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：國中組

作品名稱：以肯特管探討降噪耳機對耳內壓力之影響

關 鍵 詞：肯特管、破壞性干涉、壓力感測

編號：

摘要

本實驗利用肯特管模擬降噪耳機的原理，探討戴上降噪耳機時的不適感是否由壓力變化產生。我們在肯特管內進行雙聲源的破壞性干涉，以保麗龍球的波漣變化為指標，以及壓力感測器與 Arduino 系統進行壓力感測，有以下幾個發現： 一、在肯特管內使用的保麗龍球顆粒越小重量愈輕，產生出的波漣效果較明顯；使用保麗龍球的量較少時，基準高度較低，觀察到的波漣高度較明顯。二、利用木板作為反射面時，肯特管兩端皆為節點；而利用保鮮膜作為反射面時，喇叭端為節點，開口端為腹點。三、以雙聲源在肯特管內產生破壞性干涉時，管內保麗龍球無波漣形成，於特定波程差位置會有最低的壓力變動幅度(接近完全破壞性干涉)。四、須適當調整兩聲道輸出比例，才能達到最接近完全破壞性干涉的效果。五、以肯特管模擬降噪耳機結構進行破壞性干涉，會造成壓力變動幅度下降約 86%，此現象暗示可能會造成內耳壓力受器失調，使大腦產生誤判，進而產生使用降噪耳機時，所產生的不適感。

壹、前言

一、研究動機

降噪耳機是現在很普遍的商品，但有許多人反應在使用時耳內會產生耳鳴、耳悶、頭暈等不適感。我們猜想這樣的不適感是否與聲波干涉時的壓力變化有關。降噪耳機原理是利用一個與噪音相位相反的聲波，去對噪音進行破壞性干涉，進而達到消除噪音的效果。

在上課時，老師有利用「肯特管」讓我們觀察聲波的波漣，因此我們認為可以利用肯特管這個裝置來具象化聲波的干涉現象，並利用壓力感測器去測量破壞性干涉時的壓力變化，以驗證降噪耳機引起不適感的原因。

二、文獻回顧

文獻一 Standing Sound Waves (Longitudinal Standing Waves)	1. 節點與腹點是一整個管子的截面。 2. 位於節點周圍的空氣分子正不斷的做有週期性的聚集與分散，使節點的壓力變化為最大值。 3. 位於腹點周圍的空氣分子密度保持不變，使腹點的壓力變化為最小值。
文獻二 探討肯特管內共振聲波的氣壓變化	1. 以肯特管呈現聲波的波漣變化。 2. 利用壓力感測器測量肯特管內聲波共振時的壓力變化。

三、研究目的

(一) 探討影響肯特管內波漣高度的因素

1. 保麗龍球顆粒大小對波漣高度的影響
2. 保麗龍球的使用量對波漣高度的影響
3. 反射面材質對波漣的影響

(二) 利用壓力感測器尋找基頻與節點位置

1. 利用壓力感測器尋找基頻
2. 利用壓力感測器尋找節點位置

(三) 以雙聲源在肯特管內行破壞性干涉呈現降噪耳機原理

1. 利用保麗龍球波漣情形調整雙聲源能量輸出比例
2. 尋找接近完全破壞性干涉的波程差
   (1) 以保麗龍球的波漣變化尋找
   (2) 以壓力感測器尋找

(四) 探討在接近完全破壞性干涉時，肯特管內的壓力變化與降噪耳機之關聯性

參、研究設備及器材

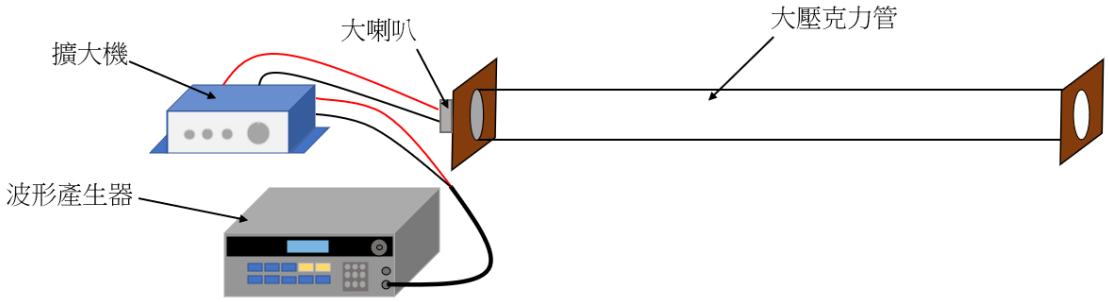
波形產生器*1	擴大機*1	102cm 透明壓克力管 (內徑 9cm)*1 (大壓克力管)	19cm 透明壓克力管 (內徑 5cm)*1 (小壓克力管)
6Ω12w 52mm 喇叭 *1 (小喇叭)	4Ω15w 90mm 喇叭 *1 (大喇叭)	保麗龍顆粒	Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器*1
相機	方格紙	18 目篩網	電腦
Arduino 程式	皮尺	保鮮膜	腳架

肆、研究過程、研究結果及討論

實驗一、影響肯特管內波漣高度的因素

實驗裝置圖：

圖 1-1

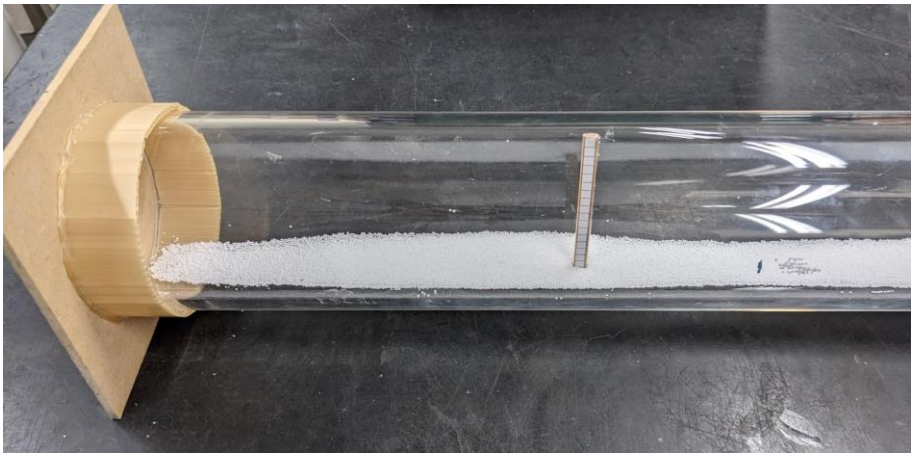


實驗一-1 保麗龍球顆粒大小對波漣高度的影響

實驗步驟：

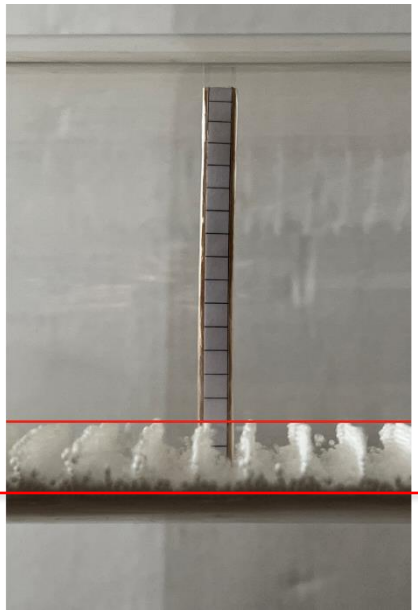
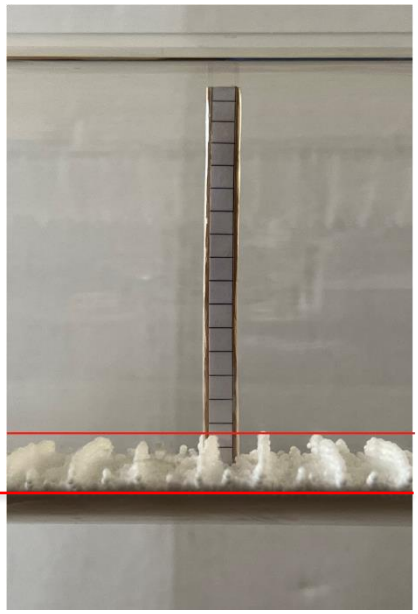
1. 取一內徑 9cm、長 102cm 的透明壓克力管，在壓克力管一端裝上 15 瓦喇叭，如圖 1-1。
2. 保麗龍球以孔徑 1mm 篩網(18 目)過篩，區分為：(1)大顆粒：直徑>1mm；(2)中顆粒：直徑=1mm；(3)小顆粒：直徑<1mm。
3. 分別把固定量但顆粒大小不同的保麗龍球放入肯特管中，並使用刻度為 0.5cm 的高度尺置於管中央作為波漣高度量測依據。
4. 波形產生器輸出振幅為 2Vpp，擴大機音量開至最大極限，量測在相同條件(第一泛頻=335Hz、振幅*)下，其波漣在腹點的高度(如圖 1-1-1)。結果記錄於表 1-1-1。

圖 1-1-1



實驗結果：

表 1-1-1

小顆粒(直徑<1mm)	中顆粒(直徑=1mm)	大顆粒(直徑＞1mm)
波漣高度：約 1.5cm	波漣高度：約 1.0cm	波漣高度：約 0.8cm
		

結果與討論：

由表 1-1-1 結果可知，小顆粒(直徑<1mm)保麗龍球波漣高度 ＞中顆粒(直徑=1mm)保麗龍球波漣高度 ＞大顆粒(直徑＞1mm)保麗龍球波漣高度 ，我們推測可能是因為小顆保麗龍球重量較輕，所以在固定能量下可達到更高的高度，因此為了方便觀察，之後的實驗皆會使用直徑小於 1mm 的保麗龍球來操作。

