

探討駐波及尋找音速

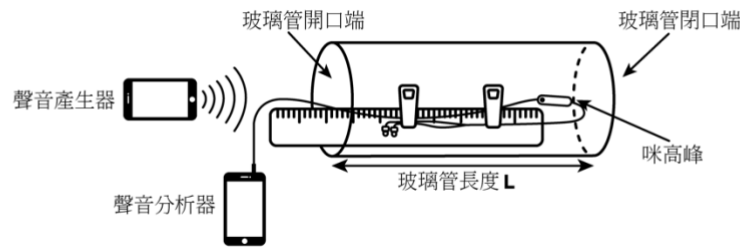
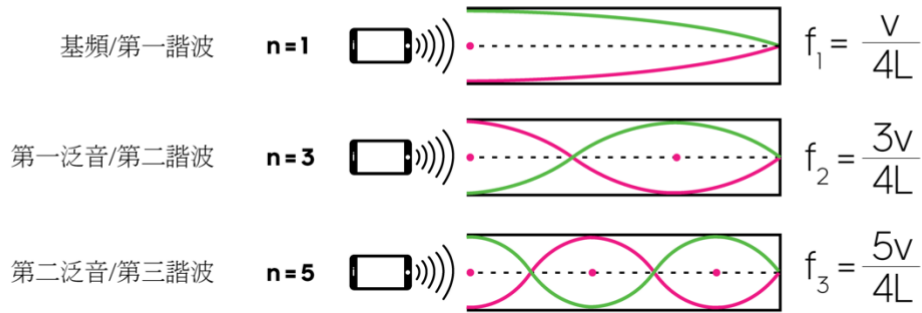


圖 1

目的

運用流動裝置的擴音器及咪高峰，產生駐波並藉此尋找聲音於空氣中的速度。

理論

- 聲音的傳播速度 v 是以一個波長 λ (以米作單位) 除以一個周期 T (以秒作單位) 計算出的，周期 T 的倒數是頻率 f (以赫茲作單位)。所以波長與頻率方程是

$$v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \dots \dots (1)$$

v = 速率； f = 頻率； λ = 波長。

- 波擁有一些共通的特性，包括干涉、反射、折射及繞射，此實驗將運用干涉和反射兩種特性，產生駐波以尋找聲音於空氣中的速度。
- **駐波** 是一種特別的波，沿著傳播軸的每一點，駐波會以固定的振幅振動，於是某些點(稱為「節點」)的振幅等於零，而某些點(稱為「腹點」)的振幅最大，其餘點均按位置以不同振幅振動，於是表面上呈現出停止傳播的狀態，令我們更容易尋找聲音的傳播速度。
- 駐波的其中一種產生方法，是透過兩個以**共振頻率**傳播的波，朝著相反方向傳播而產生相長干涉，從而引發**共振**，在這情況下，聲量會顯著增強。(詳見附註頁圖 7)
- 我們會使用單端開口的圓柱體玻璃管以簡化實驗，當聲波從開口端傳入玻璃管，聲波會沿玻璃管傳播至末端，並在遇到密閉端時反射出相同頻率而反方向傳播的波。
- 我們可以用數學表達這個狀態的駐波以便更深入了解駐波的產生。假設一個振幅為 A 的波 $y_1 = A \sin(kx - \omega t)$ ， $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 是波數， $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 或 $2\pi f$ 是角頻率。反射的波朝相反方向傳播，

振幅、波數及角頻率相同，在所有位置 x 和時間 t ，反射波是 $y_2 = A \sin(kx + \omega t)$ 。

- 根據疊加原理， y_1 和 y_2 疊加而成的合成波是

$$y = y_1 + y_2 = A \sin(kx - \omega t) + A \sin(kx + \omega t) \dots \dots \dots (2)$$

運用三角和化積公式 $\sin \alpha \pm \sin \beta \equiv 2 \cos \left(\frac{\alpha \mp \beta}{2}\right) \sin \left(\frac{\alpha \pm \beta}{2}\right)$ 和 $\cos(-\alpha) = \cos \alpha$ ，可以得出

$$y = 2A \cos(\omega t) \sin(kx) \dots \dots \dots (3)$$

- 在任何時間 t ，節點的振幅必須為零 ($y = 0$)，所以 $\sin(kx)$ 必須為零。解 $\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$ ，可以得出 $x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots$ 如此類推；腹點的振幅為最大，因此解 $\sin(kx) = 1$ 可以得出 $x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots$ 如此類推。每個相鄰的節點和腹點的距離是波長的四分之一 $\frac{\lambda}{4}$ 。
- 駐波要符合單端開口玻璃管的邊界條件，所以波長是 $\lambda = \frac{4L}{n}$ 。由於 $v = f\lambda$ ，共振頻率是

$$f = \frac{nv}{4L} \dots \dots \dots (4)$$

L = 聲波在玻璃管內傳播的長度； n = 正整數 (1, 3, 5, 7...) (如圖 1 所示)

