

新竹市第四十一屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小甲組

作品名稱：

奇妙的頻率之音符跳「洞」

關 鍵 詞：齒輪轉速比、音調、調音器

編 號：

目錄

摘要·····	P. 1
壹、前言·····	P. 2
貳、研究設備及器材·····	P. 6
參、研究過程與結果·····	P. 9
肆、討論·····	P. 22
伍、結論·····	P. 25
陸、參考文獻資料·····	P. 26
附錄—參與科展心得·····	P. 27

奇妙的頻率之音符跳「洞」

摘要

我們在製作一個發聲的裝置，聲音的來源是空氣的振動，我們藉由轉速的調整來產生不同的音調，並藉由APP-Soundcorset 調音器的收音，產生準確的音階。機器設計的雛型是參考「2022 第 28 屆遠哲科學趣味競賽 - 調音高手 <https://www.youtube.com/watch?v=w3XFdOqZlug&t=229s>」，而經由一連串的探究，我們改良了裝置設計、運轉的架設方式、確認原理的成因，來提高準確音的產生。在裝置運轉時需要低噪音，我們探究了齒輪模具的設計、鍊條長度的控制及發聲器管徑的選擇。音調的高低是靠空氣振動的次數來決定，我們配合齒輪比，調整轉盤上洞數的個數及擺放位置，發現洞數個數越多，音調越高，且同一組的洞需要與圓心等距，在此前提下音調高低與離圓心距離的長短無明顯相關性。IPAD 收音孔的擺放位置與音調轉盤垂直，進氣量才不會分散到其他層別的孔洞，可使音調連續呈現同一頻率。當音調可以穩定呈現時，齒輪比數高或低、洞數的多或寡，準確的音階產生的機率相近，約 30%。

壹、前言

一、研究動機

五年級的課程「聲音與樂器」理解聲音是藉由振動、介質傳播而擴散出去，經由樂器的介紹與操作認識聲音三要素，但對振動如何產生音調的不同很好奇，我們可以藉由嘴巴發出高低音，但喉嚨的振動如何進行？想模擬空氣如何靠振動方式來發出5個音階，又以怎樣的形式可以呈現一首童謠呢？

二、研究目的

我們參考「2022年第28屆遠哲科學趣味競賽-調音高手」[參考資料 3]而製作了實驗裝置，但對此實驗裝置的設計，在運轉上有些疑惑，所以我們提出以下的實驗(稱為前置作業)來提供閃靈調音器實作探究時的資料。

(一)前置作業的實驗:

- 1.齒輪轉動及氣球洩氣的聲音與音調的關係。
- 2.音階紙盤上洞的個數與音調的關係。
- 3.音階紙盤上不同層別的洞距與音調的關係。
- 4.APP-Soundcorset的使用方法。

(二)閃靈調音器實作探究:

- 1.在低噪音的齒輪轉動下，齒輪比數的設計。
- 2.音階紙盤洞數層別的設計與音調的關係。
- 3.發聲器與收音器擺放位置的相關性。
- 4.洞數及齒輪比數如何選擇，準確音出現的機率最高。

三、文獻回顧

(一)國內文獻

我們的研究是製作一個穩定的發聲系統，利用空氣振動產生音調。探究齒輪轉動速率或孔洞數來達到唱名的頻率。目前以此影片(<https://www.youtube.com/watch?v=w3XFdOqZlug&t=229s>)為探究的出發點，並未有找到其他的相關文獻。

(二) 基本知識背景

1. 音調[參考資料 1,2]

(1) 定義: 聲音的高低

管弦樂利用調整弦的鬆緊、粗細、長短來彈出不同音調的聲音；打擊樂利用不同的按鍵可彈出不同音調的聲音；管樂器利用空氣柱長短的變化來吹奏出不同音調的聲音。

(2) 單位: 赫茲(Hz)

頻率的計算方式

$$\text{頻率}(f) = \frac{\text{振動次數}(N)}{\text{時間}(t)}$$

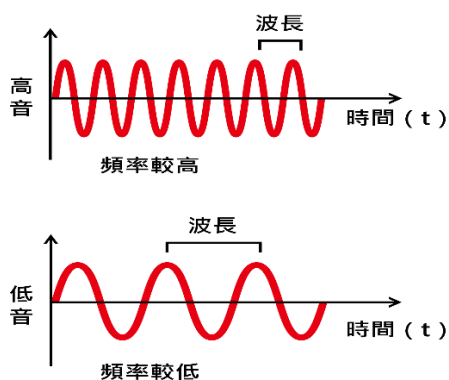
$$1 \text{ 單位} = \frac{1}{\text{秒}} = 1 \text{ 赫茲} = 1 \text{ 赫(Hz)}$$

(3) 音調與頻率

聲音的音調由發音體的振動頻率決定，頻率愈高則音調愈高。一般樂器所發出的聲音頻率約為 20~4000Hz 之間，人類發出的聲音頻率約為 80~1000Hz 之間，其中男生的聲音頻率約 80~200 Hz；女聲的聲音頻率約 250~600 Hz，所以一般女生的音調比男生還高。

(4) 音調的波形

聲音是由許多弦波組成，藉由觀察波形可得知聲音的高低。越是高的音，其頻率越高且波長越短；越是低的音，其頻率越低且波長越長；我們以時間為橫軸，信號大小為縱軸的波形圖來觀察聲音的週期，週期的倒數為其頻率。



2.唱名[參考資料2, 4]

(1)唱名代號的頻率來源

明朝的朱載堉提出十二平均律，在十二平均律中，一個八度音(12個琴鍵)的最後一個Do的頻率是第一個Do的2倍。十二平均律把這2倍的頻率差平均分配給12個音程，使每相鄰兩個音的頻率比都相同。也就是每兩個半音之間的頻率倍數比大約為2的12次方根，相當於1.059倍。

(2)音階頻率計算法

以中音La的聲音（440Hz，週期2.27ms）為例：

La到Si為一個全音，因此Si的頻率為 $440 \times 1.059 \times 1.059 \doteq 494\text{Hz}$ ，

Si到Do為一個半音，因此Do的頻率為 $494 \times 1.059 \doteq 523\text{Hz}$ 。

每個音各有其對應的頻率，如下表：

代號	唱名	1	2	3	4	5	6	7
C	Do	32.7	65.4	130.8	261.6	523.5	1046.5	2093.0
C#、Db	降 Re	34.7	69.3	138.6	277.2	554.4	1108.7	2217.5
D	Re	36.7	73.4	146.8	293.7	587.3	1174.7	2349.3
D#、Eb	降 Mi	38.9	77.8	155.6	311.1	622.3	1244.5	2489.0
E	Mi	41.2	82.4	164.8	329.7	659.3	1318.5	2637.0
F	Fa	43.7	87.3	174.6	346.2	698.5	1397.0	2793.8
F#、Gb	降 So	46.3	92.5	185.0	370.0	740.0	1480.0	2960.0
G	Sol	49.0	98.0	196.0	392.0	784.0	1568.0	3136.0
G#、Ab	降 La	51.9	103.8	207.7	415.3	830.6	1661.2	3322.4
A	La	55.0	110.0	220.0	440.0	880.0	1760.0	3520.0
A#、Bb	降 Si	58.3	116.5	233.1	466.2	932.3	1864.7	3729.3
B	Si	61.7	123.5	246.9	493.9	987.8	1975.5	3951.1

(3)鋼琴鍵盤唱名代號的位置圖

每個八度音共有12個半音，黑鍵為半度音。Mi(E)到Fa(F)、Si(B)到Do(C)為半度音，其餘相鄰的白鍵(例如C到D)為一個全音。



3.APP-Soundcorset所提供的資料[參考資料 5]

(1)A4=440Hz 的意義

當你去聆聽一場管弦樂團演出，在開始演出前，團員們會進行試音的動作，此時會由雙簧管吹個基準音 A，然後讓其它樂器依此調音，這個中央區基準音 A 的音頻為 440Hz。

A= 440Hz，是國際標準組織（ISO）於 1953 年發布的標準音高，自此之後大多數的樂器及音樂教學都以此為出發點進行設計。

(2)音階的判斷方式

(2.1)不準確的音

所發出的聲音近似低音的「降 Si」，頻率在 B2b=116Hz 與 B2=123Hz 之間。將 116 與 123Hz 劃分為 50 個間隔，此聲音的頻率為 $116+(123-116)*30/50=116+4.2 \div 120\text{Hz}$ 。此聲音不是準確的音，以黑色背景顯示。



