

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080121

暗藏「音」色-弦上之音

學校名稱：桃園市八德區八德國民小學

作者：  小六 湯子毅  小六 吳榮臻  小六 彭權毅	指導老師：  黃宏隆  王榮彰
---	-----------------------------

關鍵詞：弦、吉他、頻率

## 摘要

自然課學到弦的鬆緊和長短會影響聲音的高低，老師用吉他弦說明改變弦長後，音高就會跟著變化，我們對吉他能發出各種樂音充滿好奇，改變一個振動弦的音高除了用吉他上的旋鈕改變弦的鬆緊度，也可利用縮短弦長的方式提高振動頻率，弦振動的頻率代表聲音的高低。當我們拿儀器測量吉他弦的振動頻率，發現每條弦振動時都不只有單一個頻率，還會伴隨一些頻率的產生，查詢網路上關於弦振動的一些知識，知道弦振動的模式相當複雜，於是我們特製一個三弦琴，專門研究這些頻率和樂音的關係，依測得的頻率數據，發現弦振動時所產生的各種頻率和樂器使用的樂音有奇妙的關聯。

### 壹、研究動機

上學期的自然課，老師在「聲音的探討」單元曾經拿吉他來說明：「同一條弦，縮短它的振動長度可以得到較高的音」，只見老師用指頭按著吉他弦上不同位置，就彈撥出高高低低的聲音；同一條弦，縮短的弦彈起來會比原來長度的弦聲音高，這個現象我們都知道，但我們不懂的是：為什麼老師按指板上某些格子就可以彈奏出美妙的音樂？這些格子的距離是不是有某種規律。後來老師問有沒有人想參與科展的製作？引起許多同學的好奇，雖然我們還不知道老師葫蘆裡賣什麼藥，但我們都很有興趣；老師選出了我們三位成員，經大家討論後，吉他這個樂器就成為我們研究的主題，在老師的指引之下，我們開始著手「弦上之音」的研究計劃。

### 貳、研究目的

- 一、弦振動時產生的音高如何測量。
- 二、弦的振動頻率與音高的關係。
- 三、弦振動產生的許多音和主音的關係。
- 四、弦上  $1/2$  處、 $1/3$  處、 $1/4$  處的音高和音樂系統有無關聯。

五、吉他指板格子的距離是怎麼定的。

## 參、研究設備及器材

吉他弦、弦鈕、木板、長尺、麥克風(或拾音器)、電腦、測量軟體(Soundcard Scope)、調音器。

## 肆、研究過程及結果

### 一、弦振動時產生的音高如何測量

演奏吉他前都要做一個動作-調音，一般吉他調音可用調音器，但市售的調音器只顯示音高正不正確，如果想進一步知道這條弦振動時的其他數據(例如頻率)，調音器似乎無法滿足我們的研究需求。



音高可用頻率來表示，頻率高代表聲音高。上網搜尋能測量聲音頻率的程式，找到一個免費的軟體-Soundcard Scope，下載到電腦安裝並連接麥克風，透過電腦的音效卡將聲音傳輸到電腦程式就可測出弦振動的頻率。



聲音的產生是因為物質的振動，物質振動的快慢表現出聲音的高低，物質振動越快，產生的聲音越高。聲音的高低可用頻率來表示，頻率的單位是"赫茲"(Hz)，也就是每秒鐘振動的次數。

