

## 2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 普高組 技高組 成果報告格式

題目名稱：駐此發生 泛動音律

### 一、摘要

本研究探討駐波與泛音的關聯，並透過實驗驗證駐波模式如何決定基頻分布與泛音排列，進而影響樂器音高變化及音色表現。藉由樂器模擬與頻譜分析，我們說明為何不同樂器或演奏方式會產生不同音高及獨特音色，並探討其在音樂與音響工程等領域的應用。

- 1.駐波介紹: 介紹駐波的基本原理、特性、波形特徵及節點與腹部的分佈。
- 2.與泛音的連結: 講解駐波可以決定出現哪些泛音、頻率，以及駐波的相對強度。研究駐波模式如何影響樂器的泛音分佈與音色特性。
- 3.樂器的頻譜分析: 利用 Cubase 數位音樂工作站及 TDR PRISM 頻譜分析軟體，圖示化呈現不同樂器基頻泛音的排列。

### 二、探究題目與動機

在我們的樂團演奏經驗與多種樂器學習歷程中，我們發現一個耐人尋味的現象：許多樂器在相同的指法或演奏方式下，卻能產生不同的音高或音色表現。例如，吉他在不同把位彈奏同一音符時，雖然音符相同，卻因泛音組成不同而展現出不同音高；長笛與單簧管則可透過改變吹奏技巧，在不變更指法的情況下演奏出不同的泛音；銅管樂器更是僅透過氣流速度與唇部張力的調整，即可控制音高，呈現豐富的泛音系列。

這些現象引起了我們的好奇心。經過查詢與初步探究，我們發現這些聲音變化的背後，「駐波」與「基頻及泛音」的物理機制密切相關。駐波的形成條件、振動模式，以及樂器共鳴腔體的結構，都是決定聲音特性的重要因素。

### 三、探究目的與假設

#### 1. 駐波現象決定樂器的基本音高

假設：樂器的基本音高取決於其內部形成的駐波頻率，該頻率與弦長、張力或氣柱長度等物理條件密切相關。

說明：在弦樂器與管樂器中，聲音的產生源於駐波的形成。根據波動理論，駐波的基本頻率（基頻）會受到弦的長度或是氣柱的長度影響，進而決定樂器所發出的基本音高。演奏者可以改變駐波模式，產生不同的音高。

#### 2. 泛音結構決定樂器的音色特性

假設：樂器的音色由泛音的排列所決定，不同材質與結構會造成泛音的差異，進而形塑每種樂器獨特的聲音特色。

說明：音色是區分不同樂器發出相同音高的關鍵。物理上，音色反映的是基頻以外的泛音成分的排列。如小提琴、吉他等弦樂器會產生豐富的泛音，使聲音更具層次與厚度。不同樂器在振動時因為結構、材質與激發方式的不同，會產生不同的泛音分布，進而形塑各自獨特的音色

#### 四、探究方法與驗證步驟

假設 1：駐波決定樂器的基本音高

探究方法：

使用相同樂器錄製不同音高的音符，並用 TDR Prism 頻譜分析觀察基頻的變化。

驗證步驟：

1. 在 Cubase 內建音源 HALion Sonic 中選擇一個樂器音色，模擬弦長變化( 較短弦長 = 高音，較長弦長 = 低音 )。
2. 設定相同力度 ( Velocity )，錄製相同音符(如 cubase 中的中央 DO: C3=261.63 Hz)。
3. 利用 TDR Prism 觀察基頻的變化。· 確認基頻是否隨弦長改變。

假設 2：泛音的強度與排列決定音色

探究方法：

使用不同樂器音色 ( 如長笛、吉他、小提琴 ) 錄製相同音高的音符，並用 TDR Prism 觀察泛音排列與強度。

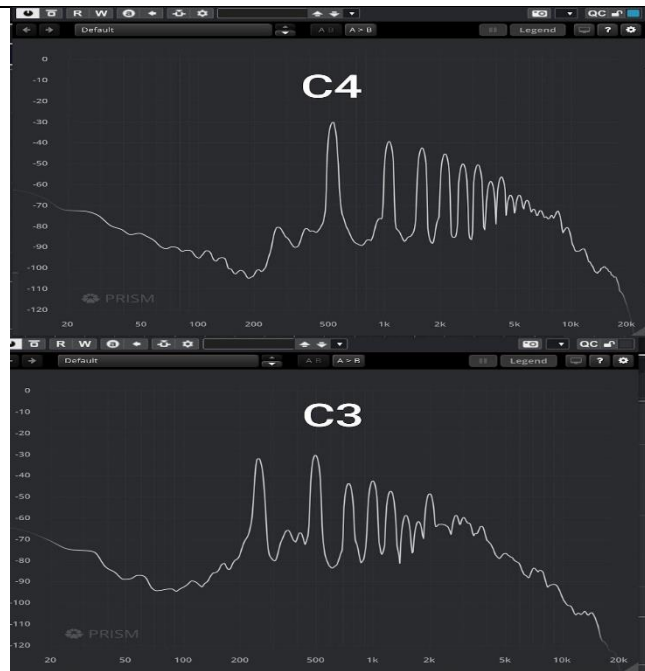
驗證步驟：

1. 在 Cubase 內建音源 HALion Sonic 中選擇鋼琴、弦樂器、管樂器彈奏相同音符( 如 C4 )。
2. 使用 TDR Prism 分析頻譜，記錄基頻 ( F0 ) 與泛音 ( F1, F2, ... )。
3. 比較不同樂器的 泛音排列 ( 哪些泛音較強、哪些較弱 )。