(2.2)準確的音

所發出的聲音為高音的「降 Re」，頻率在 D5b=554Hz 與 D5=587Hz 之間。將 554 與 587Hz 劃分為 50 個間隔，此聲音的頻率為 $554+(587-554)*3/50=554+2.0 \div 556\text{Hz}$ 。此聲音是準確的音，以綠色背景顯示。





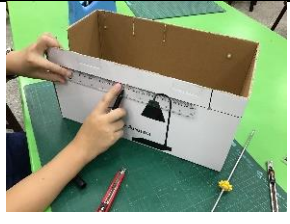
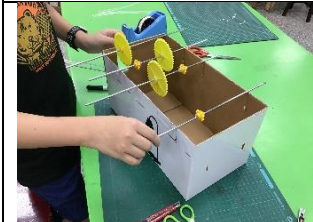

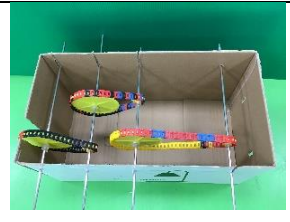
貳、研究設備及器材

一、齒輪箱製作

(一)材料

材料	鐵棒	齒輪	鍊條	紙箱
個數	4	大:3 小:3	3	1

(二)製作過程

		
材料	在鐵棒上黏上齒輪	測量齒輪間的距離
		
裝上齒輪	裝上鍊條	完成品

(三)製作步驟

- 1.長、寬、高(37*19*19)公分的箱子一個。
- 2.在鐵棒上定位齒輪的位置後並將齒輪黏在鐵棒上。
- 3.先測量齒輪跟齒輪間的距離，在箱子上作記號並打洞。
- 4.把齒輪轉軸放進作記號的洞。
- 5.三組齒輪各接上鍊條即完成製作。

二、氣球發聲器製作

(一)材料

材料	粗吸管	12吋氣球
個數	1	1

(二)製作過程

		
材料	將粗吸管口黏在氣球的開口處	完成品

(三)製作步驟

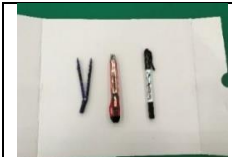


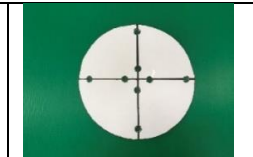
- 1.將粗吸管的尖端剪掉。
- 2.取吸管長度(約 8cm)，將吸管口黏在氣球的開口。
- 3.確認不會漏氣後，即完成。

三、音階紙盤製作

(一)材料

材料	厚紙板	圓規	粗吸管
個數	1	1	1

(二)製作過程

			
材料	畫出音階洞的位置	在音階的位置挖洞	完成品

(三)製作步驟

- 1.先在紙板上畫出圓形音階轉盤的範圍。
- 2.在紙盤上畫出音階洞的大小及位置。
- 3.挖空紙盤上的音階洞即完成製作。

四、前置作業的調音器製作

(一)材料

材料	齒輪箱	音階紙盤	氣球發聲器	瓶蓋
個數	1	1	1	多數

(二)製作過程

		
齒輪箱裝上音階紙盤	測試齒輪運轉是否順暢	加上氣球發聲器

(三)製作步驟

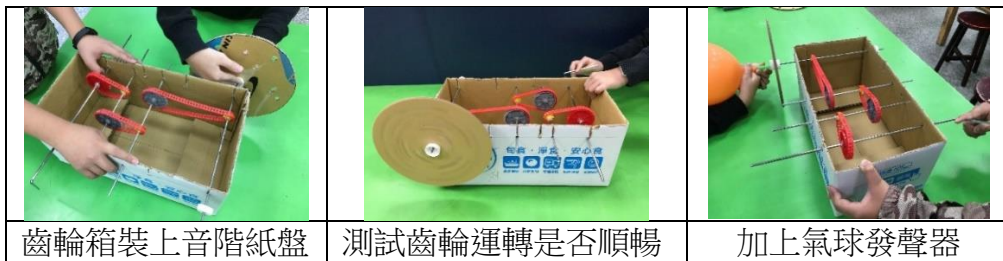
- 1.在齒輪箱的第三組齒輪轉軸裝上音階紙盤。
- 2.利用瓶蓋固定轉軸，防止轉軸移動而使鍊條掉落。

五、閃靈調音器的製作

(一)材料

- 1.1:27 的齒輪箱 (製作方式參考一、齒輪箱製作)
- 2.音階紙盤 (製作方式參考三、音階紙盤製作)
- 3.氣球發聲器 (製作方式參考二、氣球發聲器製作)

(二)製作過程



(三)製作步驟

- 1.在齒輪盒的第三組齒輪轉軸裝上音階紙盤。
- 2.用熱熔膠把調音紙盤黏在鐵棒上，使音階紙盤與鐵棒同轉速。

參、研究過程與結果

科展主題是參考youtube「2022年第28屆遠哲科學趣味競賽-調音高手」的影片所延伸的探究，因此最初的實驗裝置以此為參考點。初步我們依「校內初賽」的影片作了一個齒輪箱，也試運轉了裝置，但我們對此實驗裝置有些疑惑點，因此設計了些實驗來解開疑惑點及並展開主題的探究方向。




一、前置作業:設計實驗來探討對實驗裝置所引發的疑惑

(一)齒輪轉動及氣球洩氣的聲音會影響音調?

大吸管的管口直徑 1.2 公分，音階紙盤的洞口直徑 1.2 公分，我們發現氣球洩氣時會發出聲音，可能會影響收音的頻率。我們假設洩氣所發出的聲音與洩氣的速度有關，因此設計實驗以管口全開及有遮蔽部分管口為探究的因素，遮蔽部分管口是以人力將管口面積的 1/2 封住，使其成為半開管口。而控制變因中的齒輪轉數比是將齒輪以鍊條組合成二段式，大齒輪轉一圈，終端小齒輪轉 16 圈，音階紙盤的洞數都是 4 個，且 4 個洞離圓心等距，都為 11 公分。實驗結果以 APP-Soundcorset 調音器 所呈現的唱名或代號為數據來源。此實驗有重複 10 次以上的實作，在每次的實驗中，不管是吸水管口全開或半開，收音期間，音階都呈現同一頻率。

以下呈現其中一組實驗過程:

操縱變因	控制變因	結果:測試儀器-APP-Soundcorset
大吸管全開管口放氣	1.齒輪轉速比 1:16	固定一個音調-Si 音
大吸管半開管口放氣	2.洞離圓心 11 公分 3.洞數 4 個	固定一個音調-降 Si 音

			
管口全開放氣-背景音調	管口全開放氣-前段	管口全開放氣-中段	管口全開放氣-後段
			
管口半開放氣-背景音調	管口半開放氣-前段	管口半開放氣-中段	管口半開放氣-後段

觀察與結論:

- ①我們數據在採集時盡量排除外在因素，因此等齒輪可平穩轉動並從背景收音開始定格，一路採集數據到氣球快洩完氣為止。發現齒輪鍊條轉動的聲音會影響收音，因此需調整鍊條可以平順地在齒輪上轉動，以減少音源干擾。
- ②吸管口全開放氣時，氣球放氣產生的聲音不常出現，因此對數據的影響不大。但吸管口半開放氣時，氣球放氣會產生聲音，且吸管口半開為人為控制，怕有人為因素誤差，所以我們之後的實驗都採用大吸管全開放氣來執行。

(二)調音紙盤的轉速是否一致?

原先使用瓶蓋將調音紙盤前後夾緊在旋轉軸上，目的是可以更換不同洞數的調音紙盤，使紙盤可重新使用，不須再製作，但發現實驗多次後，左右紙盤的旋轉速度有落差，這樣會造成控制變因-背景音調不同，因此就將紙盤用熱熔膠固定在旋轉軸上。以下是以紙盤用熱熔膠固定在旋轉軸上，將慢動作的錄影影片截錄下來的照片。發現左右紙盤的轉速是一致的。



(三)音階紙盤上的洞數與音調有何相關性?

