

# 波動物理—以 Arduino 感測器搭配手機 APP 進行實驗

余進忠<sup>1</sup>、徐家瀚<sup>2</sup>、楊慶豪<sup>3</sup>、謝武聰<sup>1</sup>、張廷璋<sup>1</sup>、徐義鴻<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立高雄大學應用物理學系、<sup>2</sup> 國立高雄大學電機工程學系、

<sup>3</sup> 國立高雄大學化學工程與材料工程學系

[yucc@nuk.edu.tw](mailto:yucc@nuk.edu.tw)

波動物理是國教端物理教學中的一個重要分支，一般可以從彈簧的振動方式教導學生橫波、縱波兩種波動模式，而繩波除可展現橫波的行為外，也是最可以展現繩上張力在波動行為上的力學概念，而聲波則可以藉由都卜勒效應、拍頻行為等來驗證其波動性質，除此之外無法被人耳聽見的超聲波，除可利用作為驅除鳥類及蟲鼠外，亦可透過超聲波的相互干涉來產生微小物體的懸浮現象，由此可以觀察駐波節點的位置。除上述機械波外，光波或電磁波亦為波動的一種，其現象可以藉由雷射的單雙狹縫實驗來加以佐證，而近代物理中亦探討波粒二重性，尤其是單一光子所攜帶的能量為 $h\nu$ （其中 $h$ :普朗克常數、 $\nu$ :頻率），上述實驗如何透過簡易、低成本的實驗裝置來進行？如何切合一般教室的環境限制？如何因應科技融入教學現場？對教學現場的授課教師是一大考驗。

國立高雄大學因應時代所需及少子化趨勢，除積極引入创客機具與相關課程外，亦有一批教師從事科普教育，搭配科教實作學門及教育部戶外教育計劃補助，至鄰近國教及偏鄉學校進行科普教育。而應用物理學系除開設「Arduino 创客實作」及「Python 程式設計」外，也積極介入教具教材製作提供國教及大學端使用。針對上述波動實驗，我們應用 Arduino 感測器及手機 App 設計出相應的可手持、易攜帶、無線傳輸、手機顯示與計算數據、搭載充電電池不須額外電源、低價易推廣的實驗教具。以下是目前已完成的波動物理實驗介紹。

## 一、繩波實驗

繩子末端吊掛砝碼產生一固定張力，利用 Arduino nano 主板驅動馬達產生繩波，調整繩長得出穩定駐波，透過波腹數及繩長(超音波測距取得)取得繩波波長，使用霍爾效應感測器偵測馬達轉速得出繩波頻率，此實驗以繩子張力(調整砝碼重量)或頻率(調整馬達轉速)作為因變數來檢驗力學模型

$$\frac{F}{\lambda^2} = \mu f^2 = \text{常數(如圖 1 右下圖)}。$$

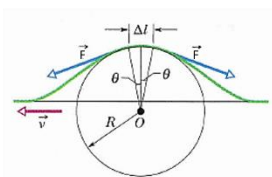
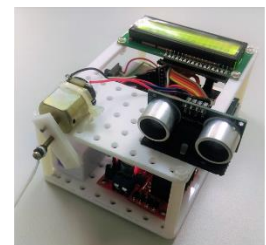


圖 1：繩波實驗器材與手機 App 畫面，右下為繩波的物理模型

## 二、都卜勒效應及拍頻實驗

都卜勒效應實驗係利用 Arduino 主板控制蜂鳴器模擬救護車聲響，隨救護車與聽者之距離、車速、遠離或靠近聽者等參數變化，來發出聲響。而拍頻實驗則利用兩個蜂鳴器產生相近的頻率，產生嗡嗡聲的拍頻現象。上述兩聲波實驗可以波動物理加以解釋，因此可以作為聲音為波動的佐證。



圖 2：都卜勒效應及拍頻實驗器材與手機 App 畫面

## 三、聲速實驗

Arduino 的超音波測距感測器，係利用超音波的發射與反射所花費的時間，估算物體的距離，該裝置預設音速為 330m/s。實驗利用吹風機將大約 80 度的熱空氣灌入壓克力管子內，接著再使用軟木塞將空氣的進出口封起來，於降溫過程中利用超音波測距測量壓克力管長，並以 DHT22 同步量測管內空氣溫度，並記錄溫度及管長變化。此一實驗可驗證聲波的傳遞介質為空氣，並且推得音速溫度間的關係。

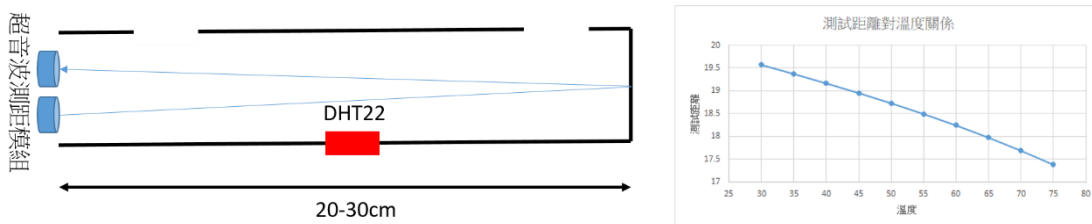


圖 3：聲速隨空氣溫度變化實驗

## 四、超音波駐波實驗

利用 Arduino 主板搭配電路迫使 18 個(上下各 9 個)超音波發射器產生強力的超音波，進而產生超音波駐波，於音波節點處由於空氣分子不運動，且節點兩側空氣分子的推擠，因此可放上紙片或水滴使其懸浮於空中(圖 4 紅圈處為一張懸浮的小紙片)。