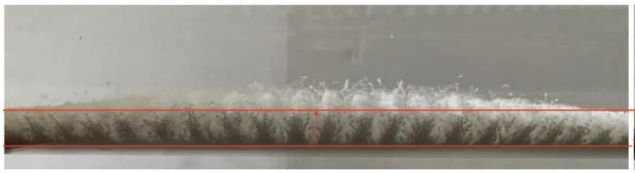
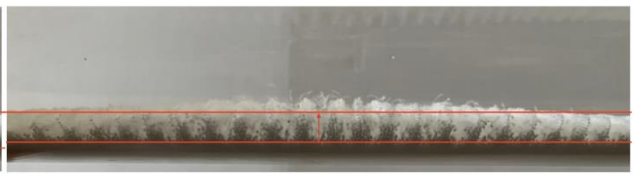
實驗一-2 保麗龍球的使用量對波漣高度的影響

實驗步驟：

1. 實驗裝置如圖 1-1。
2. 使用精密電子天平秤量 5.00g 與 10.00g 的小顆粒保麗龍球(直徑接<1mm)，分別放入壓克力管內。
3. 裝置操作方式同實驗一-1，將波形產生器的頻率調至第一泛頻 336Hz 後，觀察並記錄波漣在腹點的高度變化。

實驗結果：

表 1-2-1

5g 保麗龍球	10g 保麗龍球
	
5g 波連高度變化：10g 波連高度變化 = 1.18 ： 1	

結果與討論：

由實驗結果可知，在 336Hz 時 5g 保麗龍顆粒的波漣效果較 10g 的波漣效果明顯 1.18 倍。我們推測可能是因為肯特管在 336Hz 達到共振時，其波漣在腹點的高度為一定值，若共振前的基準高度較高，則觀測到的波連高度增加將較不明顯。因此，10g 的保麗龍顆粒由於量較 5g 多，導致共振前的基準高度較高，觀測到的高度增加較少。所以，之後的實驗皆會使用較少的 5g 保麗龍球以便觀察。

實驗一-3 反射面材質對波漣的影響

實驗步驟：

1. 實驗裝置同實驗一-1。

2. 在另一端分別利用木板(硬材質)及保鮮膜(軟材質)作為反射面如下表 1-3-1。

3. 兩種材質的泛頻計算公式說明如下：

   (1) 利用當天氣溫(T)，計算聲速(V) $V=331+0.6T$…公式一

   (2) 駐波產生時，管長(L)和波長(λ)需滿足以下關係：

   a.兩端封閉(木板)： $\lambda = 2L/n \wedge n \in N$…公式二

   b.一端開放一端封閉(保鮮膜)： $\lambda = 4L/(2n-1) \wedge n \in N$…公式三

   (3) 把 n=1, 2, 3, 4……，L = 1.02m 帶入得到波長(λ)，再經由 $f=V/\lambda$ 可得各泛頻(f)…公式四

   (4) 以兩端封閉為例：

   實驗當天 T=19°C ，則 V=342.4m/s…公式一

   肯特管長度為 1.02m，推算基頻時的波長(λ)為 2.04m…公式二

   因此基頻(f)大約為 168Hz…公式四

   第一泛頻(f)大約為 336Hz…公式四

   第二、三泛頻以此類推。

   (5) 以一端封閉一端開放為例：

   實驗當天 T=19°C ，則 V=342.4m/s …公式一

   肯特管長度為 1.02m，推算基頻時的波長(λ)為 4.08m…公式三

   因此基頻(f)大約為 84Hz…公式四

   第一泛頻(f)大約為 248Hz…公式四

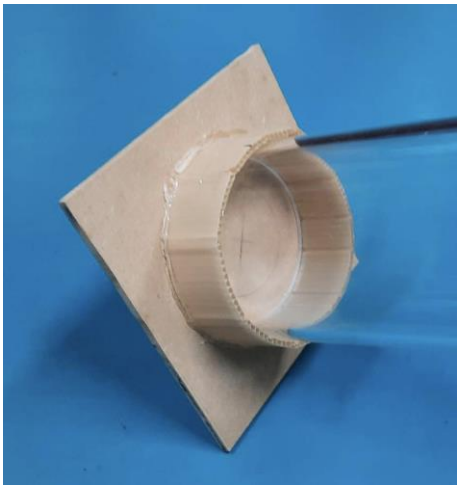
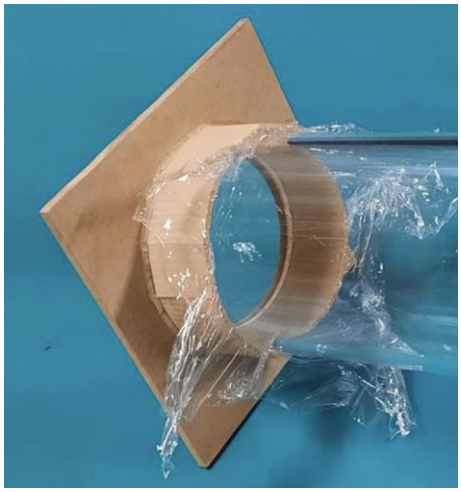
   第二、三泛頻以此類推。

4. 根據步驟 3-(4)及 3-(5)，在各泛頻的理論值周圍利用保麗龍球的高度與共鳴聲調整為實際上形成駐波的頻率。

5. 將波形產生器的頻率調至該反射面材質所對應的各泛頻後，觀察並記錄節點與腹點的數量與位置。(以正弦函數擬合的方式，決定節點與腹點的數量與位置)

6. 將步驟 5 的結果紀錄於表 1-3-2 及表 1-3-3。

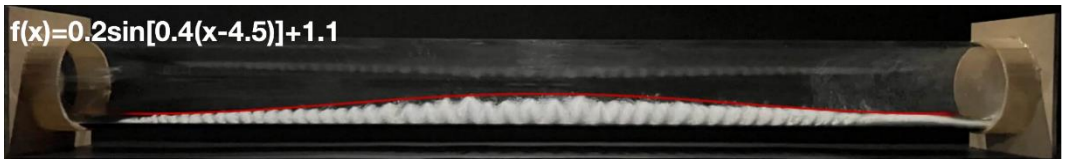
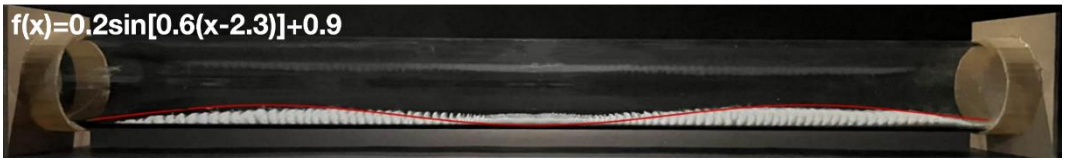
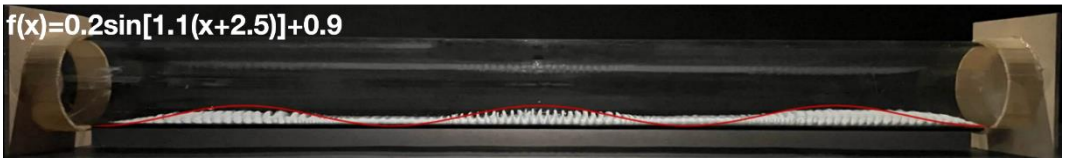
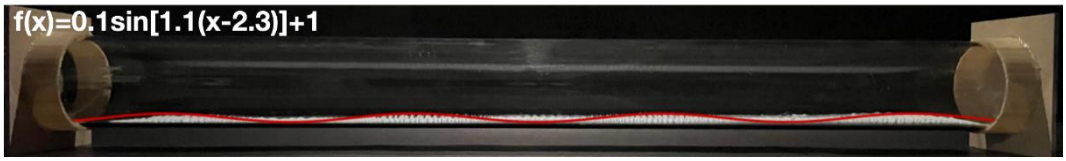
表 1-3-1

利用木板作為反射面	利用保鮮膜作為反射面
	

實驗結果：

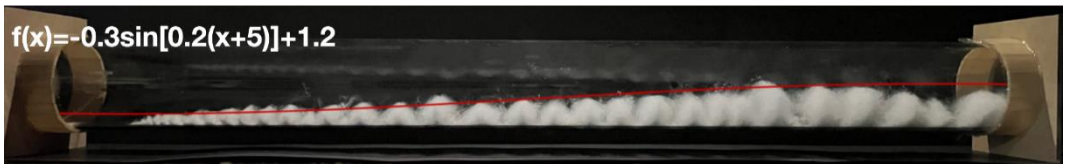
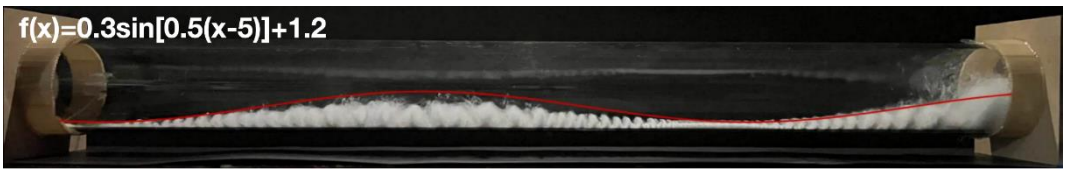
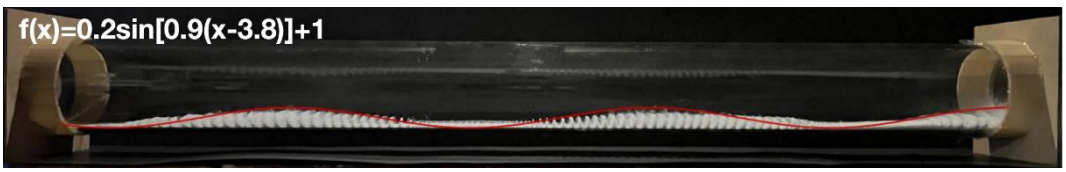
利用木板作為反射面