紙盤轉一圈，洞數=進氣次數，單位時間內的進氣次數即為頻率，而音調的高低與頻率大小有關，我們假設洞數多寡應該與頻率有相關性，且好奇洞數與頻率是何種相關性?又懷疑洞與圓心的距離不知是否也是影響音調高低的一個因素?因此設計不同洞數但洞與圓心等距的實驗，且實驗組與對照組的洞數有整數倍的關係，來探

討洞數與音調的相關性。由於要控制同一轉速，因此在齒輪箱兩側分別安裝 4 洞數和 8 洞數的轉盤各一，以降低實驗誤差，且須等左右兩側的背景音調相同才開始進蒐集數據。實驗結果以 APP-Soundcorset 調音器所呈現的唱名或代號為數據來源。此實驗有重複 5 次以上的實作，實驗結果有規律性，以下是數據的呈現:

實驗次數	操縱變因		控制變因
	洞數 4 個 (單位 Hz)	洞數 8 個 (單位 Hz)	
第 1 次	D4b=277	E5b=622	1.齒輪轉速比 1:16 2.洞離圓心 11 公分 3.管口全開放氣
第 2 次	B3=246	B5=987	
第 3 次	E5b=622	F6=1396	
第 4 次	B4=493	E6=1318	
第 5 次	D5=587	F6=1396	

以下呈現其中一組實驗過程:

操縱變因	控制變因	結果:測試儀器-APP-Soundcorset
洞數 4 個	1.齒輪轉速比 1:16 2.洞離圓心 11 公分 3.管口全開放氣	音調低-C4=261Hz
洞數 8 個		音調高-G5=783Hz

照片中的橘色氣球對準 4 洞放氣，藍色氣球對準 8 洞放氣。

			
實驗前的背景音調相同(261Hz)	實驗過程中的前段	實驗過程中的中段	實驗過程中的後段

觀察與結論:

- ①經多次實驗發現，洞數多，單位時間內的空氣通過洞口次數多，振動次數多，頻率高，音調高。洞數少，單位時間內的空氣通過洞口次數少，振動次數少，頻率低，音調低。
- ②洞數的倍數關係與頻率變化的相關性在此實驗未明顯呈現。

(四)音階紙盤上洞與圓心的距離如何影響音調?

紙盤上的洞數相同，但排列與圓心不同距離的層別，在紙盤上的轉速會不同，離圓心遠的洞，轉速較快，我們好奇洞的轉速不同，與音階的頻率有何相關性?因此設計洞數相同但離圓心不同距離的實驗。由於要控制同一轉速，因此在齒輪箱兩側





分別安裝離圓心 5 公分的 4 洞及離圓心 11 公分的 4 洞轉盤各一，以降低實驗誤差，且須等左右兩側的背景音調相同才開始進行測量。實驗結果以 APP-Soundcorset 調音器所呈現的唱名或代號為數據來源。此實驗有重複 5 次以上的實作，實驗結果有一致性，以下是數據的呈現:

實驗次數	操縱變因		控制變因
	洞離圓心 5 公分 (單位 Hz)	洞離圓心 11 公分 (單位 Hz)	
第 1 次	F5=698	F5=698	1.齒輪轉速比 1:16 2.洞數 4 個 3.管口全開放氣
第 2 次	E5=659	E5b=622	
第 3 次	D5=587	D5b=554	
第 4 次	A5b=830	B5=987	
第 5 次	D1b=34	C1=32	

以下呈現其中一組實驗過程:

操縱變因	控制變因	結果:測試儀器-APP-Soundcorset
洞離圓心 5 公分	1.齒輪轉速比 1:16 2.洞數 4 個 3.管口全開放氣	兩者音調一致-F5=698Hz
洞離圓心 11 公分		兩者音調一致-F5=698Hz

照片中的藍色氣球對準離圓心 5 公分的 4 洞放氣，紫色氣球對準離圓心 11 公分的 4 洞放氣。



			
實驗前的背景音調相同(30Hz)	實驗過程中的前段	實驗過程中的中段	實驗過程中所偵測的音調相同-後段

觀察與結論:

- ① 實驗結果在低轉速及高轉速上有些微的差異。在低轉速時，洞數相同的音階約有一樣的頻率，但高轉速時，音階最多約有一個半音的差異。
- ② 低轉速時，音階紙盤洞與圓心的距離，不影響音調。但高轉速時，音階紙盤洞與圓心的距離，會些微影響音調，最多約一個降半音頻率的差距(例如 La 與 La 降)，但距離遠或近與音調高或低沒有明顯相關性。
- ③ 可推論出音調的高低與洞離圓心的距離無明顯相關性。雖洞離圓心越遠，洞的轉數越快，但紙盤轉一圈，APP 所偵測進氣數是洞數，所以洞離紙盤圓心的哪個位置無關，但若是洞一組洞數，就須每個洞與圓心的距離相同。

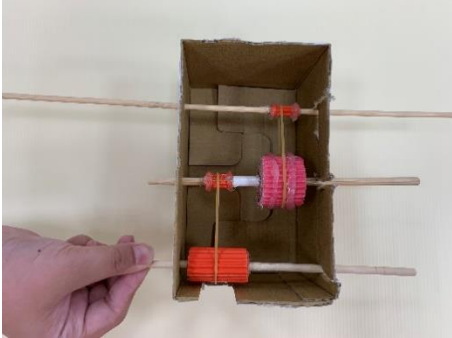
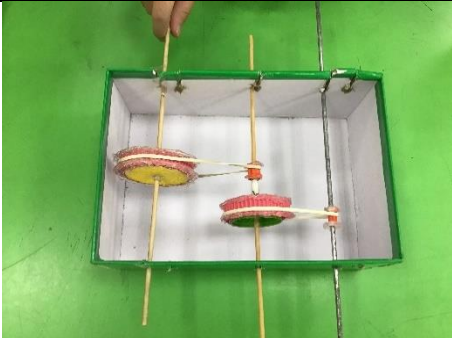
(五)APP-Soundcorset 如何使用?

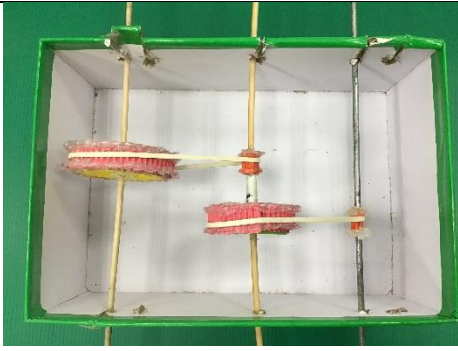
- 1.查閱影片:吉他 APP 調音器的教學影片 <https://www.youtube.com/watch?v=sSQkjbR89mA>
- 2.用烏克麗麗實際調音練習:測試儀器-APP-Soundcorset:設定 440HZ

	
調整琴弦的鬆緊 當 APP-Soundcorset 的唱名代號欄位背景是黑色時，表示這個音是不準確的。	調整琴弦的鬆緊 當 APP-Soundcorset 的唱名代號欄位背景是綠色，且指針區有一個綠色的勾，代表這個音是準確的。

(六)齒輪箱的演進

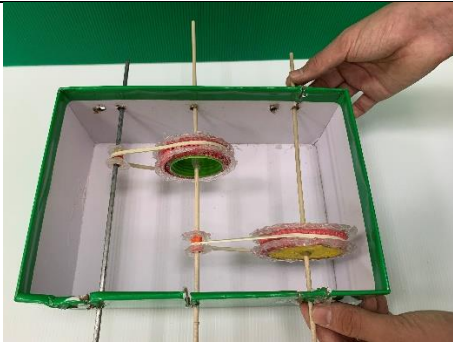
在製造器具時是以學校現有器材設備來提供資源，因齒輪箱是手作器具，所以容易在多次實驗過程中損毀，也會在使用上發現缺陷而需不斷地改良，以下是齒輪箱的演進過程:

