

探究與實作的範例---鋁桿的聲波

賈至達

國立臺灣師範大學物理學系

E-Mail:chiact@ntnu.edu.tw

一、前言

十二年國教新課綱的實施中，最至關重要的改變是要提升全民的素養，因此在自然科學領域中提出探究與實作的必修課程，並且是納入大考中心學測與指考的考試範圍！政府提倡探究與實作教學課程的決心顯見一般，但是如何執行方面依舊是沒有很好的配套。不論是在教學現場的教學過程、評量題目的形式，都會有很多爭議！傳統講述法的教學過程中，老師要如何引導學生問問題就十分棘手，尤其是學生都沒有興趣的時候，又如何可以帶動學生學習？探究與實作的課程並非是要將傳統教學模式完全摒棄，而是課程要如何讓學生跟著老師一起投入在教學過程中。自然科學領域的課綱中，有一些範例；而以下討論，僅是以鋁棒發出聲音的例子，做一個簡單教學與評量的說明。

二、驚聲尖叫的鋁棒學習聲波

自然領域新課綱物理選修課程中有兩學分的課程：“波動、光及聲音”；學習波動相關的現象；因此可以用鋁桿的振動發聲，在課堂中示範演示、或者是學生們自己動手測量。在網路上有許多相關的影片，在 YouTube 上搜尋 Singing Rod 就可以發現很多影片(延伸閱讀 1)，討論金屬鋁桿的共振發出聲音，教學時候也可以讓學生自行搜尋觀看。敲擊任何物體都會有聲音發出，是日常生活中常見的現象，例如細金屬桿製的風鈴等。筆者建議用鋁桿進行聲音的教學，其共振發聲效果很好，因此用於探究聲波是很好又簡單的設置。建議老師示範時可以採用長約 90~100 公分、粗約 2~2.5 公分的鋁桿進行效果較好；也可以製作數根 1~2 公尺長短不一的鋁桿進行實驗示範。老師是可以用手夾住鋁桿的正中間，並用小木槌敲擊。不過筆者建議夾子座緊緊夾住鋁桿正中間，這樣危險性較小，如圖 1 所示；如此學生進行敲擊時也比較容易。

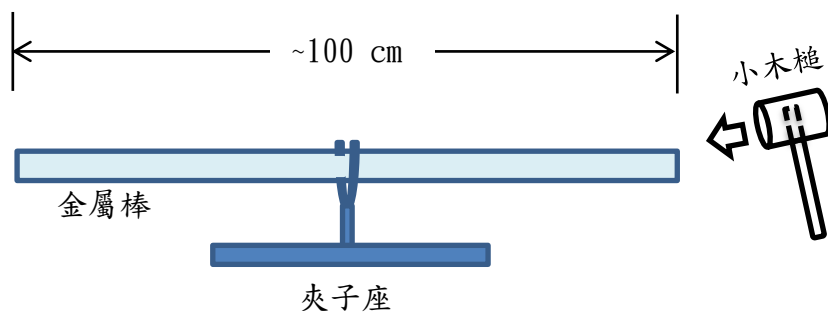


圖 1：敲擊鋁桿的裝置示意圖

當木槌子敲擊金屬棒的一端時，一開始時會發出多種頻率的聲音，但幾秒鐘後，就僅能聽到一種高頻率的聲音，且可以持續好幾十秒，甚至超過一分鐘還可以隱約聽到該頻率的聲音。這現象有很多問題可以引導學生進行探究，例如：

1. 敲擊金屬桿會在金屬棒中產生縱波或是橫波？原因為何？金屬桿是如何會讓空氣振動？

此引導的問題是希望學生了解在空氣中為何僅能有縱波，其物理原因為何？而固體的物質中可

以有橫波原因為何？金屬桿與空氣之間的交互作用為何？這些問題都可以和自然領域課綱中所提到的主題相聯結。

2. 為何剛開始時有許多種不同頻率的聲波？為何最後僅有一種特定頻率的聲音可以延續很長時間？可以用何種現象解釋特定頻率聲波延續很長時間的原因？

“剛開始時有許多種不同頻率的聲波”的問題是延續前一小題討論，學生們不一定依照問題順序問問題、也有部分學生會搶著回答。在必修物理的課程中，通常會提到共振的現象，老師可以讓學生們試著討論金屬桿中的共振機制，引導學生們朝向駐波思考，並構思可能的駐波的圖形。授課時如果有些音感很好的同學，可以請他們判別出頻率的範圍。

3. 敲擊鋁桿後，特定頻率聲音強度如何分布？要如何測量該特定聲波的頻率？可以畫出波的形式嗎？

這部份的工作是要引導學生設立測量的方法，以及數據的整理，並做出初步的結論。最傳統的方式，是用耳朵去感受金屬桿四周聲音的強度。如果課堂上允許學生使用手機或是平板，可以先詢問是不是有辦法測量強度分布？或者是測量頻率？將手機(或是平板)，圍繞在桿的四周，可以測量聲音強度的分布，利用相關的 APP 也可以測量頻率，如 phyphox。讓學生們自己去討論、自行去測量，記錄相關數據，就所得到的結果進行討論，然後做出結論。值得一提的是聲波是疏密波的問題，有用位移和壓力差兩種方式；其中以位移的數學形式較為普遍，但也有討論聲波壓力變化的數學形式，兩者相位差為 90° 。圖 2 所顯示金屬桿共振波的幾種形式；因為金屬桿中間是節點，因此兩端的位移最大，對於特定頻率聲波的強度測量可以判斷出振幅最大的方向。上述的測量是可以決定駐波的形式，進一步討論金屬棒的材質和相關的變數。

