

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：熙來攘往都卜勒
一、摘要：
<p>都卜勒效應是生活中常見卻不容易察覺的科學現象，大馬路上一來一往的車子按喇叭呼嘯而過時音調的變化便是此效應最生活化的實例。本研究使用手機作為聲源與觀察者，配合線性運動感測器、滑車、滑軌設計都卜勒效應實驗探討改變聲源頻率、聲源與觀察者的移動方向及速度時觀察者感受到的頻率會出現什麼變化。</p> <p>經過反覆實驗，我們得知當聲源與觀察者相對接近，觀察者視頻率會變高，兩者相對遠離時，視頻率則會變低，且聲源頻率愈高、聲源與觀察者相對運動速度愈快，都卜勒效應帶來的視頻率變化會愈明顯，而手機的普及性則能降低實驗門檻方便教學及展示此效應。</p>
二、探究題目與動機
<p>高一物理課時曾經介紹過聲源與觀察者間存在相對運動時會發生「都卜勒效應」，也就是聲源與觀察者相對接近時觀察者測得頻率會變高、相對遠離時則變低的現象，雖然當時看過相關影片卻也僅止於此沒有進行任何定量實驗？</p> <p>究竟聲源頻率、聲源移動、觀察者移動會如何改變觀察者測得的頻率呢？因此我們想透過實驗介紹都卜勒效應的原理，另一方面，我們也希望透過普及性高的手機作為主要的實驗工具，降低實驗門檻讓更多人能更具體的認識此效應。</p>
三、探究目的與假設
<ul style="list-style-type: none">一、探討聲源頻率與觀察者視頻率的關係二、探討聲源移動與觀察者視頻率的關係三、探討觀察者移動與其視頻率的關係
四、探究方法與驗證步驟
設計實驗裝置
第一代
<p>此代裝置由 2 架分別長 200 cm 及 100 cm 的「L」字形金屬製滑軌組成，將較長的滑軌透過線性運動感測器與滑車反覆實驗得到能讓滑車維持等速運動的角度，而較短的滑軌則作為斜面並與之對接，使滑車能加速後進入等速運動。線性運動感測器則置於滑軌終點，測量每次實驗滑車的運動軌跡。</p>

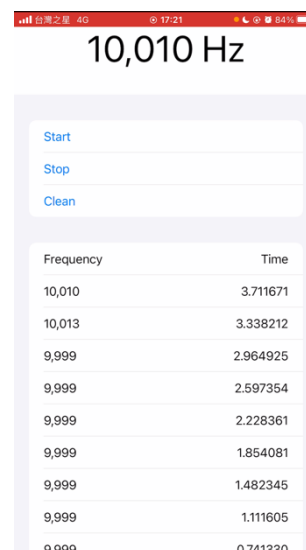
第二代
<p>由於前一代中 2 架滑軌均為「L」字形，無法在進行觀察者與聲源相對遠離的實驗時讓滑軌與作為聲源的手機喇叭與作為觀察者的手機麥克風對齊，因此我們透過游標尺測量滑車輪</p>

距，以電線壓條的上蓋重新打造滑軌，同時為了降低噪音影響也透過保麗龍板製作隔音箱使實驗數據能更精準。



開發頻率量測 app

目前 App Store 已有非常多能進行即時聲音頻譜分析的 app，但大部分都是以頻譜圖的方式呈現且只會顯示當下的即時數據，雖然能以手機螢幕錄影功能回放但影片進度條通常皆以秒為單位不符本次探究所需。因此我們根據 GitHub 上開放原始碼的第三方模組 AudioKit 及其範例專案 (AudioKit Cookbook) 打造出一個 iOS app，能透過手機麥克風即時錄音、計算音量最大的頻率視為視頻率並記錄時間戳。



量測滑車運動速度與觀察者視頻率

在這次探究中我們藉由 Vernier 線性運動感應器測量滑車運動速度，感應器會根據聲波發射及反射回來的時間差判斷物體距離，因此我們在滑車上安裝金屬片作為反射面。

1. 開啟數據採集軟體 Logger Pro，並將線性運動感應器連接電腦
2. 設定感應器採集頻率為 31 次/秒 (感應器上限)，採集 10 秒
3. 配合時鐘節奏，倒數 3 秒，數到「2」的同時啟動線性運動感應器與頻率量測 app
4. 數到「0」時，同步釋放滑車。
5. 待實驗結束，根據 Logger Pro 繪製的 v-t 圖記錄滑車開始、結束進行等速運動的時間點及滑車移動速度，並對照頻率測定 app 中每筆數值的時間戳，取等速運動期間內的頻率計算平均值
6. 重複以上步驟 3 次，計算平均。