#### 五、結論與生活應用

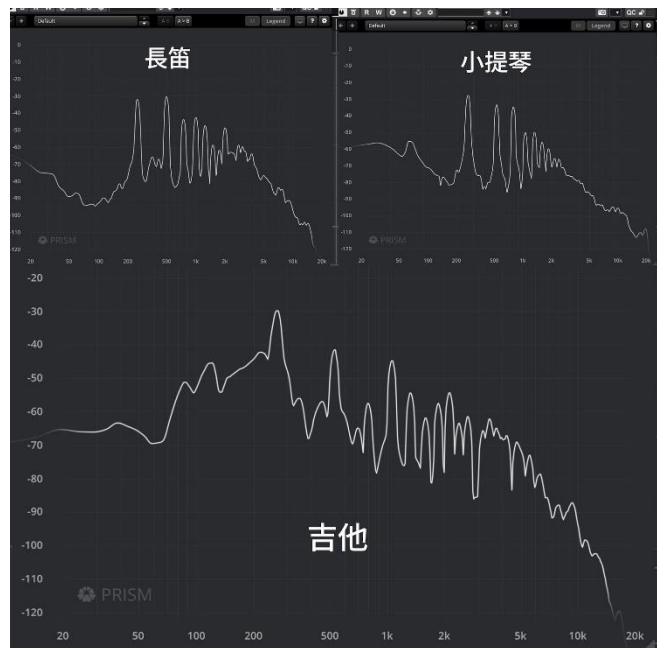
結論

1. 琴弦長度決定基頻高低，基頻高低決定聲音音高。短弦 / 短氣柱 → 高基頻 → 音高上升  
長弦 / 長氣柱 → 低基頻 → 音高下降



小提琴頻譜分析圖

2. 樂器在發聲時所產生的泛音排列特徵，會決定不同樂器的音色。



不同樂器的頻譜呈現

3. 最左邊為基頻，因基頻決定基本音高，所以當我們彈奏相同音符時，三種樂器基頻一致。後續泛音排列則決定樂器音色。



三種樂器的頻譜比較圖(藉由 ChatGPT 輔助繪畫)

### 生活應用

- 音響&建築聲學: 房間內的聲波反射可能產生駐波，影響音響效果。
- 音響與錄音技術: 在錄音與混音時，了解泛音結構可以幫助調整等化器(EQ)，讓樂器聲音更清晰豐富。歌手的共鳴腔（喉嚨、口腔）與樂器的共鳴腔原理類似，可用於美聲訓練。
- 噪音控制與聲學工程:
  - 消音器與建築聲學利用駐波原理，設計吸音材料來減少特定頻率的噪音。
  - 演奏廳設計需考慮駐波影響，以避免不必要的共振，優化音場表現，提升聆聽品質。
- 醫生利用聽診器來聽病人體內的泛音，例如:
  - 健康的心跳主要以低頻聲音為主，而「心雜音」則是因為血液流動產生額外的泛音，這可用來診斷心臟問題。
- 為什麼我們能分辨不同人的聲音？
  - 每個人的聲音都有不同的泛音分布，因此即使兩個人說話頻率相近，我們還是能透過泛音來辨識不同的聲音。
  - 這也是語音辨識技術（Siri、Google Assistant）能否分辨不同人的主因！

### 參考資料：

- Khan Academy。Up class 11 Physics。網址:  
<https://www.khanacademy.org/science/physics/mechanical-waves-and-sound>

2. 波動【觀念】駐波的條件與特性 ( 選修物理III ) 。泛音列。網址:<https://www.youtube.com/watch?v=0iJmDhNocaQ>
3. 維基百科。駐波。網址: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A7%90%E6%B3%A2>
4. 維基百科。泛音。網址: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%9B%E9%9F%B3>
5. 維基百科。泛音列。網址:  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%9B%E9%9F%B3%E5%88%97>
6. 好和弦 NiceChord.com。泛音列到底是甚麼?。網址: <https://nicechord.com/post/harmonic-series-once-and-for-all/>
7. 維基百科。音訊訊號處理。網址: <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9F%B3%E9%A2%91%E4%BF%A1%E5%8F%B7%E5%A4%84%E7%90%86>
8. 每日頭條。音色的秘密。網址: <https://kknews.cc/zh-tw/n/56me5n6.html>
9. 樂手巢 ysolife。【混音事】讓聲音多一些「個性」，何謂泛音染色?。網址:<https://ysolife.com/harmonic-mixing/>
10. Physnet。Standing waves。網址:[https://physnet.org/modules/pdf\\_modules/m433.pdf](https://physnet.org/modules/pdf_modules/m433.pdf)
11. plos.org。string theory。  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0102088>
12. 普洛影音網。衛武營音樂廳音響效果初探。網址: <https://audionet.com.tw/thread-12092-1-1.html>