表 1-3-2

基頻 (168Hz)	
第一泛頻 (336Hz)	
第二泛頻 (504Hz)	
第三泛頻 (671Hz)	

利用保鮮膜作為反射面：

表 1-3-3

基頻 (104Hz)	
第一泛頻 (248Hz)	
第二泛頻 (401Hz)	
第三泛頻 (562Hz)	

結果與討論：

由表 1-3-2 與表 1-3-3 我們觀測到，表 1-3-2 的喇叭端和反射面端皆為節點，而表 1-3-3 的喇叭端為節點，反射面端為腹點。

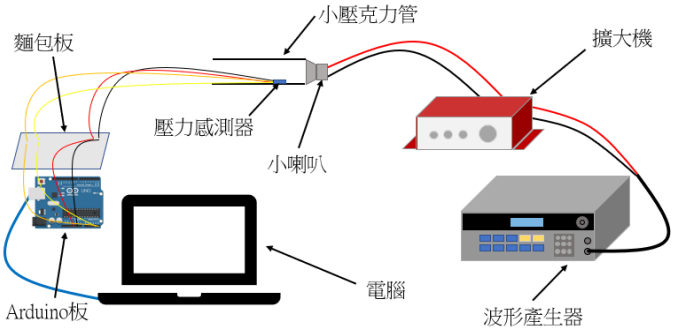
我們推測，可能是因為當利用木板作為反射面時，肯特管為一兩端封閉的空氣柱，而利用保鮮膜作為反射面時，肯特管為一個一端封閉，一端開放的空氣柱。

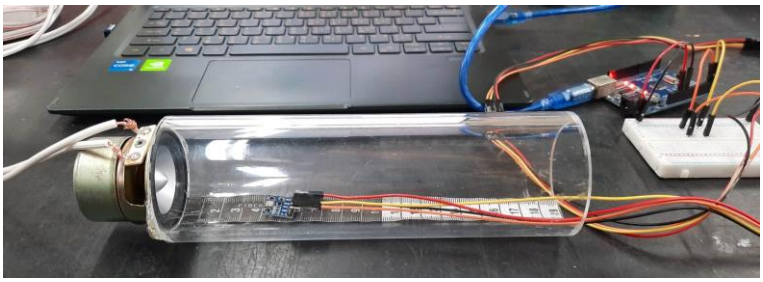
為了模擬降噪耳機在運作時對耳內壓力變化的影響，因此選擇利用材質與耳膜較為相似的保鮮膜作為反射面。

實驗二、利用壓力感測器尋找基頻與節點位置

實驗裝置圖：

圖 2-1

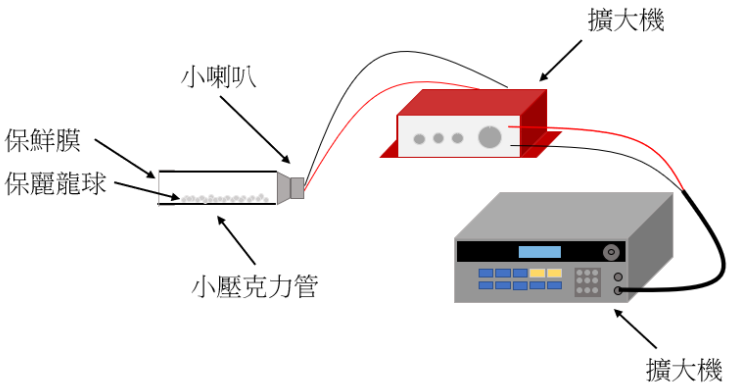




實驗二-1、利用壓力感測器尋找基頻

實驗裝置圖：

圖 2-1-1



實驗步驟：

1. 將保麗龍球置於管中，並以保鮮膜將開口端封閉，再將波形產生器、擴大機及小壓克力管如上圖 2-1-1 的方式組裝。

2. 推算基音頻率：

   (1) 利用當天氣溫(T)，計算聲速(V)。 (V=331+0.6T…公式一)

   (2) 在基頻下，管長(L)和波長(λ)滿足以下關係：L= λ/4…公式二

   (3) 將聲速(V)除以波長(λ)即可得基頻(f)。(f=V/λ…公式三)

   (4) 舉例：

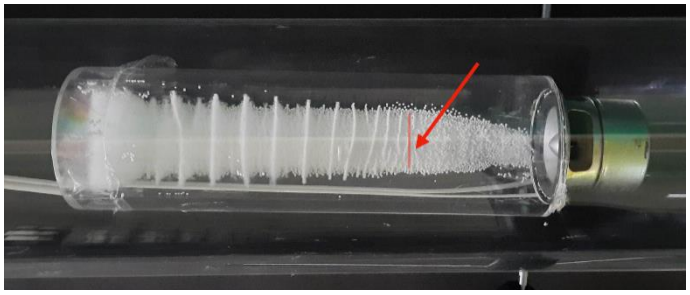
   實驗當天 T=19˚C ，則 V=342.4m/s …公式一

   小壓克力管長度為 0.19m，推算波長為 0.76m…公式二

   因此基頻大約為 450Hz…公式三

3. 根據步驟 2-(4)，在 450Hz 的周圍用保利龍球的高度與共鳴聲量判斷出接近真實基頻的一個範圍。

4. 確認節點位置： 因為節點的壓力變化量最大[1]，為方便觀察，這裡我們選擇量測節點的壓力來決定基音的頻率。預期同樣在節點的位置下能夠產生最大壓力變動幅度的頻率即為基音的頻率。目測節點的位置是以接近最後一個波漣(紅線處)，而沒有波漣的位置(箭頭尖端)作為推測之節點位置。



5. 移除保鮮膜，取出壓克力管內的保麗龍球。將壓力感測器放在接近節點的位置。

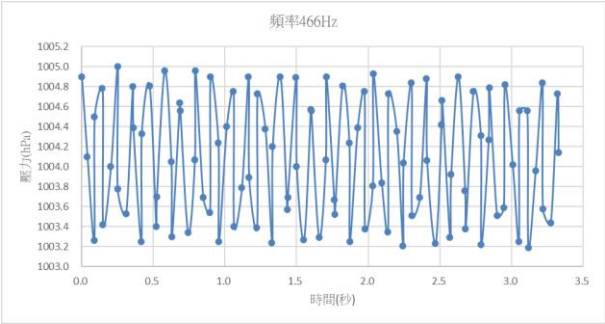
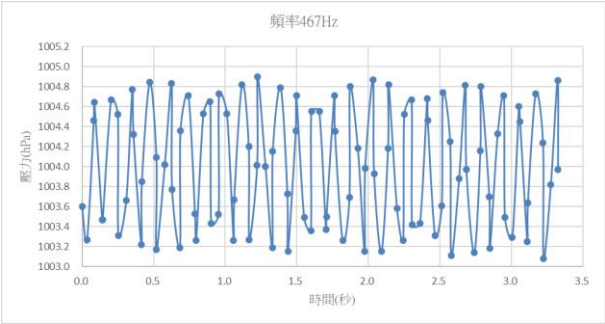
6. 設定 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器的原始程式碼，以一秒 30 筆資料的速度量測壓力。

7. 黏貼皮尺於小壓克力管中，並將壓力感測器模組置於步驟 4 目測的節點處， 如圖 2-1。

8. 將 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器連接電腦，並分別在接近真實基頻的範圍中各取 100 筆數據紀錄。

實驗結果：

表 2-1-1

	
前 10%平均值： 1004.93 hPa 後 10%平均值： 1003.24 hPa 壓力變動幅度： 1.69 hPa	前 10%平均值： 1004.84 hPa 後 10%平均值： 1003.15 hPa 壓力變動幅度： 1.69 hPa