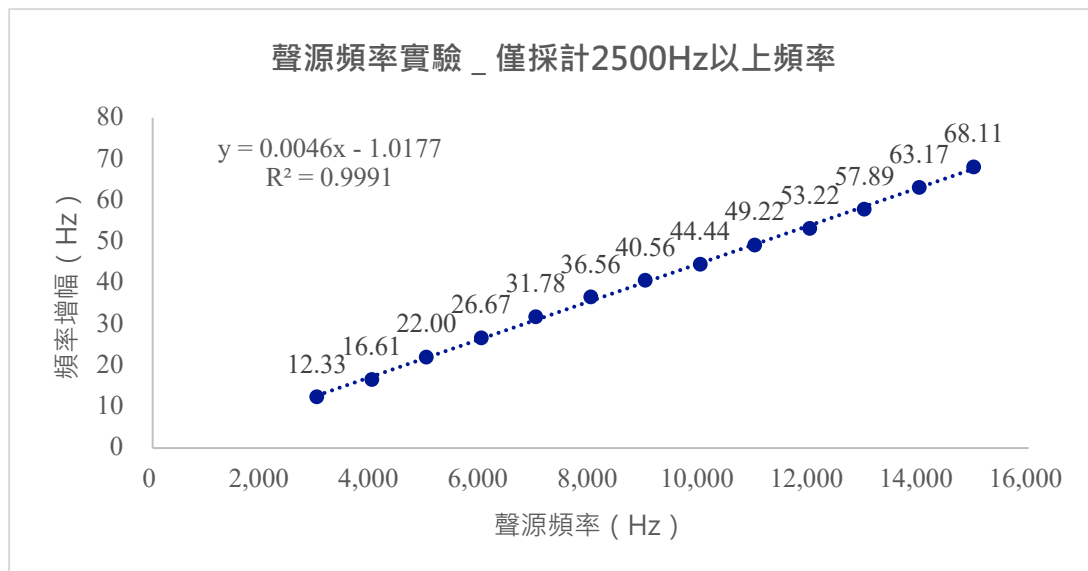
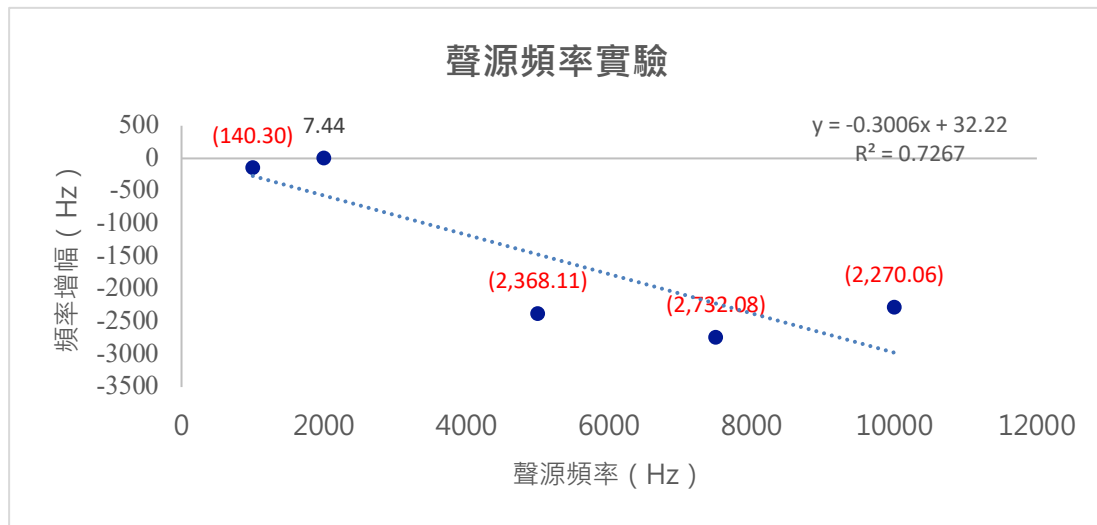
探討聲源頻率與觀察者視頻率的關係