圖 4：超音波懸浮

## 五、視覺暫留、混色、RGB 色碼與紅綠燈

利用 Arduino 程式設計閃爍的燈光，當閃爍間隔時間小於約 10ms 後，人眼因視覺暫留即認為是連續發光，由此可呈現人在分辨閃爍發光體時的鑑別能力。利用共陰或共陽的霧面 RGB LED 燈，搭配程式調控不同色光的發光強度來進行混色，此時可引入 RGB 色碼表，除

可讓學生理解色碼表及色階外，也可讓學生進行混色競賽。透過三個 RGB LED 燈及程式控制發光時序可以讓學生進行紅黃綠三色交通號誌的規劃。LED 燈的運用往往可以獲得相當多國中學子的迴響，簡易的程式使學生更能理解程式設計的架構，是學生相當容易入手的實驗設計（作者感謝國立臺灣師範大學陸健榮老師對視覺暫留實驗的指導）。

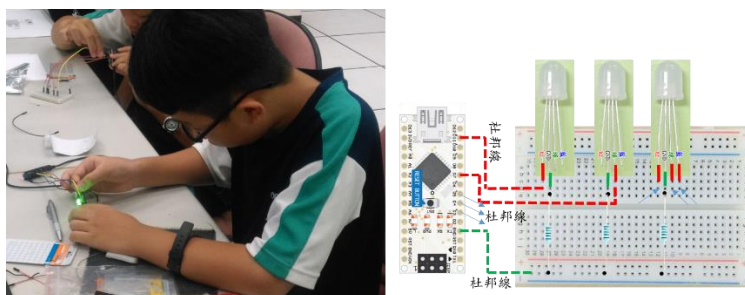


圖 5：「視覺暫留、混色、RGB 色碼與紅綠燈」實作情形與電路圖

## 六、二極體與普朗克常數量測

半導體及二極體元件於高三已有相關基礎介紹，在大學理工兩院是相當重要的課題。此實驗利用簡單的 LED 燈、電池與可變電阻，搭配兩個電表進行電壓及電流量測。從二極體 p-n 接面的物理現象出發(載子空乏區、空乏區電場)，因此不同色光的 LED 燈將有不同的發光起始電壓，而當施加一外部電場(由電池施加一電壓)克服此一空乏區電場後，恰使 LED 燈發出亮光(光子)，而此時電池提供的能量約略等於一個光子的能量，因此可以利用此一方式驗證普朗克常數為不同色光光子的共同基本物理常數。

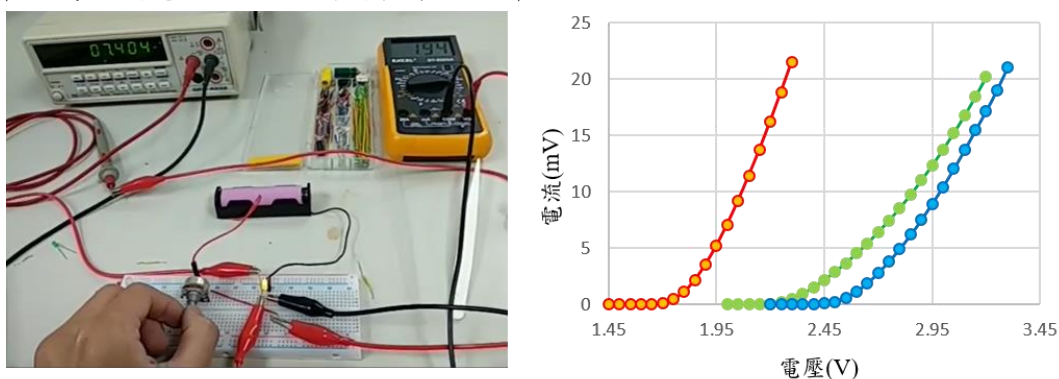


圖 6：普朗克常數量測實驗裝置與不同色光 LED 燈的電流-電壓曲線

除上述物理波動實驗外，國立高雄大學「Maker 工具人」社群及通識中心「服務學習」課程學生，也投入設計 Arduino 課程、物聯網應用、创客機具操作、空氣品質監測、轉動物理、電磁感應、大學物理實驗等開發，除透過科普活動推廣外，其製作方法及程式也陸續公告於本系 Maker 空間網頁。

## 延伸學習

「國立高雄大學應用物理學系 Maker 空間」網頁：<https://sites.google.com/view/nukmaker>