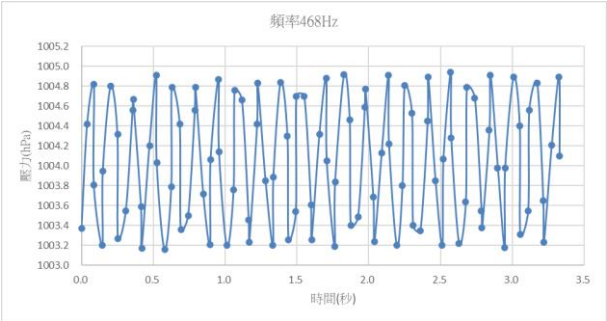
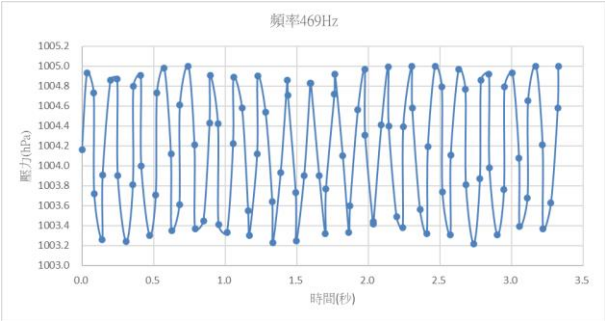
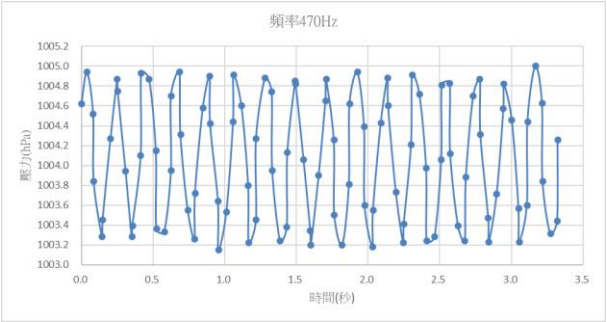
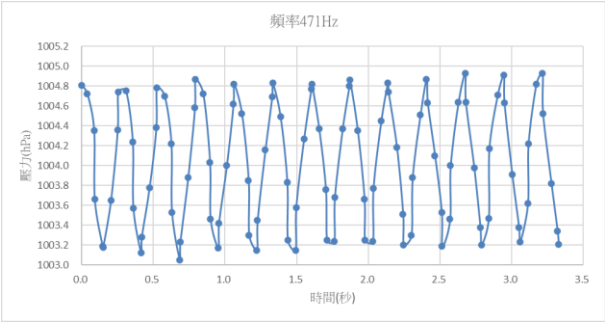
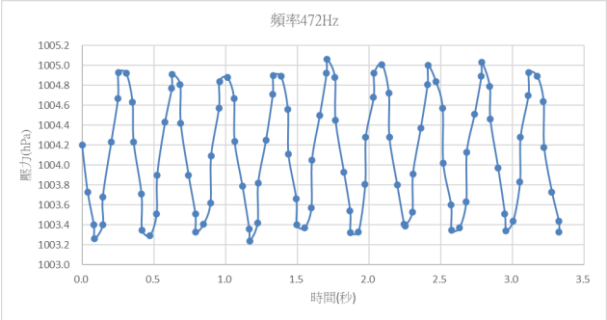
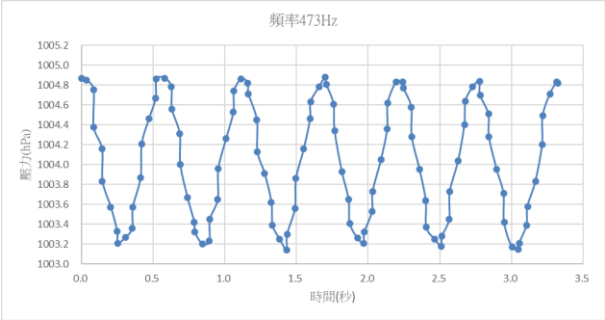
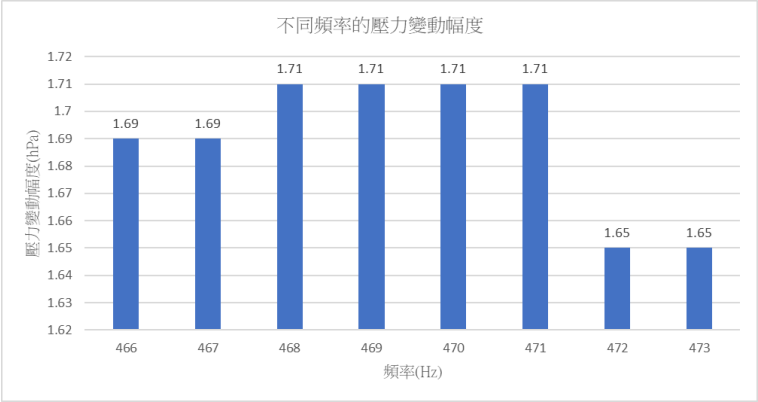
	
前 10%平均值： 1004.90 hPa 後 10%平均值： 1003.19 hPa 壓力變動幅度： 1.71 hPa	前 10%平均值： 1004.98 hPa 後 10%平均值： 1003.27 hPa 壓力變動幅度： 1.71 hPa
	
前 10%平均值： 1004.92 hPa 後 10%平均值： 1003.21 hPa 壓力變動幅度： 1.71 hPa	前 10%平均值： 1004.87 hPa 後 10%平均值： 1003.16 hPa 壓力變動幅度： 1.71 hPa
	
前 10%平均值： 1004.96 hPa 後 10%平均值： 1003.31 hPa 壓力變動幅度： 1.65 hPa	前 10%平均值： 1004.85 hPa 後 10%平均值： 1003.20 hPa 壓力變動幅度： 1.65 hPa

圖 2-1-2



結果與討論：

1. 根據以上的實驗結果(表 2-1-1)，我們發現在頻率為 466Hz~473Hz 的範圍內，量測到的氣體壓力均呈現來回振盪的變化。由於行進波與反射波疊加時，除了節點以外的位置均會在原地進行來回振盪的簡諧運動，因此其周圍的空氣也將進行具有週期性的聚集與分散，所以我們量測到的空氣壓力會隨時間呈現來回振盪的變化。

2. 從圖 2-1-2 中，我們可以發現在頻率為 468~471Hz 時，壓力變動幅度最大。由於駐波形成時，能量會被限制在節點之間無法向外傳遞出去，空氣分子在原地進行聚集與分散最為劇烈。因為 468Hz~471Hz 的壓力變動幅度差異甚小，因此我們取此範圍的中間值(470Hz) 進行後續的實驗。

3. 為何 468Hz~471Hz 的壓力變動幅度差異甚小？我們推論，可能是因為壓力感測器的量測極限速度跟不上壓力變化的速度，實際上壓力變化可能更快，不是以秒為單位在變化的，因此我們的器材測量不到。

實驗二-2、利用壓力感測器尋找節點位置

實驗步驟：

1. 調整波形產生器的輸出頻率至實驗二-1 得到的基頻(470Hz)。

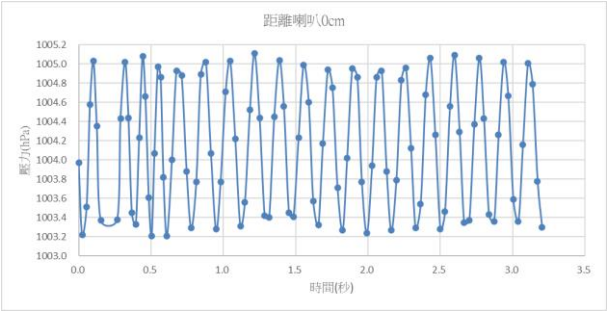
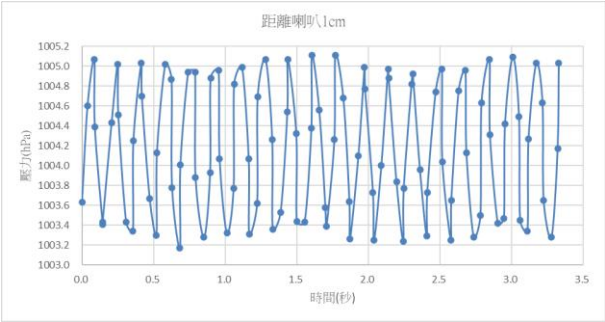
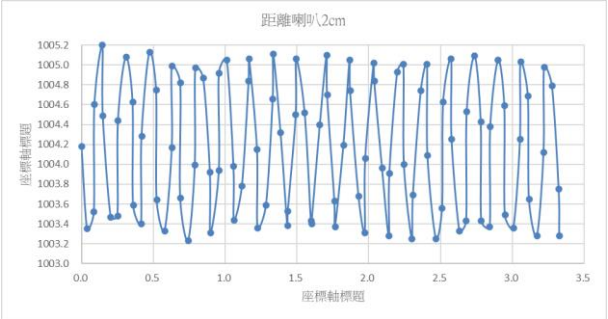
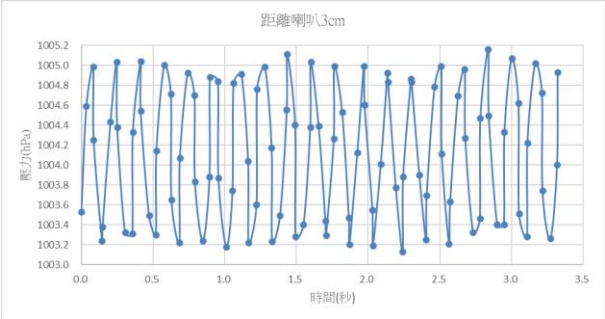
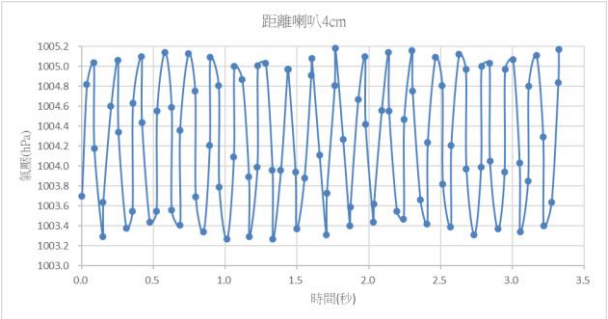
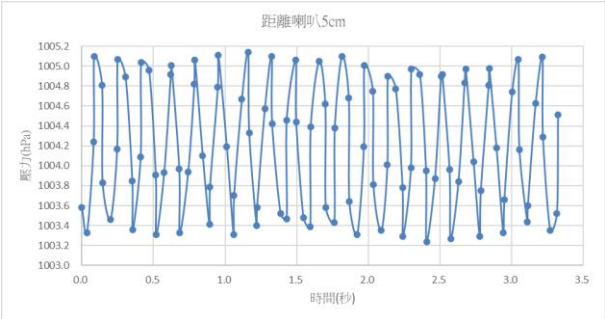
2. 修改 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器的原始程式碼，以一秒 30 筆資料的速度量測壓力。將 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器連接電腦並分別量取小壓克力管內距離喇叭目測節點處(距離喇叭 3cm)與距離目測節點±3 公分處(距離喇叭 0~6cm)的壓力變化值，如圖 2-1。