	第一代 材料:瓦楞紙、木棒、橡皮筋 二段轉數比 $28:5+28:5 \rightarrow 1:31$ 淘汰的原因: <ol style="list-style-type: none">1.齒輪溝槽太淺，摩擦力不足，導致橡皮筋不動。2.橡皮筋轉久後容易變形鬆脫。3.木棒容易變形彎曲。
	第二代-提高齒輪比-增加齒數 材料:瓦楞紙、木棒、瓶蓋、鐵棒、橡皮筋 二段轉數比 $57:5+48:5 \rightarrow 1:109$ 淘汰的原因: <ol style="list-style-type: none">1.齒輪過重，木棒易歪斜，而使大小齒輪偏移，導致橡皮筋容易脫落。2.齒輪溝槽太淺，摩擦力不足，導致橡皮筋不動。3.橡皮筋使用久後易彈性疲乏，導致無法吻合齒輪間距而轉不動。4.木棒容易斷裂。



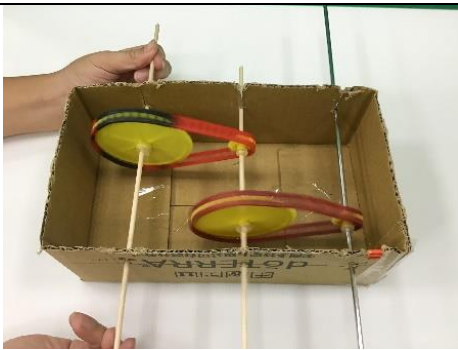
第三代-提高齒輪摩擦力-增加齒輪溝槽
 材料:瓦楞紙、木棒、瓶蓋、鐵棒、橡皮筋
 二段轉數比 $57:7+48:5 \rightarrow 1:77$

淘汰的原因:
 1.木棒歪斜,齒輪無法對齊,導致橡皮筋容易脫落。
 2.齒輪溝槽太淺,摩擦力不足,導致橡皮筋不動。
 3.木棒容易斷裂。



第四代-木棍換新-解決木棍歪斜
 材料:瓦楞紙、木棒、瓶蓋、鐵棒、橡皮筋
 二段轉數比 $57:7+48:7 \rightarrow 1:55$

淘汰的原因:
 1.齒輪溝槽太淺,摩擦力不足,導致橡皮筋不動。
 2.木棒容易斷裂。



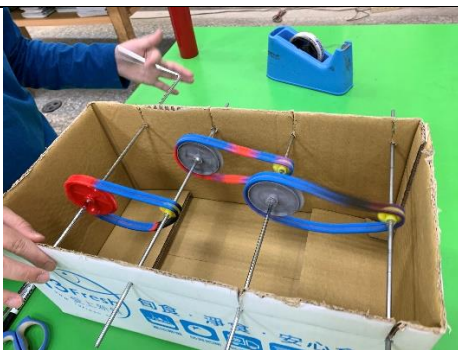
第五代-換齒輪材質-解決齒輪轉不動
 材料:塑膠齒輪、塑膠鍊條、木棒、鐵棒
 二段轉數比 $40:10+40:10 \rightarrow 1:16$

淘汰的原因:
 1.木棒容易斷裂。
 2.齒輪轉速不夠快。



第六代-增加齒數及改變木棒為鐵棒
 材料:塑膠齒輪、塑膠鍊條、鐵棒
 三段轉數比 $40:10+40:10+40:10 \rightarrow 1:64$

缺點:
 1.鍊條容易鬆脫。
 2.齒輪組太重,轉不動。



第七代-改善齒輪組的重量及齒輪外緣寬度
 材料:塑膠齒輪、塑膠鍊條、L型鐵棒
 三段轉數比 $30:10+30:10+30:10 \rightarrow 1:27$

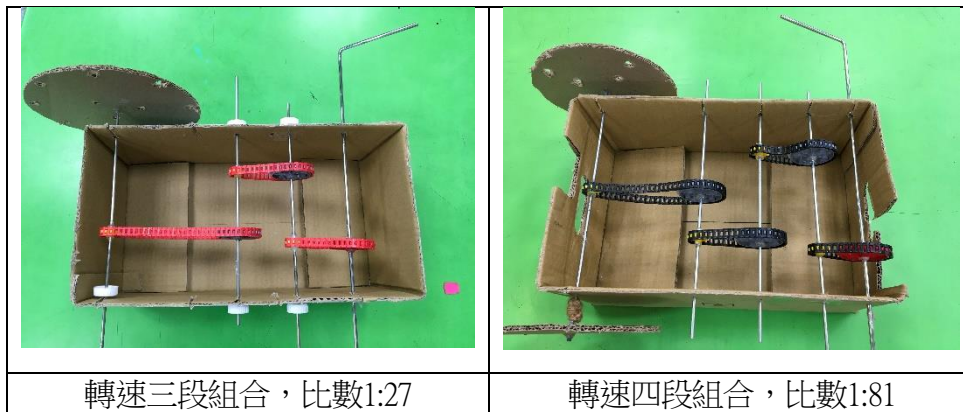
此齒輪組合轉動時噪音小且不易斷鍊,因此 1:81 的轉數比,以此材料擴增為四段轉數比
 $30:10+30:10+30:10+30:10 \rightarrow 1:81$

二、閃靈調音探究的實驗

我們在探究怎樣的轉速組合、音階盤的洞數如何設計、收音器擺放位置的選擇，可以讓準確音階出現的機率提高。

(一) 齒輪箱的配件及轉速比如何選擇可以降低噪音?

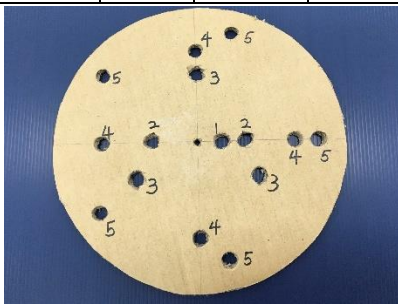
有兩種齒輪箱的組合(參考第七代齒輪箱演進)，齒輪轉速比數1:27及1:81，此兩種組合都可讓齒輪很平滑的轉動、低噪音且不易斷鍊。



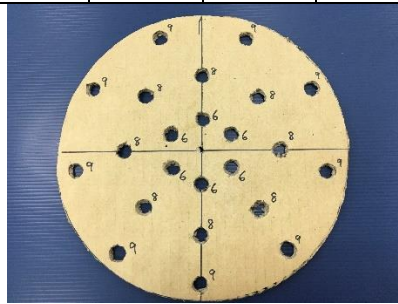
(二) 在三組鍊條齒輪組合，比數 1:27 轉速下，探究音階紙盤的洞數如何設計，可以讓音調穩定呈現?

1.設計1-5個洞數組合的音階紙盤:在半徑11公分內，以360度平分洞數的角度及6-9個洞數組合的音階紙盤:在半徑11公分內，以360度平分洞數的角度。

洞數	1	2	3	4	5	6	8	9
與圓心的距離(公分)	2.2	4.1	5.8	8.2	10.0	3.0	6.8	10.8
相鄰兩洞與圓心的夾角(度)		$360/2 = 180$	$360/3 = 120$	$360/4 = 90$	$360/5 = 72$	$360/6 = 60$	$360/8 = 45$	$360/9 = 40$



第一個音階紙盤1-5洞



第二個音階紙盤6-9洞

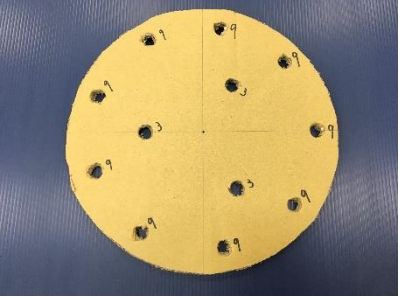
2.由於在前置作業已知洞數不同，音階不同，因此想探討在同一個音階紙盤上，是否可連續呈現多個音階而完成一首兒歌的演奏?

實驗A: 操縱變因是同一個音階紙盤上的3個洞與5個洞，控制變因是齒輪轉速比、氣球的體積、吸管口全開。

實驗B: 操縱變因是同一個音階紙盤上的6個洞與9個洞，控制變因為齒輪轉速比、氣球的體積、吸管口全開。

二次實驗結果都發現轉盤的層別太多，洞與洞間的距離太近，會讓氣球的吹出的空氣相互干擾，使數據呈現變動的狀態。因此改變紙盤洞數設計，在同一紙盤紙設計兩個層別，分別是3洞和9洞。


洞數	3	9
與圓心的距離(公分)	5	10
相鄰兩洞與圓心的夾角(度)	$360/3=120$	$360/9=40$



3洞和9洞

3. 在同一紙盤，二個層別的不同洞數，如何架設收音裝置，可以達到洞數越多，音調越高?