探究方法：

1. 以作為聲源的手機播放待測音頻，音量調至最大並安裝於滑車上

- 同時啟動線性運動感應器與音頻量測 app，接著自斜面頂端釋放滑車
- 依上述步驟以 1000 Hz 為間隔分別測量聲源播放 1000 Hz ~ 15000 Hz 時滑車於等速運動期間內的視頻率與運動速度

實驗結果：

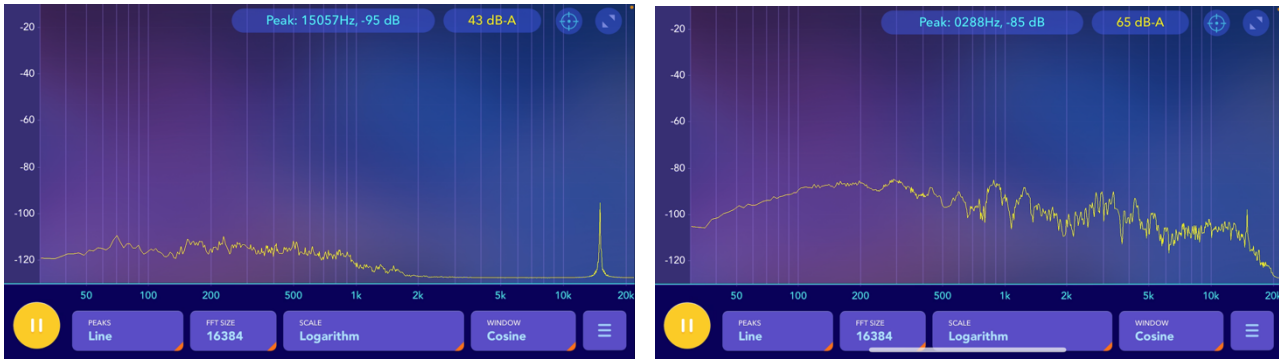


結果討論：

原先預期當聲源接近觀察者，觀察者視頻率會高於聲源頻率，且聲源頻率愈高增幅愈大，但第一次實驗結果並沒有原先預期聲源頻率愈高頻率增幅愈大的趨勢，甚至還比聲源頻率低。由於頻率量測顯示的是音量最大的頻率，我們推測是滑車在金屬滑軌上行駛的噪音蓋過了觀察者的視頻率，透過一款頻譜圖 app 實際測量後發現滑車行駛時的噪音約在 2500 Hz 以下，因此我們修改頻率量測 app 的程式碼，只從 2500 Hz 以上的頻率中找出音量最大的頻率，並聲源頻率實驗範圍調整為 3000 Hz ~ 15000 Hz。

重新進行第二次實驗其結果顯示，固定聲源接近觀察者的速度時，聲源頻率愈大，觀察者所測得的頻率其增幅也愈大。

這是因為聲速是由介質決定而不受聲源本身移動速度影響，但聲源向觀察者靠近時對觀察者而言聲音的波長就像被「壓縮」一樣，稱為「視波長」，由於視波長變小，觀察者所測得的「視頻率」便會增加。