3. 在各點分別測量 100 筆壓力。

4. 將步驟 4.之數據及結果紀錄於表 2-2-1。

實驗結果：

表 2-2-1

	
前 10%平均值：1005.05 hPa 後 10%平均值：1003.26 hPa 壓力變動幅度：1.79 hPa	前 10%平均值：1005.07 hPa 後 10%平均值：1003.26 hPa 壓力變動幅度：1.81 hPa
	
前 10%平均值：1005.09 hPa 後 10%平均值：1003.29 hPa 壓力變動幅度：1.80 hPa	前 10%平均值：1005.04 hPa 後 10%平均值：1003.21 hPa 壓力變動幅度：1.83 hPa
	
前 10%平均值：1005.14 hPa 後 10%平均值：1003.35 hPa 壓力變動幅度：1.79 hPa	前 10%平均值：1005.09 hPa 後 10%平均值：1003.30 hPa 壓力變動幅度：1.79 hPa

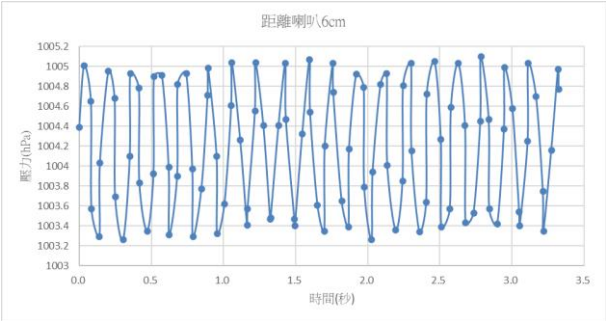
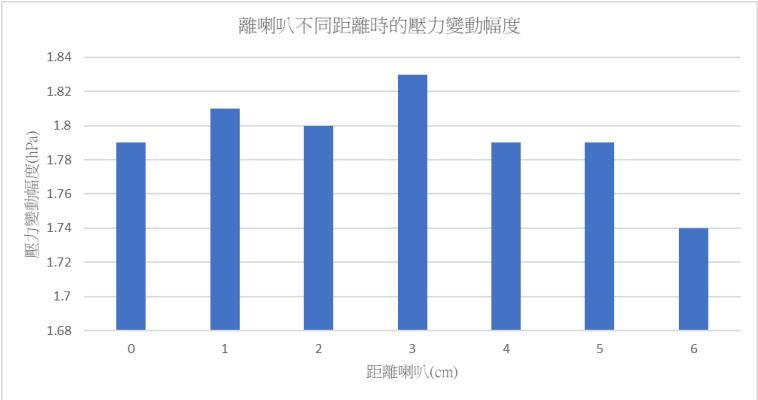
	
前 10%平均值：1005.05 hPa 後 10%平均值：1003.31 hPa 壓力變動幅度：1.74 hPa	

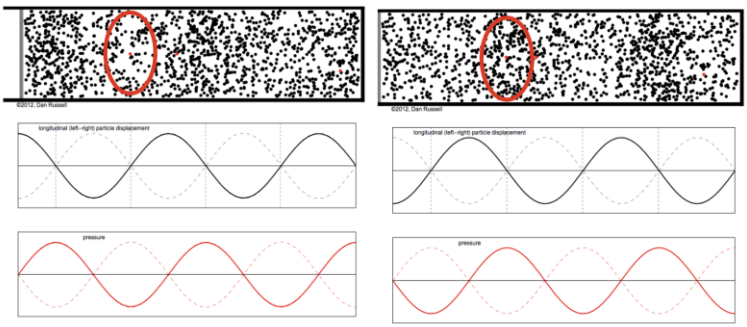
圖 2-2-1



結果與討論：

因節點周圍的氣體分子正不斷聚集與分散[1]，如圖 2-2-2 中標記的紅點，因此導致其壓力變動幅度最大，根據表 2-2-1 的實驗結果可觀測到，距離喇叭 3cm 處的壓力變動幅度最大(如圖 2-2-1 所示)，因此可推測節點位於距離喇叭 3cm 處。

圖 2-2-2 (文獻 1)

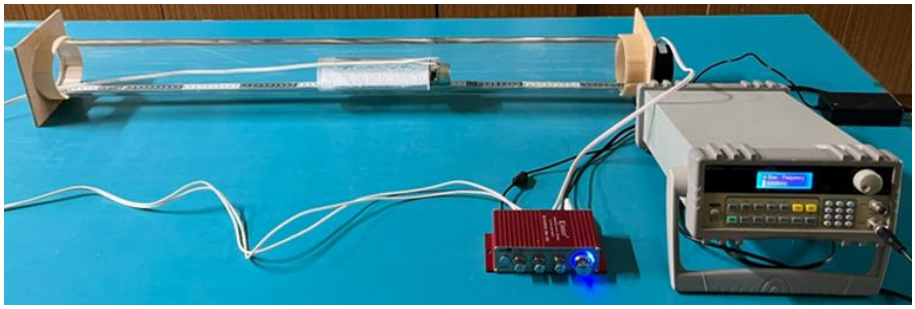


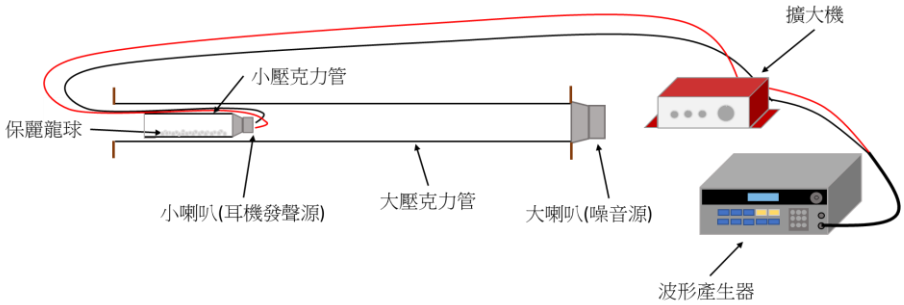
實驗三、以雙聲源在肯特管內行破壞性干涉呈現降噪耳機原理

實驗三-1 利用保麗龍球波漣情形調整雙聲源能量輸出比例

實驗裝置圖：

圖 3-1-1





實驗步驟：

1. 計算波程差

   (1) 當兩聲源達完全破壞性干涉時，其波程差(d)和波長(λ)須滿足以下關係： $d=(2n-1)\lambda/2 \wedge n\in N$。

   (2) 故可計算出達完全破壞性干涉時的各種波程差。

   (3) 舉例：

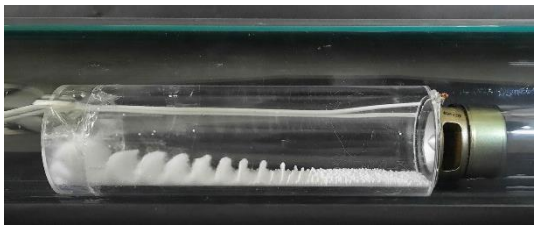
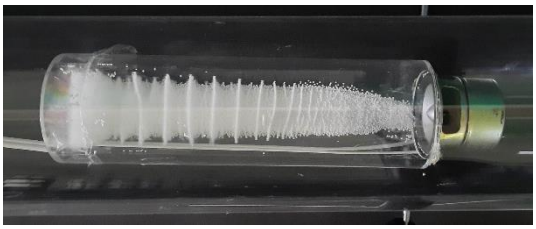
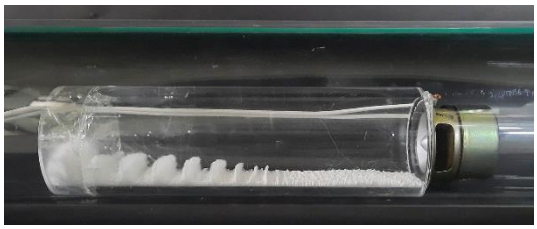
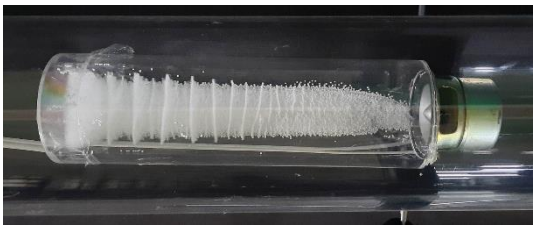
   根據實驗二-1 的結果，計算出基音頻率下的波長 λ 為 0.72m
   將波長 λ 和 n=1 代入可得 d=0.36m=36cm。
   即兩聲源相距 36cm 時，將發生第一次完全破壞性干涉。