(1)操縱變因是同一個音階紙盤上的3個洞與9個洞，控制變因是齒輪轉速比、氣球的體積、吸管口全開。

			
背景值-相同 3洞-E5和9洞-E5	前段: 3洞-B2和9洞-C4	中段: 3洞-B2和9洞-C3	後段: 3洞-B2和9洞-D4b

觀察與結論:

①3及9洞所呈現的音階沒有固定頻率，無法持續停留在同一音階。

②由於音階紙盤與齒輪箱的空間有限，ipad的收音孔與紙盤擺放角度為銳角，推測兩支氣球所吹出的空氣會相互影響，所以改單音階轉盤來測單洞數的音階。

(2)採單音階轉盤及單洞數，操縱變因是3洞和9洞。此實驗有重複5次以上的實作，實驗結果有規律性，以下呈現其中二組實驗過程:

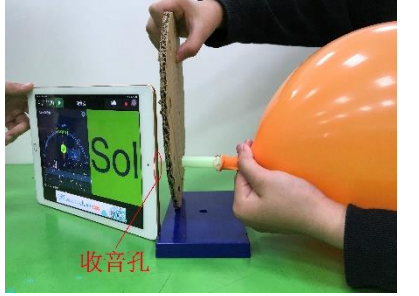

			
背景值-相同 3洞-B2和9洞-B2	前段: 3洞-E1b和9洞-B6b	中段: 3洞-E1b和9洞-B6b	後段: 3洞-E1b和9洞-B6b
			
背景值-相同 3洞-B2和9洞-B2	前段: 3洞-E2和9洞-G6b	中段: 3洞-E2和9洞-G6b	後段: 3洞-E2和9洞-G6b

觀察與結論:

- ①實驗的結果音調多數是穩定的，且洞數多的音高、洞數少的音低。
- ②所以同一個調音紙盤要找出準確音以單層孔測試為佳。
- ③若測試多層孔的音階，則須用多個調音紙盤來測試。

(三)氣球發聲器與收音器擺放位置的相關性

若氣球發聲器與收音器不相互對齊，氣球洩出的空氣會打到音階紙盤，造成紙盤位置移動，轉動軸也跟著移位，齒輪錯位，鏈條會斷裂或滑落，中斷實驗，因此氣球發聲器洩氣時對準洞口，且收音器對準洞口可得到正確的實驗數據。

	
氣球發聲器與收音器不平行 易中斷實驗且產生多個音階	氣球發聲器與收音器相互平行 產生固定音階

綜合以上的實驗結果發現:

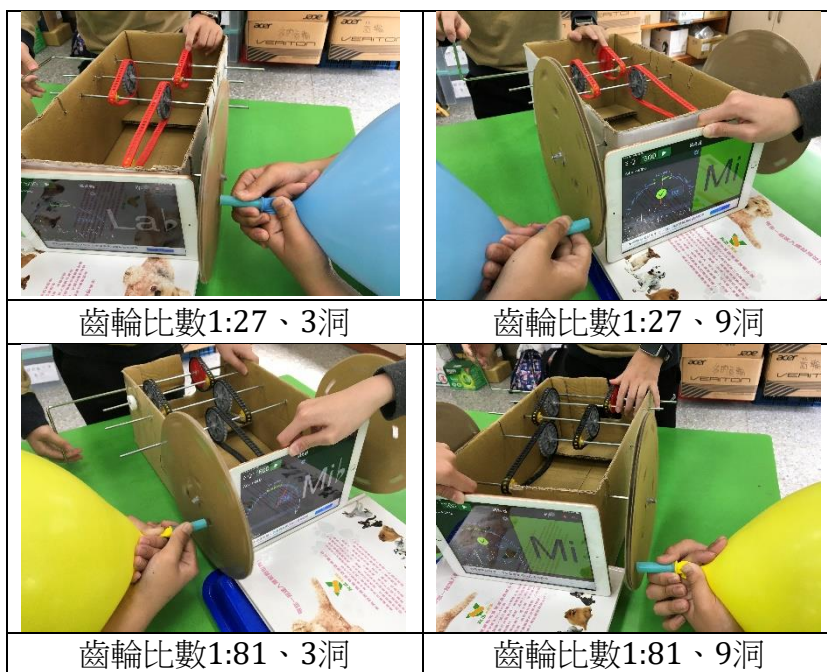
- ①音階盤的層別不能太多，因此設計在半徑11公分的紙盤上有3洞和9洞的兩個層別。
- ②氣球發聲器吹出的氣必須與收音孔平行對齊，收音器才能偵測到穩定的進氣量。

(四)準確音出現的機率

我們已經知道空氣的氣音如何轉換成音階，雖此音階無法用耳朵聽出，而是由APP-Soundcorset顯示唱名，但藉由氣流不斷被轉盤切斷的現象，了解如何藉由空氣振動來產生頻率，我們好奇齒輪轉數比與洞數該如何搭配，可以讓準確音出現的機率提高，因此設計四組實驗，以3洞為洞數少的代表，以9洞為洞數多的代表，齒輪轉數比1:27及1:81，每組實驗重複30次。

名詞	定義
背景音階	齒輪轉速穩定，且氣球洩氣前，用APP-Soundcorset測得的音階
固定音階	氣球充滿氣體(容積900c.c.)，從開始洩氣到沒氣的過程中，音階持續同一個頻率數值
不固定音階	氣球充滿氣體(容積900c.c.)，從開始洩氣到沒氣的過程中，音階有變化且頻率的數值不固定
準確音	APP-Soundcorset出現綠燈
不準確音	APP-Soundcorset出現暗燈

四組實驗的實驗裝置



1.齒輪轉數比1:27，洞數3洞

實驗數據:

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
背景音階	D5	D5	D5	D4b	D5	D5	D4	D5	B2b
準確音階(綠燈)	D5	D5	D5	D5	D5				
不準確音階(暗燈)						E5	E5	E5	E5

次數	10	11	12	13	14	15	16	17	18
背景音階	D3b	D5	A3	D1	D4	D5	D5	D4b	D4b
準確音階(綠燈)						A2			
不準確音階(暗燈)	E5b	G5b	A3	E5b	D4		D5	D4	D4

次數	19	20	21	22	23	24	25	26	27
背景音階	A3b	A3b	B5	B5	B5	B5	B5	D5	E5b
準確音階(綠燈)			B5					D5	
不準確音階(暗燈)	A3b	A3b		B5	G2	B2b	B5		G4b

次數	28	29	30						
背景音階	B2b	D5	B2b						
準確音階(綠燈)		D5							
不準確音階(暗燈)	B5b		E5b						

2.齒輪轉數比1:27，洞數9洞

實驗數據:

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
背景音階	D5	D5	E5b	D1	B1	E5b	E5	E5	G5
準確音階(綠燈)	E5	D5	D1b			D1b			
不準確音階(暗燈)				D1	D4b		A1b	E5	A1

次數	10	11	12	13	14	15	16	17	18
背景音階	B2b	A2	E2	B2b	G2	D5	D5	E5b	B1b
準確音階(綠燈)				B2b		D5			B1b
不準確音階(暗燈)	B2b	A2	E2		G2		E5b	E5b	

次數	19	20	21	22	23	24	25	26	27
背景音階	D5	D5	D5	D5	C4	D5	D5	D5	E5b
準確音階(綠燈)	G1b		D5	D5					
不準確音階(暗燈)		D5			C4	D3b	D5	D5	D3b

次數	28	29	30						
背景音階	A2b	F5	A6						
準確音階(綠燈)	E1b								
不準確音階(暗燈)		B1b	E5b						

3.齒輪轉數比1:81，洞數3洞

實驗數據:

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
背景音階	A4b	A4b	A2	B5	A3	G2	D3b	G2b	G2
準確音階(綠燈)				D4				D4b	E2
不準確音階(暗燈)	C3	A4b	G3b		A3	G2	A3		

次數	10	11	12	13	14	15	16	17	18
背景音階	A5	A5	D5	D5b	A2b	D5b	F4	A2b	D5b
準確音階(綠燈)		D4b	E5b	C4					
不準確音階(暗燈)	D5b				B0	E5	F4	F5	A2