- 從低頻率開始逐漸提升頻率，第一個共振頻率稱為「基頻」或「第一諧波」，第二個共振頻率稱為「第一泛音」或「第二諧波」，如此類推。
- 這個實驗會驗證玻璃管長度和共振頻率之間的關係，透過找出駐波的節點和腹點的位置，可以找到波長，從而利用波長與頻率方程計算出聲音在空氣的傳播速度。空氣中的音速理論值是 340ms^{-1} 。

實驗儀器

- 兩部已安裝“AP-Sensor”應用程式的流動裝置
- 一個單端開口玻璃管
- 一把尺
- 一個連接 3.5mm 音訊插頭的咪高峰
- 一個固定咪高峰的夾

實驗設置

注意：用工具固定玻璃管，防止玻璃管因滾動而受損，同時避免玻璃碎片造成損傷。

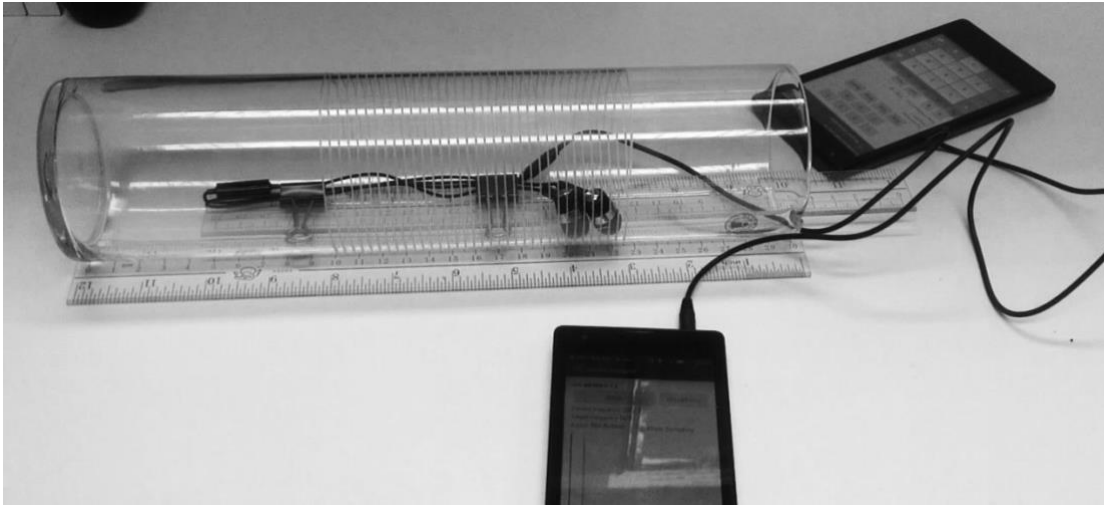


圖 2

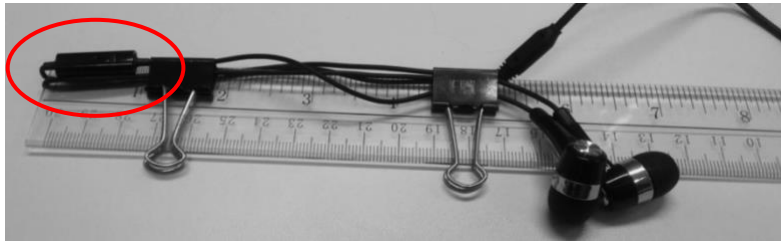


圖 3

實驗步驟

實驗設置

1. 量度並記錄玻璃管內的長度，運用公式(4)在表 1 計算首五個共振頻率的估計值。
2. 用夾將咪高峰穩固夾在尺的末端(圖 3)。
3. 將咪高峰連接到其中一部流動裝置，作為聲音分析器，然後把咪高峰放入玻璃管內。另一部流動裝置則作聲音產生器，將該裝置的發聲處放到玻璃管的開口位置(圖 1 及 2)。
4. 在兩部裝置開啟應用程式“AP-Sensor”，然後分別選取作為聲音分析器及聲音產生器(圖 4)。