**實驗發現：**一條弦的振動會有很多個頻率產生，其中有一個頻率很常出現，是主要的頻率，也就是主音。

## 二、弦的振動頻率與音高的關係

為了仔細研究弦產生的這些頻率，我們把吉他簡化，特製一個只有三條弦的模型，這三條弦採用吉他的第 2 弦、第 4 弦、第 6 弦，分別為細、中、粗三種粗細的弦。



**實驗模型製作：**在 80cm 長的木板一端固定三個吉他用的旋鈕，兩個弦枕的距離 64.5cm，木板的另一端鑽三個小洞，讓三條弦穿過去剛好可以卡住，將弦另一端纏繞在旋鈕，然後轉動旋鈕直到弦被拉緊。



製作完成實驗模型後，試著彈撥這三條弦，比較看看它們振動的情形及聲音如何。

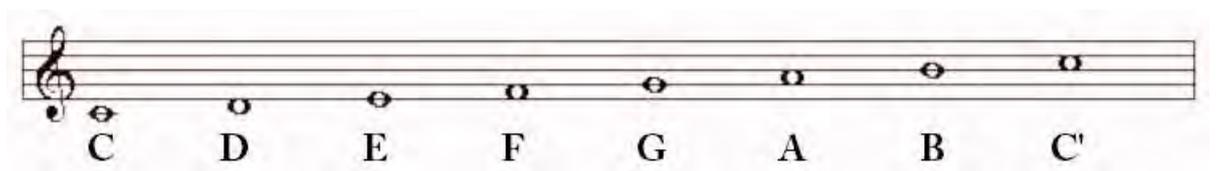
**實驗發現：**弦振動的頻率越高代表聲音越高；弦振動的頻率越低代表聲音越低。

### 三、弦振動產生的音和主音的關係

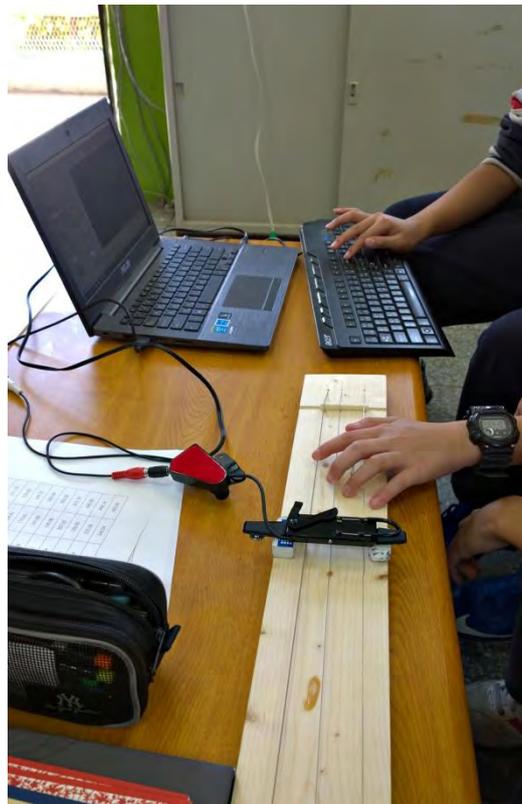
在探討弦音之前，有關音樂用語的部份，我們先瞭解每個音的名稱，以方便接下來的實驗說明。樂音的名稱分為「唱名」和「音名」兩種，依照音高順序排列，將相對應的唱名和音名整理成下表：

唱名	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si
音名	C	D	E	F	G	A	B

音樂系統中使用七個音高名稱，音名對照五線譜上的位置如下圖：



利用我們製做的實驗模型，將三條弦調整到適當的鬆緊度，弦上放置拾音器，拾音器的作用是它可以感應到鋼弦的振動，因電流變化產生訊號，這些訊號經電腦處理後得到振動頻率，就是我們要研究的數據，把這些數據記錄下來。



彈撥這三條弦，分別測到的頻率數據如下表：

B、D、E 三條弦振動時出現之頻率

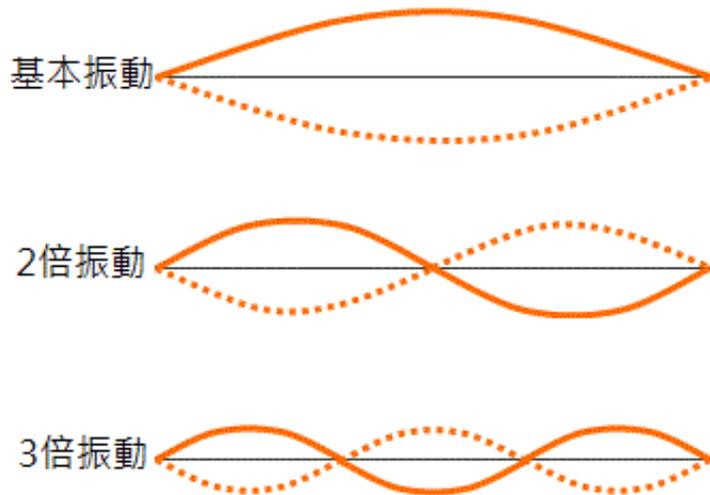
(單位: Hz)