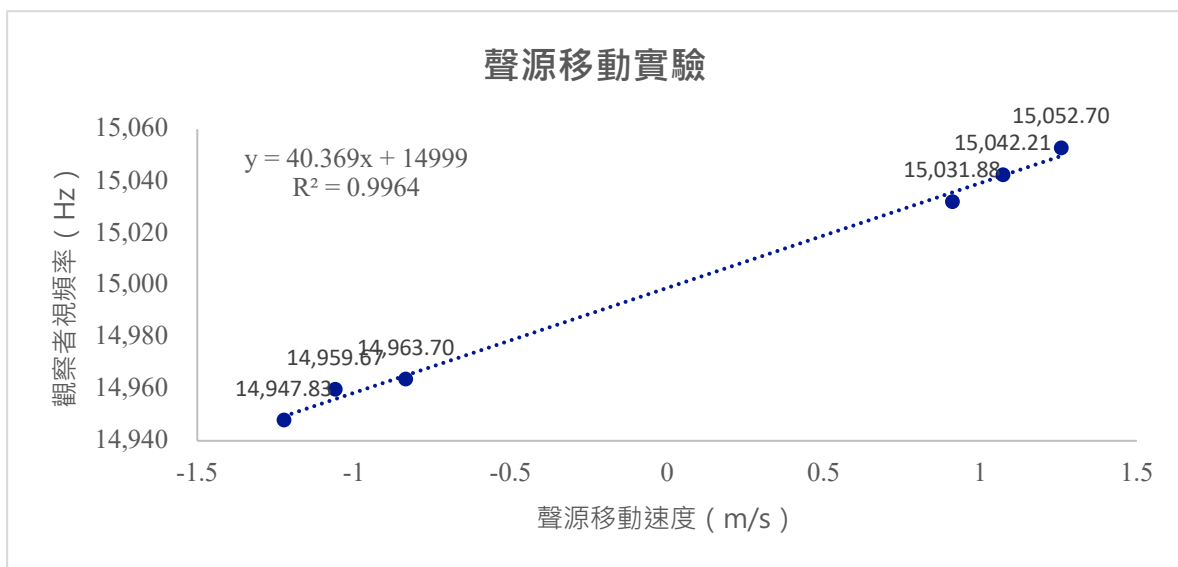


探討聲源移動與觀察者視頻率的關係

探究方法：

1. 在斜面上以 10 cm 為間距取 3 點由高至低進行標示 A、B、C 作為滑車釋放位置，透過釋放位置的高低改變滑車速度
2. 以作為聲源的手機播放 15000 Hz，音量調至最大並安裝於滑車上
3. 將作為觀察者的手機置於滑軌終點
4. 同時啟動線性運動感應器與音頻量測 app，接著自斜面上待測位置釋放滑車，其中車頭朝向滑軌終點，測量聲源接近觀察者的速度及觀察者測得的視頻率
5. 重複步驟 3~4，但觀察者改置於斜面終點後方、滑車車頭改朝向滑軌起點，測量聲源遠離觀察者的速度及觀察者測得的視頻率
6. 依上述步驟分別測量滑車由各代測位置釋放時滑車於等速運動期間內的聲源接近與遠離觀察者的速度與及觀察者所測得的視頻率

實驗結果：



滑車釋放位置	滑車速度 (m/s)	標準差
A	1.24	0.025
B	1.06	0.015
C	0.87	0.037

結果討論：

我們將聲源速度以接近觀察者方向為正、遠離為負，實驗結果顯示當聲源接近觀察者的速度愈快，觀察者的視頻率就愈高；當聲源遠離觀察者的速度愈快，觀察者的視頻率則愈低。

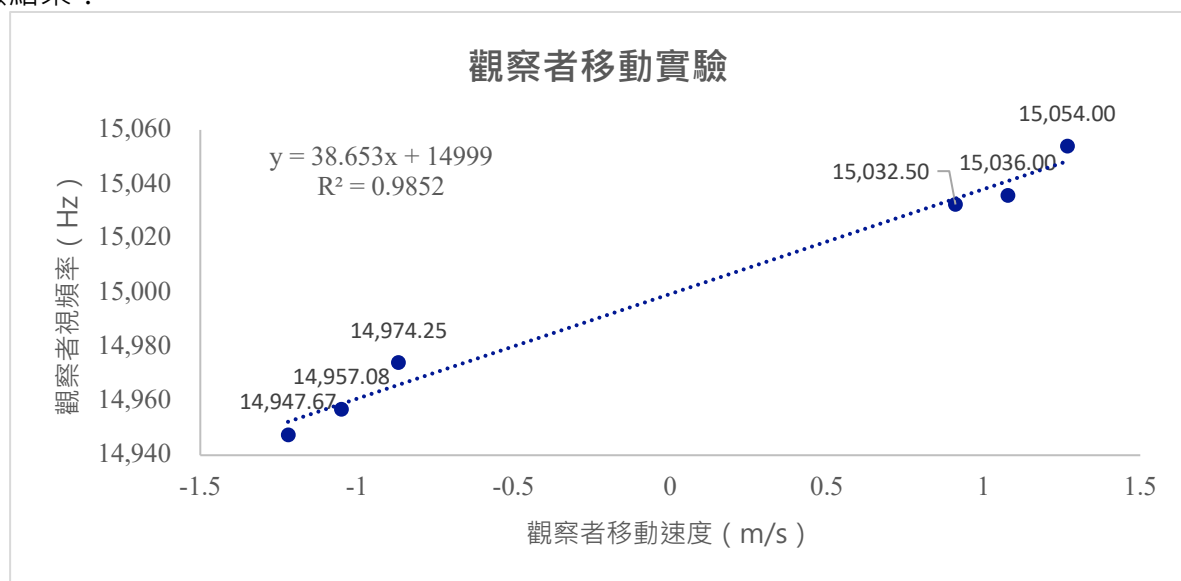
這是因為聲源向觀察者靠近時觀察者的視波長會縮短使視頻率增高，遠離時則拉長使視頻率降低，而運動速度量值愈大視波長被壓縮或拉長的程度便愈大，進而使視頻率增減幅度變大。