2. 取一內徑 9cm、長 102cm 的透明壓克力管(以下簡稱大壓克力管)。
3. 在大壓克力管一端裝上 15 瓦喇叭，模擬使用降噪耳機時外界的噪音源。
4. 取一內徑 5cm、長 19cm 的透明壓克力管(以下簡稱小壓克力管)，模擬耳道。
5. 在小壓克力管一端裝上 12 瓦喇叭，模擬耳機發聲源。另一端以保鮮膜作為反射面，模擬耳膜材質。

6. 將小壓克力管管口與大喇叭之間的距離調整為計算的波程差(36cm)，如圖 3-1-1。
7. 觀察在不同聲源影響下，波漣形狀的變化，並拍照記錄實驗結果。

實驗結果：

表 3-1-1

	側視圖	俯視圖
只開大喇叭		
只開小喇叭		
兩個喇叭都開		

結果與討論：

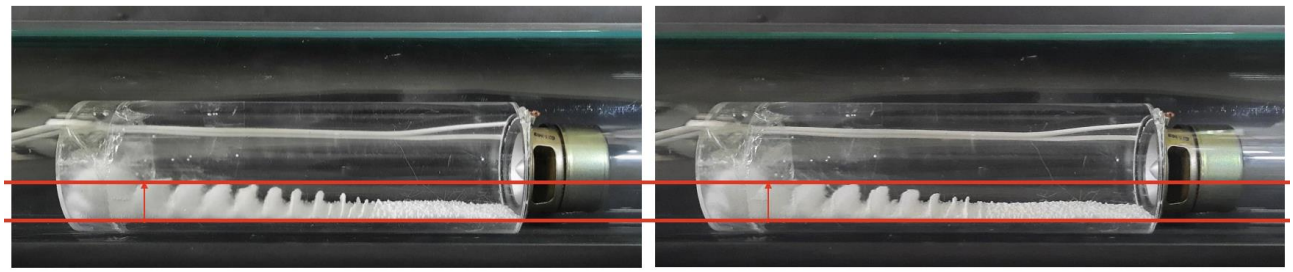
1. 實驗開始前我們把兩喇叭輸出的能量調整為相同並進行了實驗，卻發現此時肯特管中仍有明顯的波漣(圖 3-1-2)。我們推測是因為大喇叭離肯特管較遠，因此大喇叭的能量會在傳遞到小壓克力管的過程中有所散失，所以實際上管中接收到兩喇叭的能量比例並不相同，即使相位差相反，但由於振幅的差異導致管中的保麗龍球仍有明顯的波漣。因此，為了使兩喇叭的能量在小壓克力管中相等，需適當調整兩喇叭輸出的能量比例，如圖 3-1-3。

圖 3-1-2 (兩喇叭輸出能量相同相等)

圖 3-1-3 (兩喇叭輸出能量不同，大喇叭>小喇叭)

2. 在調整過後的能量比例下，當兩個喇叭皆開啟時，雙聲源在管中發生了破壞性干涉，相位差大致相反且振幅約略相同，因此會接近完全抵消，保麗龍球呈現靜止。而當我們只開啟其中一個喇叭時，肯特管中的會再次有波漣形成，如表 3-1-1 結果所示。
3. 此外，在調整過後的能量比例下，若單獨開啟一個喇叭，則小壓克力管所接收到的能量應相等，因此可解釋為何只開大喇叭與只開小喇叭的整體波漣高度相同，整理如圖 3-1-4 所示。

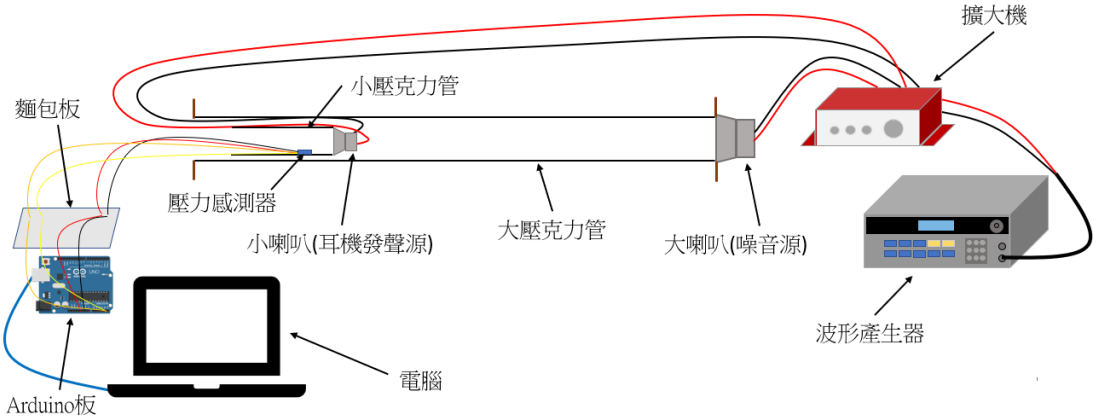
圖 3-1-4 (右： 只開大喇叭、左： 只開小喇叭)

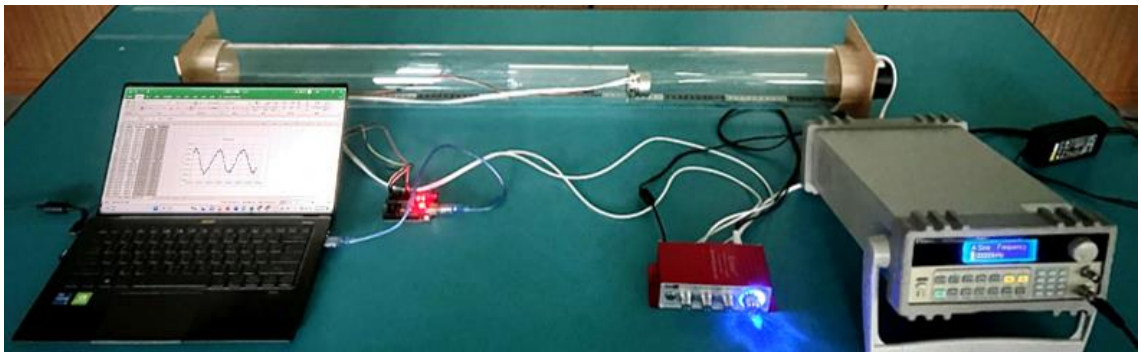


實驗三-2 尋找接近完全破壞性干涉的波程差

實驗裝置圖：

圖 3-2-1





實驗步驟：

(一) 以保麗龍球的波漣變化尋找

1. 將小壓克力管管口與大喇叭之間的距離調整為計算出的波程差附近，

   如圖 3-1-1 所示。

2. 開啟兩喇叭，以相同頻率輸出，輸出能量比例依據實驗 3-1。

3. 觀察當兩喇叭放置在計算出的波程差附近，管中的保麗龍球波漣變化情形。

4. 將實驗結果記錄於表 3-2-1。

(二) 以壓力感測器尋找

1. 將壓力感測器放在實驗二-2 所測得的節點上(3cm)。
2. 將小壓克力管管口與大喇叭之間的距離調整為計算出的波程差附近，
   如圖 3-2-1 所示。
3. 開啟兩喇叭，以相同頻率輸出，輸出能量比例依據實驗 3-1。

4. 修改 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器的原始程式碼，以一秒 30 筆資料的速度量測壓力。
5. 將 Arduino BMP180 GY-68 連接電腦，分別在計算出的波程差附近測量 100 筆壓力。
6. 只開啟大喇叭，重複步驟 1.2.4.5。
7. 在各個波程差重複進行三次實驗，並將三次的壓力變動幅度下降率*計算平均，整理於表 3-2-2~3-2-5 及圖 3-2-2。

註：

(1) 壓力變動幅度：肯特管中的壓力隨時間變化，取壓力變化的前 10%極大值與後 10%極小值之差值作為壓力變動幅度。

(2) 壓力變動幅度下降率=(A-B)/A*100% (以下簡稱“下降率”)

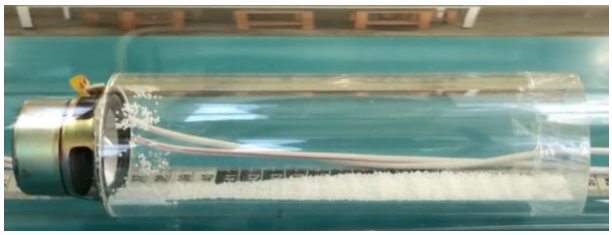
A： 只開大喇叭時，肯特管中壓力變動的幅度

B： 兩個喇叭都開時，肯特管中壓力變動的幅度

實驗結果：

(一) 保麗龍球波漣變化：

表 3-2-1

35cm	36cm
	
37cm	38cm

(二) 壓力變化：

表 3-2-2 (波程差 35cm)

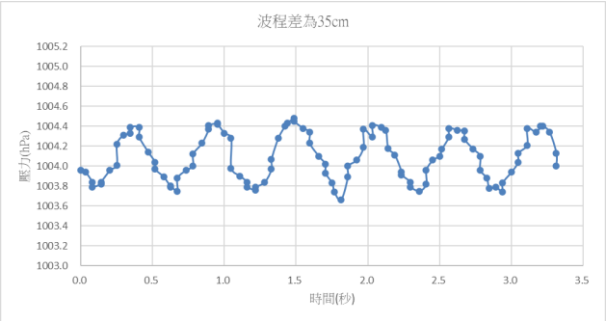
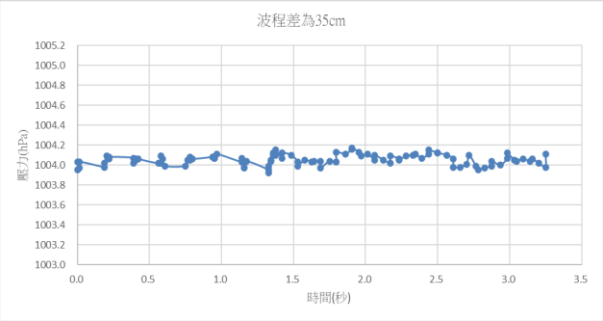
只開大喇叭	兩個喇叭都開
 前 10%平均值： 1004.42 hPa 後 10%平均值： 1003.76 hPa 壓力變動幅度： 0.66 hPa	 前 10%平均值： 1004.14 hPa 後 10%平均值： 1003.96 hPa 壓力變動幅度： 0.18 hPa
下降率 72.72%	