吉他弦	音名	較常出現頻率← →較少出現頻率					
		第 2 弦(細)	B3	主音 246	987	646	523
第 4 弦(中)	D3	主音 148	296	443	178	591	369
第 6 弦(粗)	E2	主音 83	165	249	112	374	237

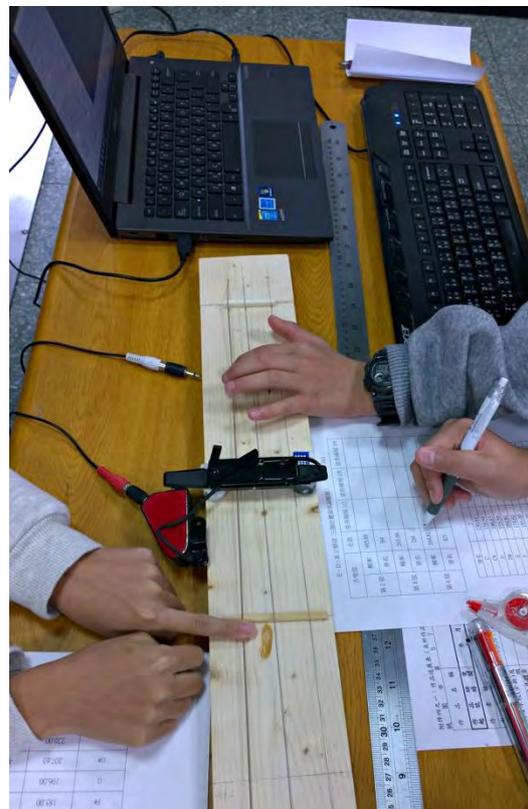
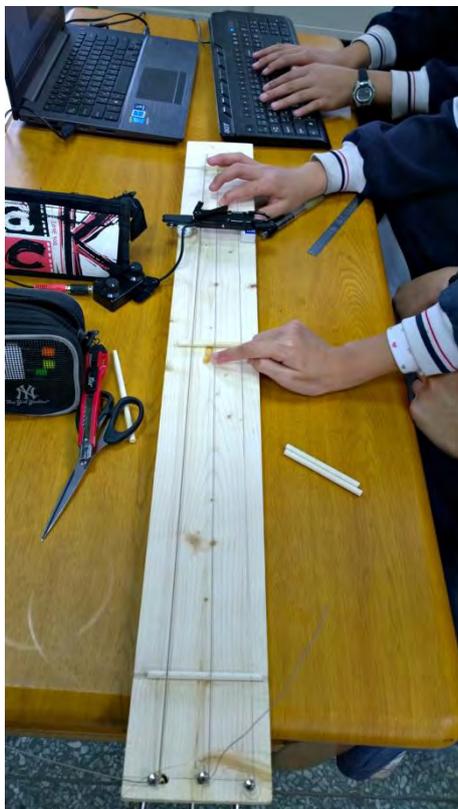
**實驗結果:**弦振動時會伴隨其他頻率的產生，最常出現的頻率是這條弦的主要振動頻率，其他出現的頻率似乎也跟主頻率有著倍數或某種比例的關係。

#### 四、弦上 1/2 處、1/3 處、1/4 處的音高和音樂系統有無關聯

為了更瞭解弦是怎麼振動的，我們請教了 google 大神有關於弦振動的知識，根據查到的資料，知道弦有如下圖所示的振動模式：



從我們的實驗數據也發現除了主頻率，其他伴隨出現的頻率也和主頻率有 2 倍、3 倍甚至 4 倍的關係，我們突發奇想，把弦長縮短  $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ ，看會測到怎樣的頻率。仿照吉他琴弦的方式，用竹筷取代琴弦，固定在弦  $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$  處，彈撥時用手指按住竹筷上的弦，達到縮短弦長的目的。



