

# 都卜勒效應實驗的另類設計

周鑑恆、楊安中

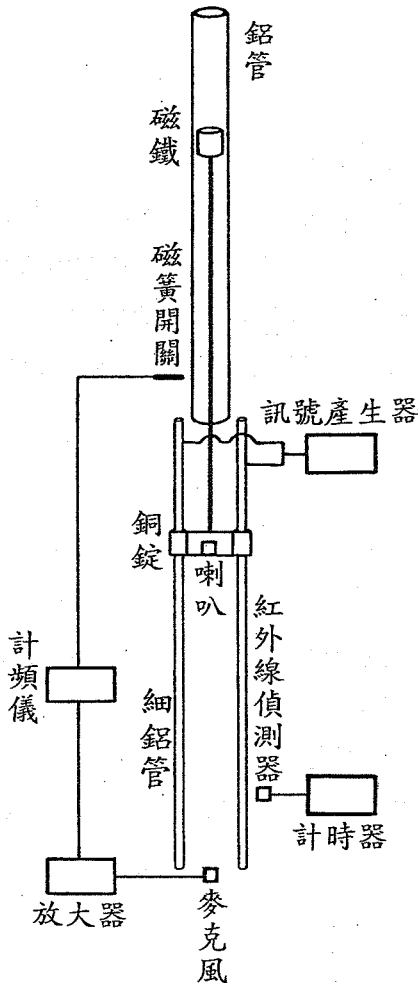
坐在疾駛的火車上，聽迎面錯車的另一輛火車鳴笛，笛音在兩車接近時較高，遠離時則變得較低。這是日常生活中常體驗到的都卜勒效應。都卜勒效應也被應用於交通警察抓超速車的測速器。至於精密雷達、聲納系統之設計，以及天文上測量宇宙膨脹，都卜勒效應更扮演重要角色（註 1）。

一般普通物理實驗室所使用的儀器裝置，通常以 40000 Hz 之超聲波喇叭為聲源，藉另一移動物體反射超聲波，再由靜止並列在側的麥克風接收，用計頻裝置測量接收到的超聲波頻率變化。以計時器測量移動物體之速度，進而驗證都卜勒效應。

一方面為了使理論計算符合教科書上的敘述，另一方面為了簡化儀器，提高實驗的準確度，用來反射聲音的物體須維持等速移動。常用的方法就是將此物體置於氣墊軌上（註 2）。然而這種設計，除了氣墊軌價格昂貴，噪音又大之外；測量移動物體反射的超聲波頻率時，偵測系統用現成套裝的設備，不免顯得呆板單調，反而有損貼切掌握實驗的真實感。

其實，要維持物體等速運動並不一定非用氣墊軌不可，突破這層習慣性思維限制後，都卜勒實驗設計仍有相當大的揮灑空間。一種可行的另類設計如圖(一)所示，在長 90 公分、內徑 26 公厘的鋁管內，置一直徑 25 公厘、高 25 公厘的圓柱狀稀土強磁，稀土強磁延軸向充磁，磁極附近磁場強度約 5000 高斯。磁鐵於管中受重力落下時，會在管壁上產生感應電流，磁鐵因而受磁剎車（註 3）作用，迅即達到終端速度。磁鐵下方以長 80 公分的木桿連結兩銅錠，此倒 T 形結構與磁鐵一起等速落下。兩銅錠分別鑽孔，並套在兩直徑 10 公厘之細鋁管外，細鋁管直徑僅較銅錠孔徑略小。超聲波喇叭安裝在倒 T 形架上，當其落下時，訊號產生器 40000 Hz 之電壓振盪即由細鋁管，經銅錠推動超聲波喇叭，成為等速運動的聲源。其速度則由紅外線偵器和計時器（最小單位萬分之一秒）測得。裝置在下方的麥克風接收超聲波，經訊號放大器，接計頻儀測出其改變了的頻率。計頻儀的測量時間間隔(Gate Time)須調整適當，使測得頻率之有效位數在小數點以下第二位；其觸發強度(Trigger level)亦須調整，且選用較穩定的訊號產生器，使選定頻率（40000 Hz 左右）之漂移約在 20 秒 1 Hz 之間。計頻儀之訊號輸入端聯結一磁簧開關，當磁鐵靠近磁簧開關時，計頻儀之輸入訊號因而被短路，計頻儀即顯示超聲波喇叭以等速落至麥克風上方約 10 公分處時麥克風收到的頻率。儘快記錄之後，切斷磁簧開關線路，計頻儀再顯示喇叭靜止時麥克風收到的超聲波頻率。

經實際測試，當超聲波喇叭之速度慢到只有 0.1 公尺／秒，理論計算的頻率變化（約 13 Hz）和實驗值之間的誤差仍在 15% 之內。速度增加，則誤差縮小。如果仔細加以改裝，喇叭和麥克風也可靜止並列，將反射物安裝在倒 T 形架上，以一般傳統的方法實驗。此外，捨棄套裝的偵測系統，各別採用已商品化的計頻儀和訊號產生器，尙具有精密度高、組合靈活、教學和創作空間大（亦可兼用於其他實驗）、價格合理等優點。當然，磁鐵不見得非在金屬管中才能發生磁刹車的作用，只不過其他設計在組裝加工時精密度要求較高。



圖說：

本實驗裝置的示意圖，為明晰起見，各部組件並未完全按比例繪出，支架部分則全部略去。

誌謝：

感謝楊忠喜老師支持、台大物理系經費資助、吳新波先生協助加工。

註解：

1. 光之行進無須介質，故其都卜勒效應與聲波之都卜勒效應本質上有所差異。
2. 氣墊軌為一橫截面呈三角形的中空軌道，狀似屋脊的軌道壁均勻散布許多小孔，壓縮空氣打入中空軌道後由小孔噴出，跨騎在軌道上的倒 V 形載具，即因小孔所噴出的空氣形成氣墊而能在軌道上幾不受摩擦力地滑動。
3. 普通物理教科書談到法拉地定律時，多會提及這現象。