表 3-2-3 (波程差 36cm)

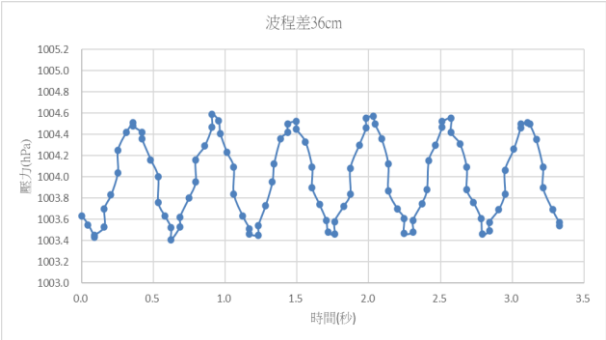
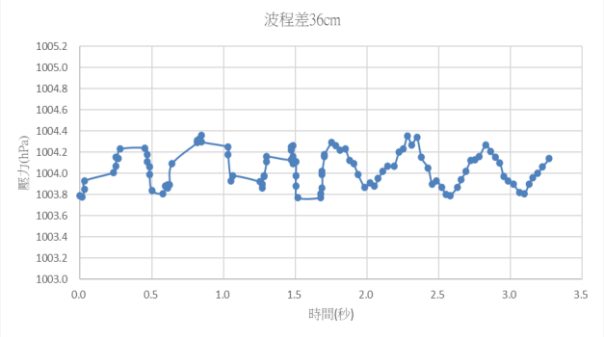
只開大喇叭	兩個喇叭都開
 前 10%平均值： 1004.54 hPa 後 10%平均值： 1003.46 hPa 壓力變動幅度： 1.08 hPa	 前 10%平均值： 1004.31 hPa 後 10%平均值： 1003.80 hPa 壓力變動幅度： 0.51 hPa
下降率 52.78%	

表 3-2-4 (波程差 37cm)

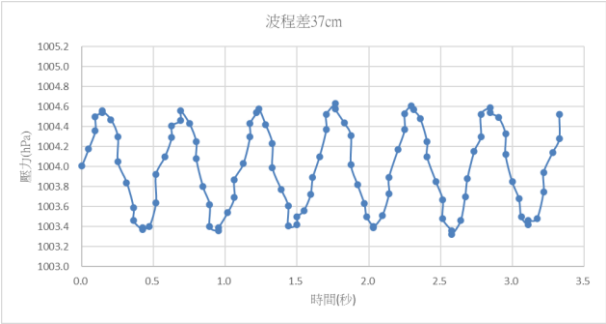
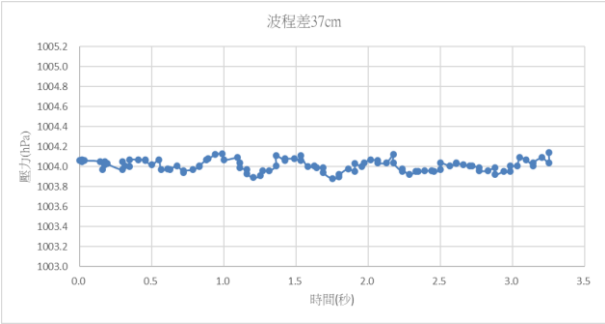
只開大喇叭	兩個喇叭都開
 前 10%平均值： 1004.58 hPa 後 10%平均值： 1003.38 hPa 壓力變動幅度： 1.20 hPa	 前 10%平均值： 1004.11 hPa 後 10%平均值： 1003.92 hPa 壓力變動幅度： 0.19 hPa
下降率 84.17%	

表 3-2-5 (波程差 38cm)

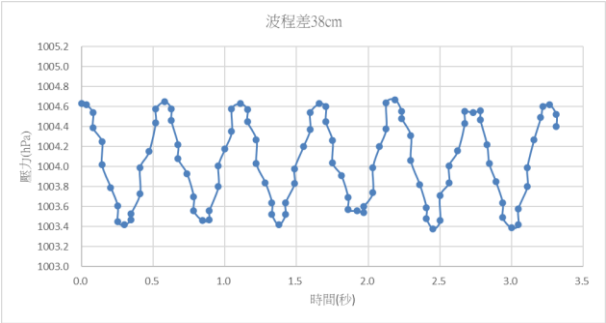
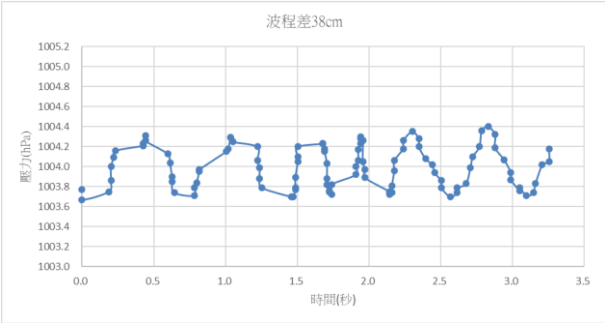
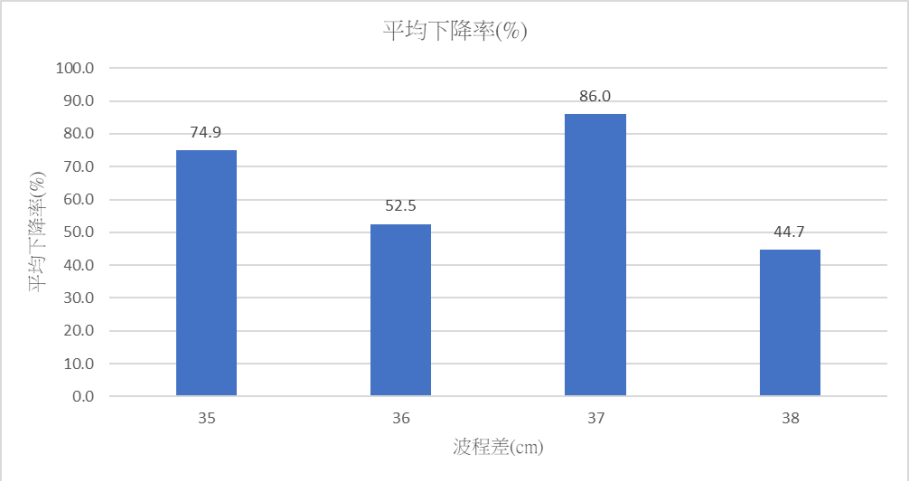
只開大喇叭	兩個喇叭都開
 前 10%平均值： 1004.63 hPa 後 10%平均值： 1003.42 hPa 壓力變動幅度： 1.21 hPa	 前 10%平均值： 1004.39 hPa 後 10%平均值： 1003.71 hPa 壓力變動幅度： 0.68 hPa
下降率 43.80%	

表 3-2-6 壓力差下降率(%)

波程差(cm) / 實驗次數	35cm	36cm	37cm	38cm
第一次實驗	72.7%	52.8%	84.2%	43.8%
第二次實驗	73.9%	50.5%	85.1%	46.2%
第三次實驗	78.0%	54.3%	88.6%	44.0%
平均下降率	74.9%	52.5%	86.0%	44.7%

(註：原始實驗數據於附錄呈現)

圖 3-2-2 平均壓力差下降率



結果與討論：

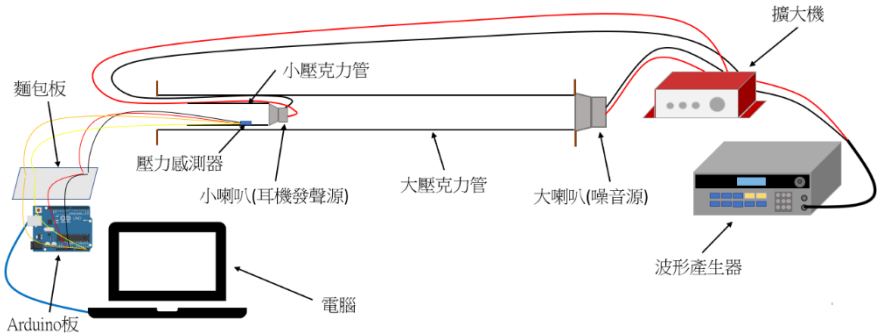
首先我們以觀察肯特管內保麗龍球的波漣來決定接近發生完全破壞性干涉的波程差。但在波程差為 35cm~38cm 時，管中保麗龍球皆呈現 幾乎靜止的狀態，如表 3-2-1，不易分辨接近達完全破壞性干涉時確切的波程差。因此我們決定進一步用壓力感測器測量破壞性干涉前後管內節點處的壓力變化，來決定接近達到完全破壞性干涉時的波程差。我們預期接近達到完全破壞性干涉時，原先空氣壓力變動幅度將會有明顯的下降，造成管中保麗龍球呈幾乎靜止的狀態。

