

實驗二 都卜勒效應實驗

一、目的：

1. 量測靜止的觀察者感知的頻率變化，與以等速度 v 移動的超音波聲源間的關係。
2. 確認頻率變化量 Δf 與超音波聲源移動速度 v 間的正比關係。

二、原理：

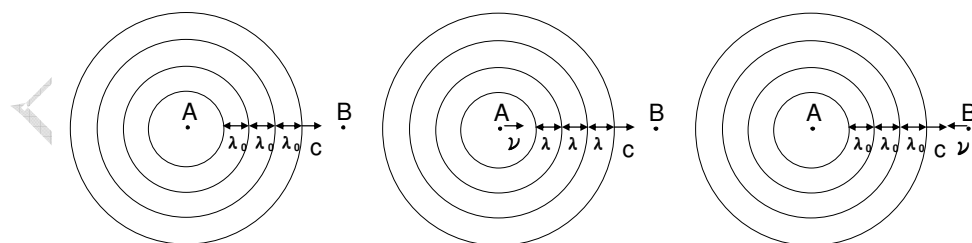
都普勒效應可以在我們的日常生活中容易地被觀測到，例如：救護車警笛聲的聲調，當車輛接近觀察者時聲調較高，遠離觀察者時聲調則較低，這聲調在車輛通過觀測者面前突然改變。當然如果是觀察者移動到靜止的聲源，同樣可以聽到頻率改變的聲音。

為了瞭解此效應，首先考慮聲源 A 與觀察者 B 都在靜止狀況下，聲音在介質中傳遞(如圖一)，波前以頻率 f_0 間距 λ_0 從波源開始向外傳遞，並以聲速 c 接近觀察者。

$$c = f_0 \cdot \lambda_0 \quad (1)$$

到達下一個波前的時間

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2)$$



圖一：聲音的傳遞

- 左：波源與觀察者都靜止
- 中：波源移動，觀察者靜止
- 右：觀察者移動，波源靜止

現在情況改變了，當聲源以速度 v 靠近靜止的觀察者，聲音在介質中傳遞。在一振盪週期 T_0 中，波源走了這個距離

$$s = v \cdot T_0 \quad (3)$$

這個距離在前一個波前與新產生的波前之間，因此

$$\lambda = \lambda_0 - v \cdot T_0 \quad (4)$$

波前以速度 c 傳遞，而且在下列時間到達觀察者

$$T = \frac{\lambda}{c} = T_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad (5)$$

對於觀察者，從聲源所發出的頻率是

$$f = \frac{1}{T} = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} \quad (6)$$

假如在另一種狀況，觀察者以速度 v 接近聲源，並且聲源處於靜止，波前與波前的間距為 λ_0 。波前在介質中傳遞速度為 c ，但是到達觀察者的時間就與先前的狀況不同了。

$$T = \frac{\lambda_0}{c + v} = \frac{T_0}{1 + \frac{v}{c}} \quad (7)$$

因此，靜止的聲源對於移動的觀察者所測得的頻率為

$$f = \frac{1}{T} = f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad (8)$$

比較(7)式與(8)式，在高速移動時可得較大的頻率差，因此低速時經常就忽略不記，頻率差值如下

$$\Delta f = f - f_0 = f_0 \frac{v}{c} \quad (9)$$

我們可以發現頻率差值與移動速度 v 有關。

在這個實驗中，超音波發射器與超音波接收器都是靜止的，真正運動的只有反射超音波的轉盤，而這個轉盤同時扮演觀察者與聲源的角色。

首先，轉盤是一個觀察者，當超音波發射器發出超音波，而且此超音波在轉盤上被接收，此時轉盤視為一移動的觀察者，因此轉盤上所觀察到的頻率 f 為

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{c}\right) \quad (10)$$

再來，轉盤是一個聲源，當超音波發射至轉盤時，超音波馬上反射至超音波接收器，此時轉盤視為一移動的聲源，因此超音波接收器所觀察到的頻率 f' 為

$$\begin{aligned} f' &= \frac{f}{1 - \frac{v_0}{c}} \\ &= f_0 \frac{1 + \frac{v_0}{c}}{1 - \frac{v_s}{c}} \\ &= f_0 \frac{c + v_0}{c - v_s} \end{aligned} \quad (11)$$

f_0 ：超音波發射器所發出的頻率

v_s ：聲源速度

v_0 ：觀察者速度

c ：聲速

故本實驗頻率差值 Δf 為

$$\begin{aligned} \Delta f &= f' - f_0 \\ &= f_0 \frac{c + v_0}{c - v_s} - f_0 \\ &= f_0 \frac{v_0 + v_s}{c - v_s} \end{aligned} \quad (12)$$