次數	19	20	21	22	23	24	25	26	27
背景音階	C5	D5b	C5	D5b	G5b	B2b	A2b	D3	E2b
準確音階(綠燈)		D5b						D3	
不準確音階(暗燈)	C5		E4	G5b	G5b	B2b	A2b		E2b

次數	28	29	30						
背景音階	D5b	D5	D5						
準確音階(綠燈)	D3								
不準確音階(暗燈)		D5	D5						

4.齒輪轉數比1:81，洞數9洞

實驗數據:

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
背景音階	E5	A1	E5b	F5	E5	B5	D5b	D5	D3b
準確音階(綠燈)	F5								
不準確音階(暗燈)		A1b	A1b	G1	G1	E5	D5b	D5	D5

次數	10	11	12	13	14	15	16	17	18
背景音階	E5b	G2b	D5b	C4	D4b	E5b	C5	C4	F5
準確音階(綠燈)	B1b		D5b					F1	
不準確音階(暗燈)		A1b		C4	D4b	E5b	C5		G1

次數	19	20	21	22	23	24	25	26	27
背景音階	E5b	B0	B0	B2b	E4	E4	G2	E5	C4
準確音階(綠燈)					E4	E4			
不準確音階(暗燈)	E5b	B0	B0	B2b			G2	E5	C1

次數	28	29	30						
背景音階	G2	D6b	E3						
準確音階(綠燈)	G2		E3						
不準確音階(暗燈)		G1b							

四組實驗的總結結果

齒輪轉數	洞數	固定音階次數	不固定音階次數	準確音次數
1:27	3	30	0	9
1:27	9	30	0	11
1:81	3	30	0	9
1:81	9	30	0	8

由以上四組實驗觀察出:

- ①轉數比81比轉速比27出現較多的高音。
- ② 3、9洞所出現準確音的機率相近。

肆、討論

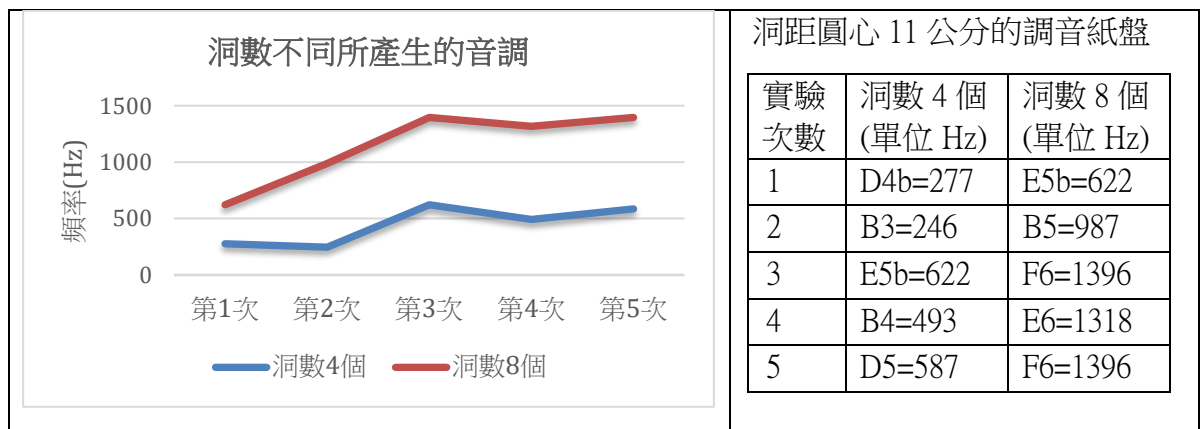
一、我們對實驗裝置設計的雛型可以產生音調的方式有些疑惑點，因此進行以下的實驗探究來釐清問題，以下是對探究的結果所提出的討論：

(一)齒輪轉動與氣球洩氣的聲音如何影響音調？

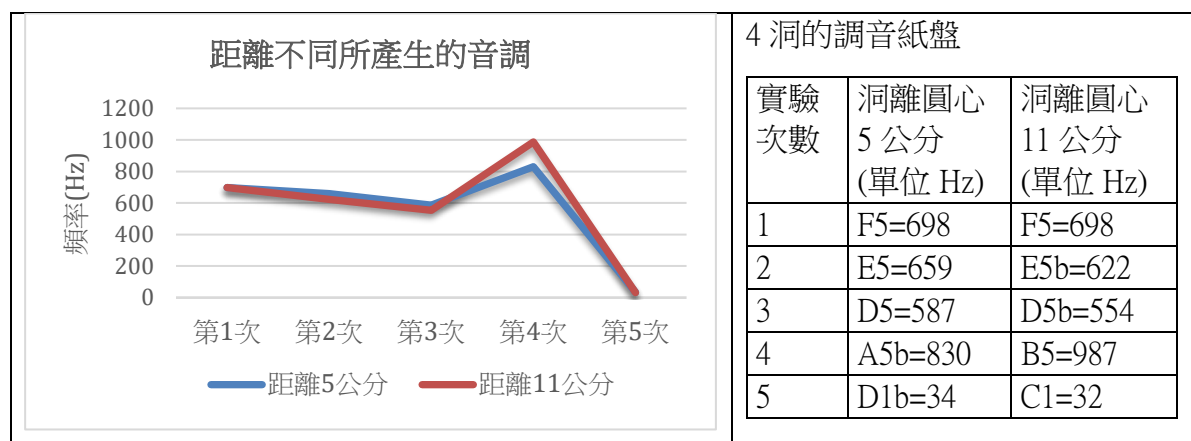
- 1.齒輪轉動的喀喀聲是會影響收音的。鍊條若太鬆，齒輪轉動時沒有聲音，但齒輪轉動時，鍊條易偏離齒數的位置而鬆脫；鍊條若太緊，齒輪轉動時有喀喀聲音，且鍊條轉動時易斷裂。
- 2.齒輪轉動的喀喀聲，我們可藉由調整鍊條的長短來降低，且可列入控制變因，所以不會影響實驗結果。
- 3.氣球洩氣時所發出的噪音是在大吸管的管口沒有對準洞口時，空氣打到調音紙盤所發出的聲音，所以將大吸管的管口對準洞口，就可減少噪音的產生。
- 4.發聲器使用久後，氣球皮層會產生彈性疲乏，氣球洩氣的速度就會有不同，這時就須淘汰，更新實驗器材。
- 5.由於調音紙盤的材料是厚紙板，掛在鐵棒旋轉軸上若摩擦力不夠，轉速常無法與轉軸同步，於是將紙盤用熱熔膠固定在轉軸上。

(二)調音紙盤洞數與位置的設計如何影響音調？

- 1.比較洞數不同、但洞離圓心距離相同時，所測到的音調是不相同的，且洞數愈多，音調愈高。



2. 比較洞數相同、但洞離圓心距離不同時，所測到的音調是相近的，表示洞離圓心的距離影響音調是不明顯的(註:同一層洞離圓心是等距)。



(三)實驗數據的收集方式?

需在齒輪箱兩側掛上音調紙盤的實驗都是等 APP-Soundcorset 的音調相同時，才開始記錄數據，直到氣球洩完氣為止。若是在齒輪箱單側掛上音調紙盤的實驗是等齒輪運轉平順且音調持續穩定時，才開始記錄數據，直到氣球洩完氣為止。

二、改進了調音器的裝置，接下來進行閃靈調音實驗，此實驗是針對如何選配裝置組合可以達到準確音出現的機率最大，以下是我們的討論:

(一)齒輪轉數比的設計

經由齒輪箱的試運轉，我們不斷除錯、修正，在周遭可用的資源下，找到寬版齒輪，長 1 公分的單鏈條，可以組裝成低噪音又可平順運轉的轉動機構。調音紙盤也用熱熔膠固定在轉軸上，以達到紙盤與轉軸同步。

(二)調音紙盤洞數的設計

一片音階盤的洞數不宜區分太多層別，每一層的洞距若太近，有可能轉動音階盤時，氣球的氣會分散至其他層，而導致音調變動。所以一個音階盤只用一至二個層別來做實驗可以有穩定的音調。

(三)氣球發聲器與收音器擺放位置

因 ipad 的收音孔很小，若實驗中有器材晃動，氣球發聲器的空氣會跑出偵測範圍，而導致多個音階出現，所以氣球發聲器吹出的氣必須與收音孔對齊平行，收音器才能偵測到穩定的進氣量。