根據查到的音名標準頻率如下表：

音名	2	3	4	5
C	65.4	130.81	261.63	523.25
C#	69.3	138.59	277.18	554.37
D	73.4	146.83	293.66	587.33
D#	77.8	155.56	311.13	622.25
E	82.4	164.81	329.63	659.26
F	87.3	174.61	349.23	698.46
F#	92.5	185.00	369.99	739.99
G	98	196.00	392.00	783.99
G#	103.8	207.65	415.30	830.61
A	110	220.00	440.00	880.00
A#	116.5	233.08	466.16	932.33
B	123.5	246.94	493.88	987.77

再對照我們測到的音頻數據，將測得頻率及對照音名整理如下表：

E、D、B 三條弦三個位置的頻率與音高 (單位: Hz)

吉他弦		原弦長	弦長縮短 1/2	弦長縮短 1/3	弦長縮短 1/4
第 2 弦 (細)	測得頻率	<b>246</b>	<b>495</b>	<b>368</b>	<b>328</b>
	對照音名	B3	B4	#F4	E4
第 4 弦 (中)	測得頻率	<b>146</b>	<b>292</b>	<b>218</b>	<b>195</b>
	對照音名	D3	D4	A3	G3
第 6 弦 (粗)	測得頻率	<b>83</b>	<b>167</b>	<b>125</b>	<b>112</b>
	對照音名	E2	E3	B2	A2

**實驗結果：**弦長與頻率成反比，弦長越短頻率越高。在弦 1/2 處、1/3 處、1/4 處產生的音正好與音樂上使用的音相吻合。

如果再拿第一次實驗的結果來做比對：

B、D、E 三條弦振動時出現之頻率 (單位: Hz)

吉他弦	音名	較常出現頻率←			→較少出現頻率		
第 2 弦(細)	B3	主音 246	987	646	523	771	1508
第 4 弦(中)	D3	主音 148	<b>296</b>	443	178	591	369
第 6 弦(粗)	E2	主音 83	<b>165</b>	249	<b>112</b>	374	237

**實驗發現：**弦振動時產生的許多頻率中，有的和縮短弦長 1/2 的頻率一樣，也有和縮短 1/4 的頻率一樣。

為了確認弦振動產生的音頻中有的會和縮短 1/2、1/3、1/4 長度後產生的音頻有關聯，我們再重做一次弦的振動實驗，這一次我們特別只把和弦長縮短 1/2、1/3、1/4 有關係的數據記錄下來，依照音頻大小順序整理如下表所示：

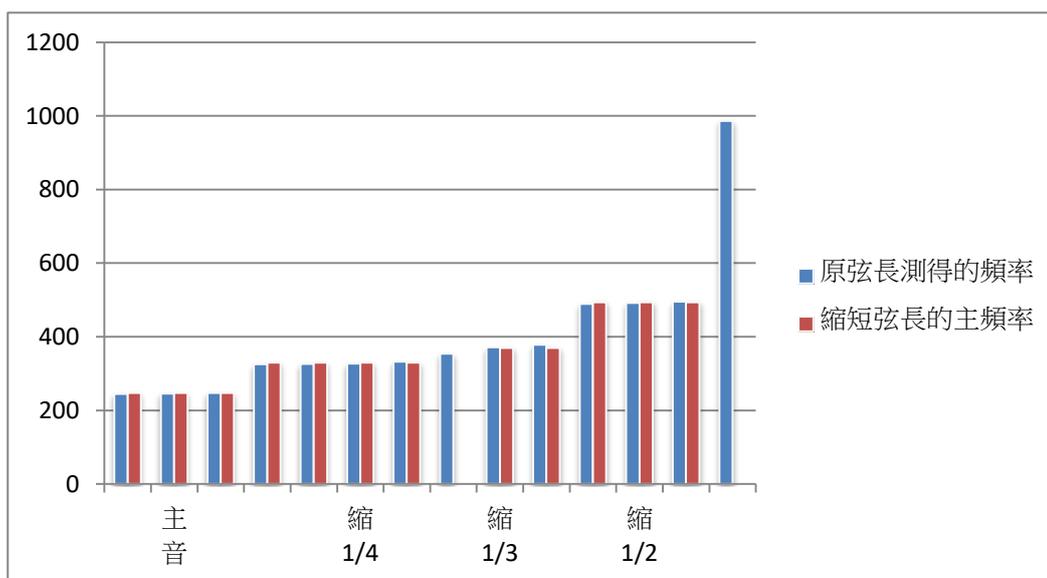
E、D、B 三條弦上的音高頻率 (單位: Hz)