在本實驗轉盤反射面以 v' 的速度接近超音波發射器與超音波接收器，故我們可得知

$$v' = v_0 = v_s \quad (13)$$

所以我們可以把(12)式整理表示如下

$$\Delta f = f_0 \frac{2v'}{c - v'} \quad (14)$$

註：

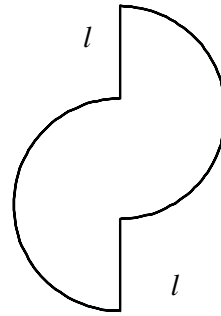
$$v' = \frac{1}{t/2}$$

其中

l ：超音波反射面之位移量

(參考圖二)

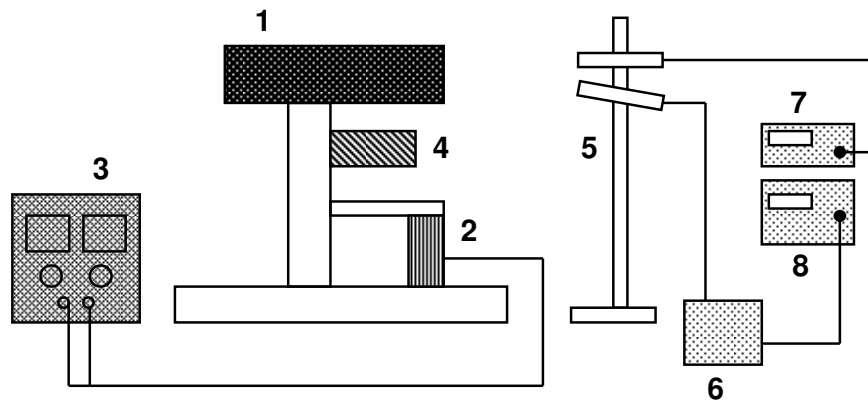
$t/2$ ：轉盤轉半圈所需時間



圖二：超音波反射盤

三、儀器：

電源供應器、旋轉盤、轉動馬達、轉速計、訊號產生器、
超音波發射器、超音波接收器、放大器、計頻器。



圖三：系統裝置圖

1. 旋轉盤 2. 轉動馬達 3. 電源供應器 4. 轉速計
5. 超音波發射器與接收器基座 6. 放大器 7. 訊號產生器 8. 計頻器

四、步驟：

1. 將系統如圖三所示連接起來。
2. 將訊號產生器、計頻器與放大器的電源打開，並調整訊號產生器之頻率至 40.0kHz。
3. 接著再移動超音波發射器與超音波接受器之基座，移至旋轉盤附近直到計頻器螢幕上，顯示出頻率值 40.0kHz 為止。
4. 開起連接馬達之電源供應器，並緩緩增加電壓與電流直到所需之

轉速。

5. 紀錄轉速計上之轉速值與計頻器上所讀取之頻率值，在調整電源供應器，以改變不同之轉速，以此類推重複十次並紀錄之。
6. 取實驗數據之 v' 與 Δf 做圖 (v' 為 x 軸, Δf 為 y 軸), 可計算出 c 值 (聲速)。

五、 問題：

1. 考慮(8)式，假設觀察者以跟波速相等甚至比波速還要快的速度遠離波源的話，此時會有什麼現象發生？
2. 考慮(6)式，當波源前進的速度等於波速時，會有什麼現象？另外，請問此時波源的速度可以繼續增加嗎？當波源前進的速度比波速更快時，又會有什麼現象產生？
3. 都卜勒效應在科學上的應用為何？列舉之。

六、 討論：