(四)準確音出現的機率

從數據中推論出高、低轉速及洞數的多或寡，對準確音出現的機率差異不大，都約30%。但我們在實作時，有察覺到當高轉速時，且在氣球洩完氣前，要微調轉速讓準確音階出現，動作需非常快速且精準，所以我們建議，以低轉速搭配多洞數，可提高準確音階出現的機率。

條件	準確音出現的機率
3 洞 27 轉	30%
3 洞 81 轉	37%
9 洞 27 轉	30%
9 洞 81 轉	27%

伍、結論

一、前置作業的實驗結果

- 1.齒輪轉動時，若發出聲音是會影響音調的。
- 2.發聲器的管口全開，且管口對準洞口，氣球洩氣的聲音很微小，不會影響音調的。
- 3.調音紙盤的洞數數量是會影響音調的。
- 4.調音紙盤洞的位置影響音調不明顯，但同一層別的洞離圓心要等距。

二、閃靈調音器的實驗結果

- 1.調音紙盤洞的層別以一紙盤1層別較為適當，層別多會引發亂流，無法呈現單一頻率。
- 2.氣球發聲器與收音孔以相互平行且對齊，進氣量穩定，音階可呈現單一頻率。
- 3.高轉速搭配洞數的多、寡或低轉速搭配洞數的多、寡，呈現準確音的機率約30%。

陸、參考文獻資料

1. 國立台灣師範大學 物理系 黃福坤(1999)。聲音的三要素 —— 響度、音調、音品。
2022 年 11 月 10 日，取自: <https://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/modules/sound/section2.html>
2. Galileo 科學叢書 09 (2020)。單位與定律。新北市: 人人出版社。
3. 2022 第 28 屆遠哲科學趣味競賽-調音高手(校內初賽參考影片)。2022 年 9 月 18 日，取自:
<https://www.youtube.com/watch?v=w3XFdOqZlug&t=229s>
4. 夜雪(2020)。每個人都應該了解的音樂理論。2022 年 11 月 10 日，取自:
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/74547235>
5. 小提琴調音教學#1 - 微調器調音 by 三重帕羅提琴▼豐響弦樂團。2022 年 9 月 20 日，取自:
<https://www.youtube.com/watch?v=5inIQ59Rpqs>

附錄、研究心得

甲同學的心得:

在四年級下學期某天，老師問我要不要加入科展團隊，我聽了科展的工作內容後覺得很有趣，而且聽學長及學姐說，參加科展還可以學到更多課本以外的知識，也等於領先別人一步了解更多的自然科學，因此我就決定和爸爸、媽媽討論，他們覺得加入科展有增廣見聞、認識新朋友及學習團隊合作的好處，加上我對科展很好奇，於是決定要參加這個團隊。

報到的那天，只有我是五年級！其他都是六年級的學長而且他們都互相認識，因此我覺得有些孤單，老師讓我們做科學遊戲競賽來認識彼此，讓我們慢慢熟悉團隊的夥伴。在尋找科展主題時，我不停的想有什麼有趣或奇特的主題，最後我想到 YouTube 上有許多手作類的 YouTuber 會做一些千奇百怪的東西，於是我選了「菲涅耳透鏡」當作主題，但經過和大家討論後，它可以加強和改進的地方太少了，所以挑戰性也就減少了。最後經過大家討論後我們的主題產生了一[調音高手]。

我們在製作器具時遇到了許多麻煩，例如在做齒輪箱時，最初我們用瓦楞紙做齒輪，但效果不太好，因為瓦楞紙的溝槽不深，因此橡皮筋容易鬆脫，經不斷尋找適合的材料，最後找到塑膠齒輪，但需調整鍊條的距離讓它可以不鬆也不緊的平滑轉動，所以不斷的試了又試，花了很多時間找問題點。我們為了要知道在哪個洞數、哪種轉速才能讓準確音出現，所以我們做了 27、81 轉速比的齒輪箱和 3、9、4、8 等洞數的頻片，來一一測試音頻，在快完成整個實驗時，卻發現我們一直都在用擴音孔收音，讓我非常驚訝，心裡想說:慘了!，「太粗心了」，所以我們需重做實驗，重新蒐集實驗數據，於是我們利用放學後、假日來學校做實驗，當時我差點就崩潰了。

在這個實驗當中我每個工作都嘗試，且在團隊合作下，有什麼工作缺人，就需馬上去遞補，讓實驗可以順利進行，像沒人想吹氣球(因為氣球有爆破的風險)，我就會去做；轉齒輪的人手痛了，我會跟他換；拿 ipad 的人手痠了我就接替他的工作，從不同的工作中，我知道每個工作的技巧和辛苦，像拿 ipad 的人要忍住手的痠痛，還不能晃動，轉齒輪的人要保持同樣的轉速，我體驗到每個位置都相當重要，只要有一個環節出錯，實驗的數字就會有所差異，所以在做實驗時要全神貫注，並注意一些小細節，不要出錯，不然會導致實驗重做的後果。

我喜歡我的夥伴，跟他們在一起讓我覺得很自在、很開心，他們也教我很多做實驗的秘訣，我覺得團隊裡的每個人如果沒有好好的互相合作、幫忙，那麼實驗的效率就會變慢，而使得很多研究做不完，所以我覺得夥伴之間的合作是很重要的。雖然在製作、實驗、探究時常常會遇到很多麻煩和困擾，但我們還是會互相幫助、一起尋找答案，在面臨實驗重做時，我們也絕不放棄直到最後。在這團隊中不僅讓我學到更多知識外，我也獲得了許多寶貴的經驗，所以我覺得我加入科展的選擇是對的。

乙同學的心得:

今年是我第二次參加科展團隊，雖然是新團隊、新夥伴，但是自己還是要把分內的事做好，而且我今年還是以學長的身分參賽，就覺得自己應該要有所準備才行。所以在開學前，我就已經有先做一些準備工作了，例如說先上網找之前有得名的作品，分析他們得獎的原因，讓自己可以更快速的找到題目，而且老師還讓我們先做一些活動來認識彼此也培養默契，開學後展開找主題的任務，我在 YouTube 找到有趣的主题:【水車】，但可惜沒成功選上，因為我們覺得水車很容易製作，且也沒討論出可做哪些延伸的應用。而我們找到一部影片覺得很有趣，所以我們最後的主题就訂為調音高手了。

由於有做科展的經驗，所以實驗的主要目標很快就訂好了，實驗過程中我們持續更新器材，從第一代到第二代...箱子越變越大，棍子從木棍變成鐵棍，齒輪也換了不同型號。我們也從混亂的實驗數據中，懷疑還有問題點，經由查證資料及測試，讓我們找到正確的操作方式，使實驗數據有了規律性。雖然改了非常多的東西，但現在的實驗變得更方便操作，每個人也從不斷試做中找到自己適合的工作，讓我們的效率提高不少，實驗數據也更加完整。我也發現當改變一項實驗過程相關的內容，就須往前檢視以前的實驗結果，需要重做實驗也成了家常便飯，雖重做實驗時難免會感到厭倦、不高興，但解開問題的癥結，得到新發現，當下的感受真的是文字難以描述的。

剛開始的實驗難免會失誤，花了很多時間、試了很多方法還是會沒找到合理的結果，心裡難免會擔心、生氣，但在過程中也會發生一些搞笑的事，例如：實驗過程中需將氣球打氣，但是等氣球皮層彈性疲乏時就容易爆炸，我們成員裡面有一個很容易被嚇到的，當他被嚇到時，我們就會互換工作，讓夥伴不再害怕。當我們的實驗超前進度時，也會休息一下，放鬆心情，讓教室不會那麼安靜無聲、氣氛凝重。我們實驗做得愈久默契就越好，所以現在到了實作時間，也不用老師說，馬上動作，夥伴間也使個眼神就知道要如何相互配合了。

我們還需寫報告書的內容，雖然事情很多，但現在我可以對自己的實驗內容倒背如流，在現場比賽時跟評審講解時就不易慌張，能輕鬆應對，比起第一次加入科展時，我勇敢多了，而且現在不僅可以把自己的事做得很好，還能帶領五年級的學弟。因為有加入科展的機會，我才能有如此豐富的收穫，所以很感謝讓我參加這次科展的指導老師，也很謝謝這次跟我合作的夥伴們。

