠類杯子平均音量次之，玻璃杯與瓷杯均無聲音。

- (四) 如果以杯底的厚度來分類，第一類為紙類與部分的塑膠杯杯底厚度薄，平均厚度約 0.03 cm，平均音量約 90.98 分貝，第二類為較厚的塑膠類，平均厚度約 0.12 cm，平均音量約 80.45 分貝，第三類為玻璃與瓷類，平均厚度約 0.32 cm，沒有發出聲音(表十三)。

(表十三)不同杯底厚度的杯子與音量大小的關係

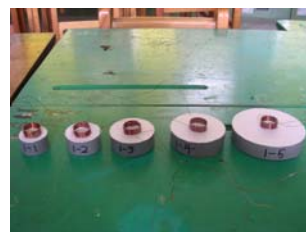
材質	紙			塑膠			平均
杯子	試喝紙杯	飲水紙杯	奶茶紙杯	小塑膠杯	飲水塑膠杯	飲料杯	
杯底厚度(cm)	0.030	0.030	0.04	0.025	0.035	0.05	0.03
音量大小(分貝)	94.8	95.1	90.5	87	88.2	90.3	90.98
材質	第二類					平均	
杯子	養樂多	硬塑膠杯	免洗碗	觀察杯			
杯底厚度(cm)	0.185	0.06	0.1	0.15	0.12		
音量大小(分貝)	84	83.6	70.6	83.6	80.45		
杯子材質	第三類						平均
杯子	玻璃杯	玻璃燒杯	透明杯	馬克杯	造型杯	瓷杯	
杯底厚度(cm)	0.4	0.15	0.5	0.4	0.5	0.4	0.32
音量大小(分貝)	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1	63.1

上表結果顯示，杯底較薄的杯子，產生的音量較大。

(五) 經由上面的比對，我們認為杯底的厚度似乎是影響杯子音量大小的原因，但由於影響分析的變因太多，必須再控制變因測試。

1. 杯底直徑大小與音量的大小

- (1) 裁製厚度 2cm，內直徑分別為 2.32、3.415、4.815、6.015、8.535 等 5 種不同大小口徑的塑膠管。
- (2) 在塑膠管的一側貼上與口徑相同大小的 70 磅模造紙。
- (3) 依光碟紙杯耳機(四)的製作方式將漆包線圈分別黏在模造紙上(圖 34)。
- (4) 使用改變磁鐵放入漆包線圈位置的實驗裝置(圖 25)，將磁鐵移至磁場效應最大的接觸面，測量不同直徑大小的紙杯產生的音量大小(圖 35)。



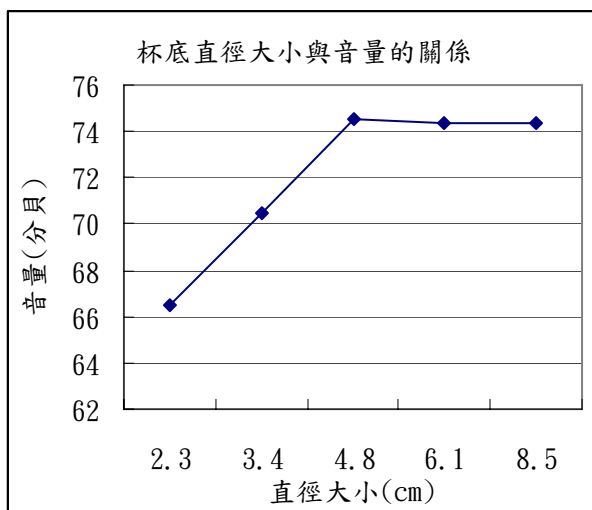
(圖 34)製作不同直徑大小的杯底。



(圖 35)測量不同直徑大小杯底的音量。

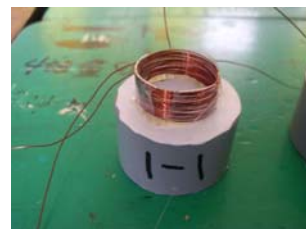
結果： 單位：分貝

次數 直徑	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
2.320cm	66.5	66.3	66.6	66.7	66.2	66.5
3.415cm	70.9	70.2	70.5	70.1	70.7	70.5
4.815cm	74.2	74.5	74.8	74.1	74.7	74.5
6.105cm	74.3	74.5	74.7	74.3	74.4	74.4
8.535cm	74.2	74.6	74.5	74.1	74.6	74.4



發現：

- (1) 當杯底直徑由 2.320cm 變大為 4.815cm 時，產生的音量似乎有明顯變大的趨勢，但當杯底直徑比 4.815cm 大時，音量卻不再增加。
- (2) 我們懷疑，影響上列實驗音量的大小，並非單純在於杯底的直徑大小，有可能與「漆包線圈的直徑」和「杯底直徑」兩者的相對大小有關(圖 36)。
- (3) 我們試著同上步驟，將漆包線圈的直徑由 2.0cm，改為 1.5cm，發現結果(表十三)與我們的假設相符合，造成上列實驗產生不同音量大小的原因，應是「漆包線圈的直徑」和「杯底直徑」兩者的相對大小。由現有資料推論(表十四)，當杯底直徑大於漆包線圈直徑 2 倍以上時，產生的