探討觀察者移動與其視頻率的關係

探究方法：

1. 以聲源移動實驗中 A、B、C 三點作為滑車釋放位置，透過釋放位置的高低改變滑車速度
2. 以作為聲源的手機播放 15000 Hz，音量調至最大並置於滑軌終點
3. 將作為觀察者的手機安裝於滑車上
4. 同時啟動線性運動感應器與音頻量測 app，接著自斜面上待測位置釋放滑車，其中車頭朝向滑軌終點，測量**觀察者接近聲源**的速度及觀察者測得的視頻率
5. 重複步驟 3~4，但觀察者改置於斜面終點後方、滑車車頭改朝向滑軌起點，測量**觀察者遠離聲源**的速度及觀察者測得的視頻率
6. 依上述步驟分別測量滑車由各待測位置釋放時滑車於等速運動期間內的觀察者接近與遠離聲源的速度與及觀察者所測得的視頻率

實驗結果：



結果討論：

這次我們將討論對象由聲源改為觀察者，移動速度以接近聲源方向為正、遠離為負。實驗結果顯示當觀察者接近聲源的速度愈快頻率愈高，遠離速度愈快則頻率愈低。

雖然此實驗中觀察者移動時經歷的視波長並不變，但接近聲源時對觀察者而言波速會增快，遠離則減慢，稱為「視波速」，由於 $f = v / \lambda$ ，因此觀察者接近聲源時視波速變快使視頻率增高，遠離時則視波速變慢頻率降低，且觀察者移動速度量值愈大視頻率增減幅度愈大。

五、結論與生活應用

在國中階段理化學過頻率、波速、波長的關係式 $f = v / \lambda$ ，我們知道在波速相同的情況下頻率愈高波長愈短，因此在聲源頻率中我們固定聲源接近觀察者的速度，並提高聲源頻率發現觀察者測得頻率的增幅將會變大，因此在後續實驗中我們採用較高的聲源頻率放大都卜勒效應帶來的效果。

在聲源移動實驗中，由於聲源接近觀察者時會使觀察者的視波長縮短、遠離時則增長進而使觀察者的視頻率升高、降低，且聲源移動速度量值愈大視頻率改變幅度愈大；在觀察者移動實驗中，發生改變的則是觀察者的視波速，接近聲源時會變慢、遠離則變慢，同樣基於 $f = v / \lambda$ 的觀念，視頻率會因而升高、降低，雖然就結果而言聲源移動與觀察者移動所產生的效果是一樣的，但兩者間的根本原理卻不盡相同。

在這次探究過程中曾經出現難以解釋的實驗數據，例如聲源頻率實驗中原先預期聲源頻率愈高觀察者視頻率增幅愈大，但實驗結果卻並沒有此趨勢，我們經過進一步的觀察與討論後發現實驗器材或方法上的問題後對其進行改良增進實驗數據品質，最後也了解聲源與觀察者相對接近速度與快、聲源頻率愈大，能讓都卜勒效應愈明顯，同時更透過手機作為實驗器材，其普及性能讓更多人更容易參與實作進而更具體的認識此科學原理達到教學的目的。

參考資料

1. AudioKit – GitHub
<https://github.com/AudioKit/AudioKit>
2. AudioKit Cookbook – GitHub
<https://github.com/AudioKit/Cookbook>
3. 王栢村 (2020)：《振動噪音科普專欄》FFT 系列：取樣頻率(SAMPLING FREQUENCY)對量測信號之影響？
<http://aitanh.blogspot.com/2020/09/fftsampling-frequency.html>
4. 中興大學物理系 – 都卜勒效應
<http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/device/exp10>
5. 科技大觀園 – 監測颱風的都卜勒雷達
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000008/detail?ID=bf833551-a326-4de9-b259-36dfd8827c23>