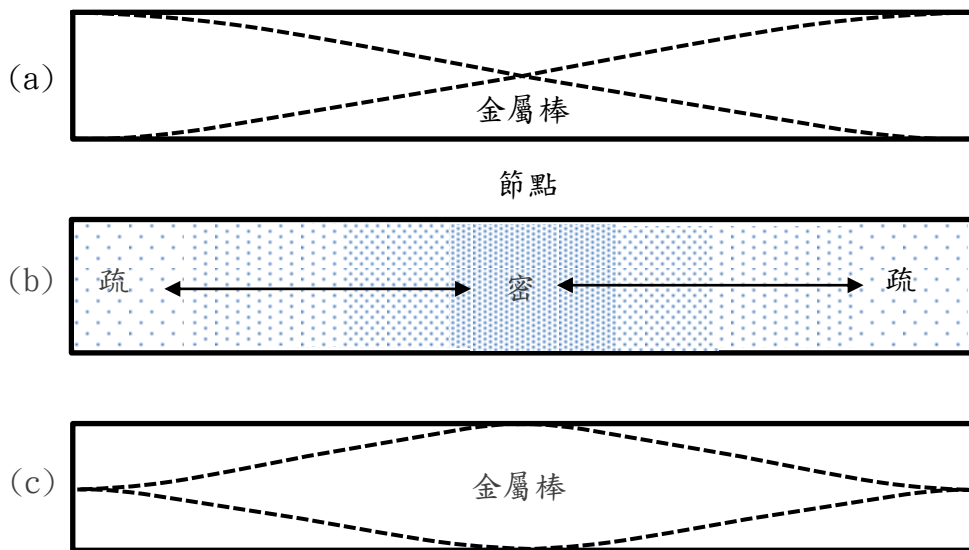


圖 2：(a)以位移的方式描述金屬棒中的波形；(b)以疏密波的形式描述金屬棒的聲波；(c)以壓力的方式描述金屬棒中的聲波。

依據上述 1~3.對特定頻率測量結果，搭配駐波的圖形是可以求得波長和金屬中的波速。因為老師是題目設計者，老師可以知道學生測量所得到的結果是不是正確；當學生測量上有問題，所得到的波速落在 $5500\sim 6000\text{ m/s}$ 的範圍之外，可以引導學生檢視並理解所發生問題並予以更正。老師在進行教學時，事先並沒有告知金屬棒材質是鋁，課程的設計也可以讓學生在探究的過程中，確認金屬桿的材質鋁桿。

4. 如何判斷出金屬棒的材質？請問判斷依據為何？金屬棒的材質為何？

固體的波速 v 可以直接查詢而得到(延伸閱讀 3)，另一方面也可以用公式 $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ 計算出聲速，

其中 ρ 為密度， B 為體彈性規模而其定義為： $B = -V \frac{\Delta P}{\Delta V}$ ，即壓力增量 ΔP 作用下產生之單位體積

變化量 $(\Delta V/V)$ 的倒數，即 $\frac{\Delta V/V}{\Delta P}$ 的倒數，且為維持正值($B > 0$)而加上負號。由網站上的資料，

學生可以試著列出常見金屬的數據如下表一。學生通常對於繩波速率有概念者可以直接想到

$v = \sqrt{T/\mu}$ ，其中 T 張力、 μ 單位長度的質量，且可以對等而得知 $v = \sqrt{B/\rho}$ 。如果學生不知道繩

波速率 $v = \sqrt{T/\mu}$ ，可以由因次分析，而得到速率等於 $\sqrt{B/\rho}$ 。因為 $B/\rho = \text{Pa} \times \text{m}^3/\text{kg} = (\text{m/s})^2$ ，

也可以求得速率與密度和體彈性規模的關係。

三、結語

金屬棒發聲試例，僅是用一般文章方式表達，與老師現場口語互動的臨場教學不同，但是最重要的老師們如何引導；讓學生由觀察而提出問題、規劃設計相關測量、數據分析與討論，最後測知未知的金屬物質。探究的過程看起來是學生在主導過程，其實是老師在引導學生，但是讓學生主動參與教學過程；這是探究與實作課程教學中很重要的一種體認。

表一：常見金屬的材料密度、熔點、沸點和體彈性規模列表

原子序數	金屬	密度 (kg/m^3)	溶點 ($^{\circ}\text{C}$)	沸點($^{\circ}\text{C}$)	體彈性規模 B ($\text{GPa} = 10^9 \text{ Pa}$)
13	鋁	2.7×10^3	660.32	2519	62~106
26	鐵	7.874×10^3	1538	2861	160~178
29	銅	8.93×10^3	1084.62	2927	130~145
47	銀	10.49×10^3	961.78	2162	84~118
79	金	19.3×10^3	1064.18	2856	148~180
82	鉛	11.34×10^3	327.46	1749	30~45

延伸閱讀：

- 金屬棒共振發聲：<https://www.youtube.com/watch?v=czlV2qv0ZBw>
<https://www.youtube.com/watch?v=qQgP9zG681g>
<https://www.youtube.com/watch?v=7VGIBZOywIg>
- 固體中的聲速：https://www.engineeringtoolbox.com/sound-speed-solids-d_713.html
- 金屬密度：[https://en.wikipedia.org/wiki/Densities_of_the_elements_\(data_page\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Densities_of_the_elements_(data_page))
- 體彈性規模：<https://www.azom.com/>