吉他弦	音名	弦振動時產生的各種頻率						
第 2 弦	B3	245	246	247	325	326	327	332
		354	371	378	489	492	495	986
第 4 弦	D3	144	146	147	194	195	212	217
		219	220	293	439	585		
第 6 弦	E2	84	87	88	111	112	119	123
		125	163	164	167	249	373	

與縮短弦長 1/4、1/3、1/2 後的頻率做對照，依大小順序整理成下圖表：

B 弦縮短後的音高頻率 (單位: Hz)

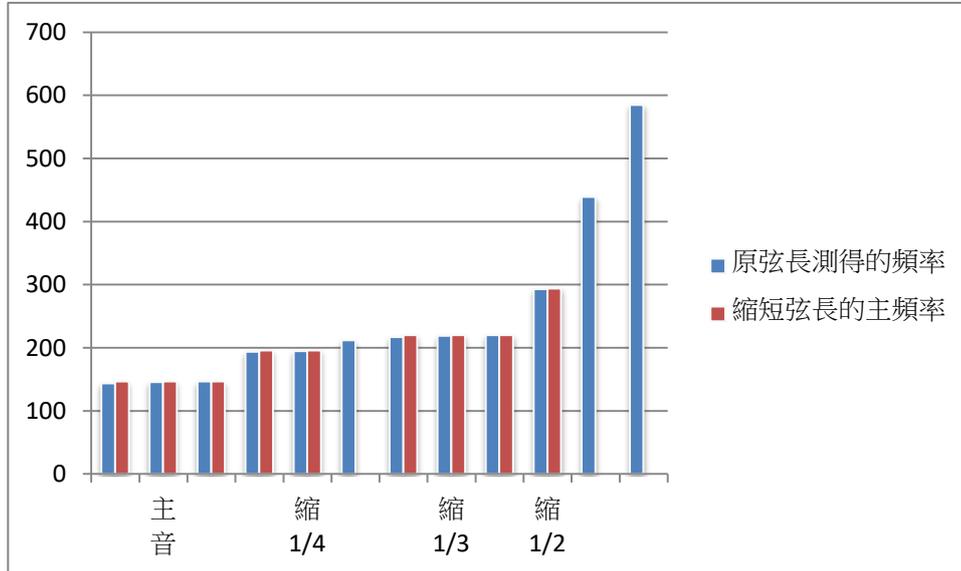
吉他弦	音名	原長	縮短 1/4	縮短 1/3	縮短 1/2
第 2 弦	B3	主頻率 246	主頻率 328	主頻率 369	主頻率 492



D 弦縮短後的音高頻率

(單位: Hz)