圖 4



尋找共振頻率(圖 5)

5. 於聲音產生器中的「輸入頻率」一欄輸入你在第 1 步所估計的基礎共振頻率。
6. 按「產生」鍵產生該頻率的聲音。
7. 將裝置的擴音器放近玻璃管口。
8. 按「上/下箭咀」仔細每一赫茲調校頻率，直至玻璃管明顯地傳出最大聲量，此為玻璃管的基頻。
9. 將錄得的基頻記錄在數據表 1。



圖 5

尋找節點及腹點的位置

10. 在聲音分析器裡，按「波形」顯示裝置所錄得的波形，用兩隻手指輕掃屏幕可放大或縮小圖表以便觀察(圖 6)。
11. 沿著玻璃管的中心緩慢地從一端移動咪高峰至另一端，找出駐波的節點和腹點，振幅最小的位置是駐波的節點，振幅最大的位置是駐波的腹點，於數據表 2 記錄所有節點和腹點的位置。
12. 取相鄰節點和相鄰腹點之間的平均距離，在數據表 3 計算出駐波的波長，然後計算音速的值。
13. 調整頻率到更高(第二至第五)共振，重複步驟 5 至 12。(可嘗試用第六諧波進行實驗。)
14. 可嘗試用不同長度的玻璃管進行實驗，找出與共振頻率的關係。

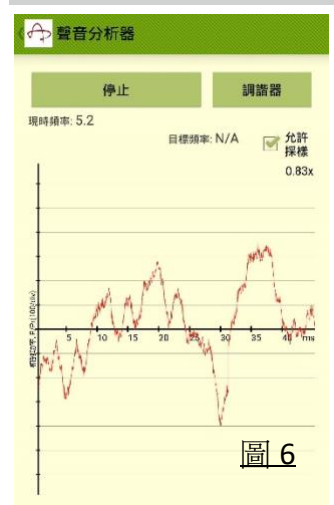


圖 6

數據

玻璃管長度 L : _____ m

表一：估算不同諧波模式的共振頻率(假設空氣中的聲速 v 為 340ms^{-1})

| 諧波模式 | n | 共振頻率的理論值(赫茲) $f = \frac{nv}{4L}$ | 共振頻率的實驗值(赫茲) |
|------|---|----------------------------------|--------------|
| 第一諧波 | 1 | | |
| 第二諧波 | 3 | | |
| 第三諧波 | 5 | | |
| 第四諧波 | 7 | | |
| 第五諧波 | 9 | | |

表二：不同諧波模式的節點和腹點的位置

| 諧波模式 | 從玻璃管閉端起腹點位置(米) | 從玻璃管閉端起節點位置(米) |
|------|----------------|----------------------------|
| 第一諧波 | | 0 L = |
| 第二諧波 | | 0 L = |
| 第三諧波 | | 0 L = |
| 第四諧波 | | 0 L = |
| 第五諧波 | | 0 L = |

表三：波長及聲音速度

| 諧波模式 | 腹點和節點之間的平均距離(米) | 波長(米) λ $4 \times$ (腹點和節點之間的平均距離) | 聲音的速度 (ms^{-1}) $v = f\lambda$ |
|------|-----------------|--|---|
| 第一諧波 | | | |
| 第二諧波 | | | |
| 第三諧波 | | | |
| 第四諧波 | | | |
| 第五諧波 | | | |

討論

1. 隨著發聲器的頻率逐漸接近共振頻率，聲音的音量有甚麼變化？
2. 表一的共振頻率，用公式(4)計算出的理論值與實驗值有甚麼差別？當中的原因是甚麼？
3. 比較表二的節點和腹點的位置與圖(1)的示範。
4. 表三波長的計算方法可以利用腹點之間的距離乘以 2，或是節點之間的距離乘以 2，使用不同計算方法對結果有沒有明顯影響？
5. 表三計算得出的聲音速度與文憑試高中課程訂定的 340ms^{-1} 有甚麼差距？此差距是源於甚麼實驗誤差或限制？
6. 假如探討第六諧波或以上的共振，會遇到甚麼困難？
7. 如果用不同長度的玻璃管測試和共振頻率的關係，結果與理論是否相符？

附註

圖 7