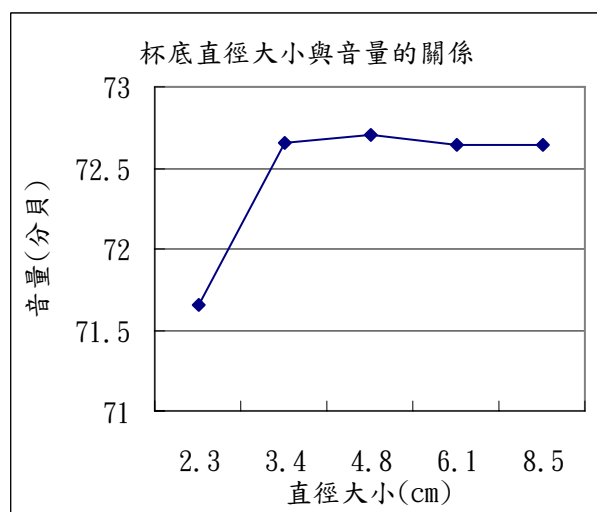


(圖 36)杯底直徑 2.32cm 與漆包線圈直徑 2.0cm 的大小非常接近。

音量相同，當杯底直徑小於漆包線直徑 2 倍時，產生的音量會隨著杯底直徑變小而變小。

(表十三)使用直徑為 1.5cm 的漆包線圈測出的音量

次數 直徑	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均
2.320cm	71.9	71.5	71.4	71.8	71.7	71.7
3.415cm	72.6	72.6	72.4	72.9	72.8	72.7
4.815cm	72.7	72.7	72.9	72.8	72.4	72.7
6.105cm	72.5	72.4	72.6	72.8	72.9	72.6
8.535cm	72.6	72.4	72.8	72.7	72.7	72.6



(表十四)漆包線圈直徑與杯底直徑的關係

漆包線圈直徑(cm)	杯底直徑(cm)	音量大小(分貝)	杯底直徑/漆包線圈直徑
2.0	2.320	66.5	1.16
	3.415	70.5	1.71
	4.815	74.5	2.41
	6.105	74.4	3.05
	8.535	74.4	4.27
漆包線圈直徑(cm)	杯底直徑(cm)	音量大小(分貝)	杯底直徑/漆包線圈直徑
1.5	2.320	71.7	1.55
	3.415	72.7	2.28
	4.815	72.7	3.21
	6.105	72.6	4.07
	8.535	72.6	5.69

當杯底直徑大於漆包線圈直徑 2 倍以上時，產生的音量相同，當杯底直徑小於漆包線直徑 2 倍時，產生的音量會隨著杯底直徑變小而變小。

伍、討論

一、紙杯耳機能發出聲音，主要是漆包線圈接上音源線後，微量的電流通過漆包線圈，使漆包線圈產生了電磁效應，在磁鐵與漆包線圈彼此磁場的作用下，漆包線圈持續的來回振動，使紙杯杯底也產生來回振動，進而振動空氣發出與音源裝置所播放相同的音樂聲。

二、當磁鐵黏在漆包線圈上時，由於磁鐵只是懸掛在漆包線上，並無任何支撐物固定，使得漆包線圈的振動力量分散在磁鐵上，如把磁鐵固定住，磁場的交互作用便能集中在漆包線圈上，使紙杯產生的較大的音量。如果把磁鐵黏在紙杯杯



(圖 39)磁鐵貼在杯底

底，理論上紙杯應可發出聲音。經由實驗證實(圖 39)，磁鐵黏在杯底的紙杯耳機也能發出聲音，音量約 68.9 分貝。

三、經由實驗發現，如果要製作音量大的紙杯耳機，可掌握幾個原則：

- (一) 使用磁力強一點的磁鐵效果較好，以強力磁鐵產生的效果較佳。
- (二) 漆包線圈纏繞 20 圈的效果較好，纏繞 10 圈的漆包線圈亦可，但纏繞愈多圈的效果愈不好。
- (三) 磁鐵擺放的位置使磁鐵的圓面與漆包線圈的外端交接時效果最好，兩者的距離增加或磁鐵深漆包線圈中，都會使音量減弱。
- (四) 漆包線圈的直徑大小愈接近磁鐵的直徑大小，產生的音量愈大。
- (五) 漆包線圈的直徑大小，小於杯底直徑的 1/2，產生的音量較大。
- (六) 紙杯耳機的主體使用飲水用的紙杯效果最好，也容易取得，其次飲水用的塑膠杯亦可考慮使用。

陸、結論

經由我們的改良設計「光碟紙杯耳機(四)」，可發出大約 95 分貝的音量，其中的不同在於：

- 一、使用廢光碟當磁鐵的固定物，使漆包線圈的振動更有效。
- 二、使用強力磁鐵增加磁力。
- 三、調整漆包線圈與磁鐵的相對位置，使磁鐵的圓面最靠近漆包線圈外端。
- 四、調整漆包線圈的直徑，使漆包線圈正好大於磁鐵一點點。

柒、建議

針對杯子的結構與杯底的樣式，這部分應可再深入探討。

捌、參考資料

- 一、自然教學指引第十冊 國立編譯館 2002 96-96
- 二、祁明輝 2005 《紙杯喇叭》。科學研習 44(4): 16-20
- 三、柯若霖等 2003 《奇妙的磁力現象》。中華民國第四十三屆中小學科展國小組生活與應用科學
- 四、邱瓊燁等 2004 《減音-布可忽視》。中華民國第四十四屆中小學科展國小組生活與應用科學
- 五、陳昱君等 2002 《裝扮隔音版的臉-附加物探討》。中華民國第四十二屆中小學科展國小組生活與應用科學
- 六、許豈毓等 2003 《噪音大追擊》。中華民國第四十三屆中小學科展國小組生活

與應用科學

七、蕭祐仁等 2004 《一決磁雄》。中華民國第四十四屆中小學科展國小組生活與應用科學

評語

081505 自製紙杯耳機

1. 創意佳。
2. 表達能力好，敘說條理分明。
3. 實作良好。