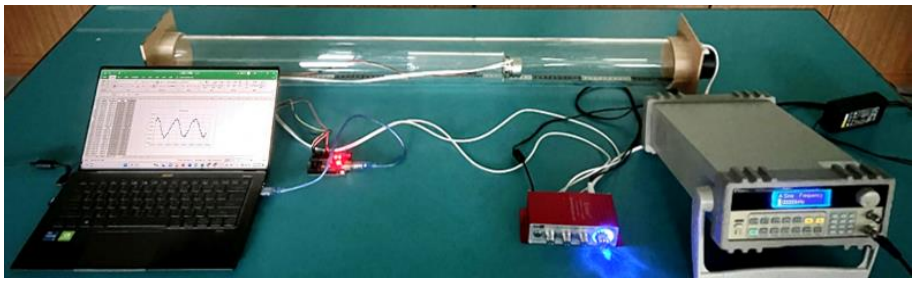
從表 3-2-2~3-2-5 可以發現，兩個喇叭都開啟時的壓力變動幅度相較於只開大喇叭時皆有明顯的下降，如同我們的預期：破壞性干涉發生時，空氣分子的聚集與分散將減緩。而其中，波程差為 37cm 時壓力變動幅度的下降率最大，整理如圖 3-2-2 所示。就平均下降率來看，波程差為 37cm > 35cm > 36cm > 38cm，因此可推測當兩聲源相距 37cm 時，將為最接近形成完全破壞性干涉的波程差。所以後續我們選用 37cm 作為雙聲源的波程差，繼續探討降噪耳機對耳內壓力變化的影響。

實驗四、探討在接近完全破壞性干涉時，肯特管內的壓力變化與降噪耳機之關聯性

實驗裝置圖：

圖 4-1



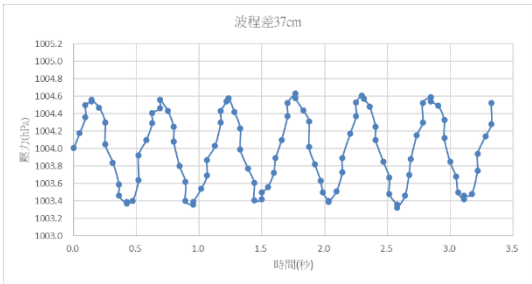
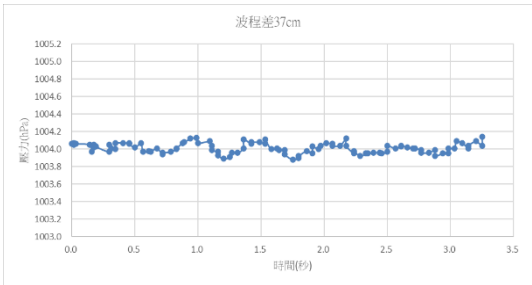
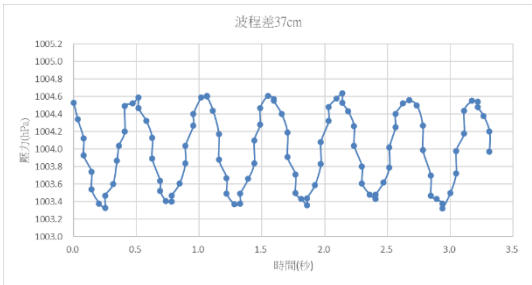
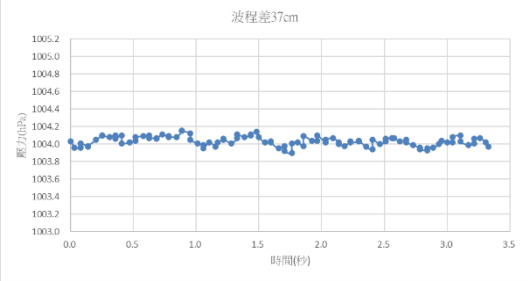
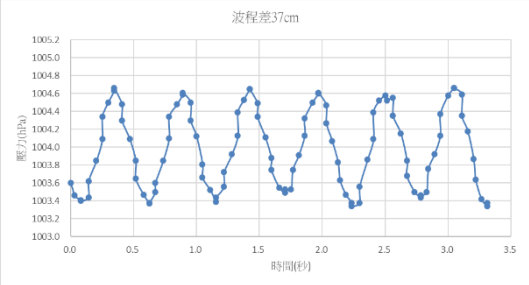
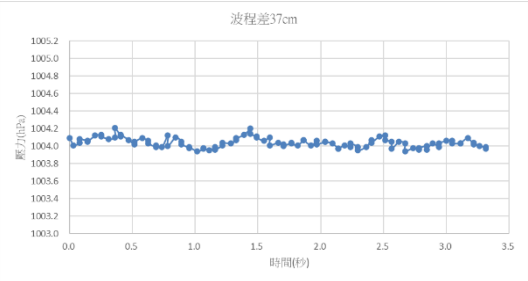


實驗步驟：

1. 依據實驗二-2 的結果，將壓力感測器放置在測得的節點位置上(3cm)。
2. 將小壓克力管管口與大喇叭之間的距離調整為 37cm (接近完全破壞性干涉處)。
3. 開啟兩個喇叭並以相同頻率輸出，輸出能量比例依據實驗 3-1。
4. 修改 Arduino BMP180 GY-68 壓力感測器的原始程式碼，以每秒 30 筆資料的速度量測壓力。
5. 將 Arduino BMP180 GY-68 連接電腦，測量 100 筆壓力。
6. 只開啟大喇叭，重複步驟 1.2.4.5。
7. 重複進行三次實驗，計算壓力變動幅度及其下降率，並計算平均值。

實驗結果：

表 4-1

	只開大喇叭	兩個喇叭都開
第一次	 前 10%平均值： 1004.58 hPa 後 10%平均值： 1003.38 hPa 壓力變動幅度： 1.20 hPa	 前 10%平均值： 1004.11 hPa 後 10%平均值： 1003.92 hPa 壓力變動幅度： 0.19 hPa
下降率	84.2%	
第二次	 前 10%平均值： 1004.59 hPa 後 10%平均值： 1003.38 hPa 壓力變動幅度： 1.21 hPa	 前 10%平均值： 1004.12 hPa 後 10%平均值： 1003.94 hPa 壓力變動幅度： 0.18 hPa
下降率	85.1%	
第三次	 前 10%平均值： 1004.63 hPa 後 10%平均值： 1003.38 hPa 壓力變動幅度： 1.25 hPa	 前 10%平均值： 1004.14 hPa 後 10%平均值： 1003.96 hPa 壓力變動幅度： 0.18 hPa
下降率	88.6%	

平均下降率：86.0%

結果與討論：

根據表 4-1 的結果，我們重複量測了波程差為 37cm 時的壓力變動幅度及下降率，三次的實驗均得到相近的結果。兩聲源皆開啟(模擬使用降噪耳機)時，相較於只開大喇叭(模擬無使用降噪耳機)，其壓力變化幅度會下降大約 86%。

根據文獻指出，主動式降噪耳機主要在抵消低頻噪音，而部分使用者的大腦可能因此會誤判現在是「外界壓力變小」進行調適，反而產生頭痛和耳悶感。我們推測除了低頻噪音消失外，本實驗中所顯示的壓力變化幅度的下降，也代表了會影響耳道內的空氣壓力變化幅度。人體的聲音感知是經由外耳傳遞至內耳受器，受器會感知器官內的液體壓力變化產生而產生神經訊號，因此壓力變動幅度減弱，某種程度上或許可以具有保護作用避免聽力受損，但這是否也是造成使用者內耳的感知受器產生錯誤訊息，進而造成頭痛與耳悶等不適感的原因之一，有待進一步的生理實驗證明。

伍、結論

一、在肯特管內使用的保麗龍球顆粒越小重量愈輕，產生出的波漣效果較明顯；使用保麗龍球的量較少時，基準高度較低，觀測到的波漣高度較明顯。

二、利用木板作為反射面時，肯特管兩端皆為節點；而利用保鮮膜作為反射面時，喇叭端為節點，開口端為腹點。

三、在肯特管內，聲波達基頻時的壓力變動幅度最大；在節點位置上的壓力變動幅度也會比其他位置大。

四、須適當調整兩聲道輸出比例，才能達到接近完全破壞性干涉的效果。

五、以雙聲源在肯特管內產生破壞性干涉時，管內保麗龍球無波漣形成，於特定波程差位置會有最低的壓力變動幅度(接近完全破壞性干涉位置)。

六、以肯特管模擬降噪耳機結構進行破壞性干涉，會造成壓力變動幅度下降約 86%，此現象暗示可能會造成內耳壓力受器失調，使大腦產生誤判，進而產生使用降噪耳機時，所產生的不適感。

陸、參考資料及其他

1. Dan Russell Standing Sound Waves (Longinudinal Standing Waves) August 12, 2020, from

   https: //www.acs.psu.edu/drussell/demos/standingwaves/standingwaves.html

2. 「探討肯特管內共振聲波的氣壓變化」107 年度新竹市科展國中組物理第一名，取自：

   https://science.hc.edu.tw/fileUpload/winningEntries/107%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E5%9C%8B%E4%B8%AD%E7%B5%84%E7%89%A9%E7%90%86%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%90%8D1107-08113785.pdf

3. 張晏銘。 摀住耳朵我不聽我不聽，結果就開始暈？——關於降噪耳機你想知道的事 。 2021 年 3 月 12 日， 取自：

   https： //pansci.asia/archives/314184