丙同學的心得：

我參加過奧林匹亞科學團隊，也喜歡自然科學，老師邀請我參加科展團隊時，我想可以學到更多自然科學的知識，同時家人也贊成我加入，於是我決定參加科展團隊。

老師要我們每個人都提出一個主題。我絞盡腦汁的思考有什麼主題適合我們？我從 YouTube 的手作影片查到自製喇叭的資料，與同學們討論後，我們選了磁生電的主題，但經過幾次實作後，雖然有產生電壓，但電壓值太小，無法應用在生活上，只好暫停這個提議。於是大家決定把我查的喇叭資料和調音高手結合，但調音高手產出的是音頻所以研究擴音的部分去除，最後我們以[調音高手]為主題。

在實驗流程中，我覺得齒輪間距的調整是最困難的，因齒輪旋轉的流暢度與鍊條的數量有關，但鍊條的數量不容易確定，需靠實作來探究。開始做齒輪箱時，我們不熟悉原理，也沒深入了解關鍵因子，常因齒輪間距沒有調整好，導致齒輪無法轉動。等我們解決齒輪可以轉動，又發現鍊條常會掉鍊，讓鍊條可以順暢轉動了，又發現速度不夠快.....，雖考驗一直一直來，我們永不放棄直到完成一個最好用的齒輪箱。

在調音紙盤上挖洞也是件不容易的事，起初我們不注重洞的大小及位置，實驗時無音頻產生，我們覺得很奇怪，經與同學討論，認為需要割出平整的洞，因紙盤上的洞大小(會影響氣通過的量)與距離(會影響音的頻率)都有相同的重要性，我們終於找到了關鍵因子，實驗終於可以繼續了.....。

由於重新找主題，有進度的壓力，且我們想在寒假前讓實驗盡快完成，團隊就一直快馬加鞭認真做實驗，大家分配工作且排定實驗流程，該扶平板的扶平板，該轉齒輪的轉齒輪，連假日都來學校做實驗，好不容易達到進度，可以安心放寒假，沒想到在寒假後有大魔王等著我們：沒找出正確 ipod 收音孔的位置，於是整個實驗要再重頭做一次。雖需重做實驗，也讓我們更熟悉整個理論與流程。

在團隊中，我體會到許多做事方法，如：做事前要先思考如何計劃步驟，想到做法不要魯莽行動、資料要用科學的方法來量化，不能用感覺來代替數據.....，在科展期間，我

和同學工作在一起也玩在一起，讓我們成為好朋友，且實驗過程中若有人累了，我們還會交換工作，讓夥伴減輕工作負擔，這樣的舉動讓我覺得很溫馨。我覺得團隊很重要，如果沒有夥伴的相互幫忙，這次實驗可能很難達成。

丁同學的心得:

這是我第二次參加科展，去年因疫情的關係，沒機會看到科展正式的比賽現場，能繼續加入科展團隊，我很高興。

暑假期間，老師為了讓我們更了解科展，出了一份作業—「閱讀前幾屆全國科展的得名作品的讀後心得」。開學後進入我認為最困難的階段—尋找研究主題，因為要找一個符合不用花費太多金錢、不需要太長時間的等待、不要傷害小動物、可在生活中應用等因素的主題，並不是一件簡單的事。而我當時想到的是跟電有關的主題，因為現在大家很注重環保，所以我就在網路上查了很多有關於綠能發電的資料，例如磁生電、水果發電的資料。但最後還是因無法再做其他延伸，且應用也無法做的比市面上的商品好，所以暫停了這個主題，雖然很可惜，但最後我們選出與聲音和頻率有關的主題，也是很值得去研究的。

我們的實驗主要是在高轉速的調音片上挖洞，並利用氣球所發出的風經過洞所造成的振動發出聲音。實驗器材中的齒輪箱因為損耗、不符合實驗條件等因素遭到多次改良。我們進行實驗的方法是先將裝上調音頻片的齒輪箱固定在桌上，之後將氣球打氣打到最大且不易破的程度，再對著運轉中齒輪箱的調音頻片放氣，在放氣的過程中再用 i-pad 的應用程式 soundcorst 來收音，以 soundcorst 所顯示的資料作為數據。在觀察數據的過程中，我們發現數據多半不符合邏輯，後來查了資料，又請教專業人士，發現我們將 i-pad 的收音孔位置和喇叭的位置搞混了，所以我們的實驗數據才會如此奇怪。在這實驗的過程中，我的腦袋裡也不斷產生各式各樣的疑問，曾經想過是不是 i-pad 的 APP 不準?是不是理論哪裡有漏洞?是不是教室裡的雜音太多，影響收音?後來我覺得遇到問題時，若換個角度思考，比較容易找出問題的答案。

換以收音的孔洞重做實驗時，發現收音孔很小，我們想要可以精準的收到音頻，所以將收音孔連上麥克風的裝置來做實驗，但是實驗的數據都在 1000 以上的頻率，我們懷疑麥克風有放大頻率的效果，經查證資料，發現麥克風內有電磁體裝置可以放大音量，我們只好放棄此方法，繼續小心的做實驗，蒐集原始的數據(因收音孔很小，怕收音有誤差)。

在這次做科展的過程中，我開始慢慢發覺【團隊合作】的重要，以前我總是不喜歡團隊合作，我總是覺得在團隊裡很多的事情都要受到約束，都要配合很麻煩，像是以前參加夏令營的時候，只要有人要上洗手間就要全隊等他，但現在我終於了解團隊的重要，萬一哪天我是去上廁所的那個人，我也希望他們等我。我在這次科展中學到了很多東西，我也要感謝我的夥伴及指導老師，謝謝他們和我完成這一屆的科展。

戊同學的心得:

加入科展團隊以來，從我們彼此不熟悉，經由小活動培養彼此的默契，到相互合作完成實驗和數據蒐集的每一天，都很忙碌。

我們的研究主題是從一部影片得來的靈感，影片中他們使用紙箱和紙板做出齒輪箱和調音頻片，並使用 app soundcorset 作為調音裝置去進行實驗，我們就想:如何做出最完善的裝置讓各種不同的音可以出現。

我最擅長的是製作調音頻片，調音頻片的洞要割好，就要畫出吸管的管徑的大小後，打穿紙板再割洞，這樣一來洞就很圓且平整，氣球的氣就可藉由吸管吹出洞外，雖然我做調音頻片的速度沒有很快，但每次要重做調音頻片時，夥伴們都會想到我，我覺得很開心。

在團隊中什麼事都要會做，不會就要學習，我做的齒輪轉動軸上的齒輪很容易鬆脫，後來同學告訴我「齒輪的中心點也要黏在棒子上，不是只黏齒輪外圍」，我照著做時，果然齒輪不易鬆脫許多，我也越做越上手，和以前不一樣了。

蒐集實驗數據時要隨時注意 **ipad** 是否有對準洞口，要是 **ipad** 沒有對準調音頻片，會出現很多音階，造成實驗數據有誤差，實驗就要重做。氣球的膜要觀察是否變薄，要是沒有注意，氣球就很容易爆掉，除了會嚇到夥伴外，還需補充器具設備，實驗重做。

初期的實驗，我們用瓶蓋夾緊調音頻片，發現實驗次數一多，瓶蓋會鬆，影響轉速，但轉速是控制變因，所以我們將調音頻片用熱熔膠黏在鐵棒上。後來又發現找錯收音孔的位置，重做了每項實驗，雖然很累，但我們發現，每個實驗的音頻可以持續固定一個音，表示我們的實驗步驟是對的，解開了我們大家疑惑點，讓我們非常開心。

這次的科展讓我學到了很多科學的知識與事情的處理方法。在科展的初期我常不知道要如何做事，而處在被動狀態中，被指派任務後，也常沒把事情做的很完整，老師就會告訴我事情該如何做，然後我再重做一次，我一點一點地慢慢進步，到科展後期，我變得越來越會操作實驗步驟和分析數據，也變成很有自覺地知道接下來該做的事是什麼了，當實驗出了問題，我也知道要以什麼方式解決，總之，在科展期間我有著非常大的進步與突破，我很喜歡做科展，有許多歡樂，我很開心。