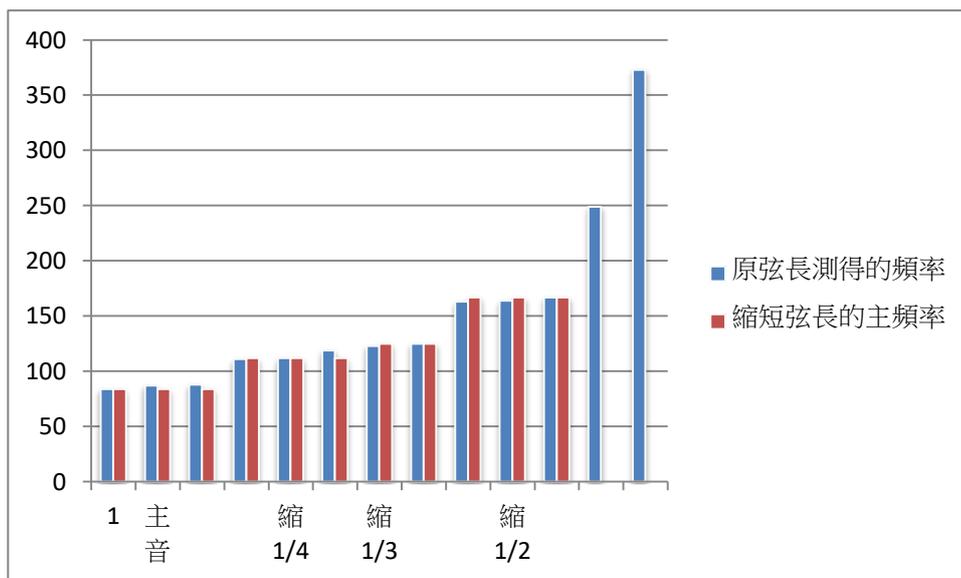
吉他弦	音名	原長	縮短 1/4	縮短 1/3	縮短 1/2
第 4 弦	D3	主頻率 147	主頻率 196	主頻率 220	主頻率 294



E 弦縮短後的音高頻率

(單位: Hz)

吉他弦	音名	原長	縮短 1/4	縮短 1/3	縮短 1/2
第 6 弦	E2	主頻率 84	主頻率 112	主頻率 125	主頻率 167

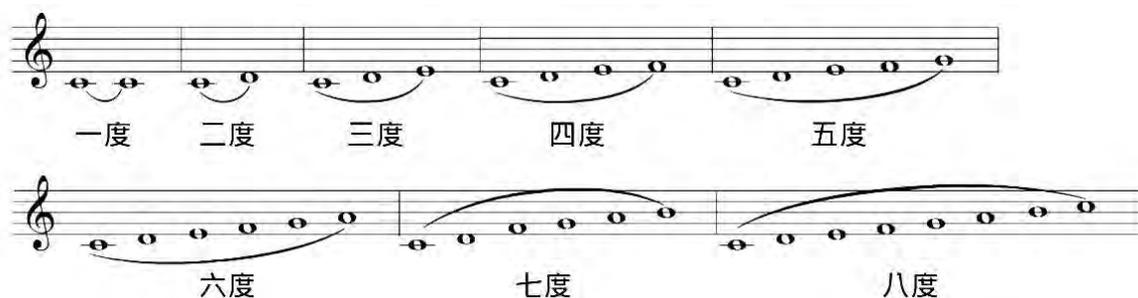


**實驗結果：**弦上的音和縮短 1/2、1/3、1/4 弦長後的音很有關係，有些音與主音呈 2 倍、3 倍…的關係；兩音之間有的呈 2:3 的比例關係。

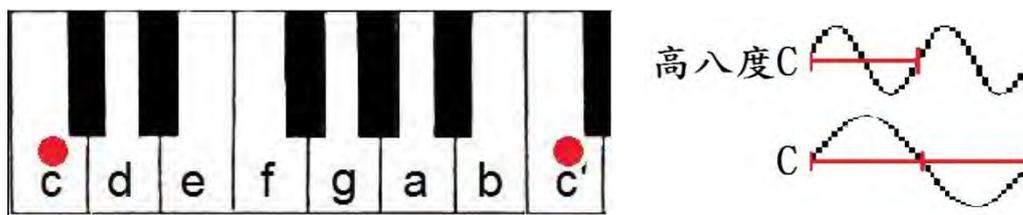
### 五、吉他指板格子的距離是怎麼定的

根據上網查到的「畢達哥拉斯的和諧理論」：歷史紀載公元前五百年左右的希臘，以畢達哥拉斯為首的學派，他們研究振動的弦，發現音樂的音程乃是受到「整數比」的支配，可依簡單的整數比值，改變弦的長度，而得到不同音程的音高。

首先瞭解一下兩音之間的距離稱為「音程」，單位以「度」來表示。



若全長發出的音高為 C，則以一半的弦長發聲可得高八度的 C：

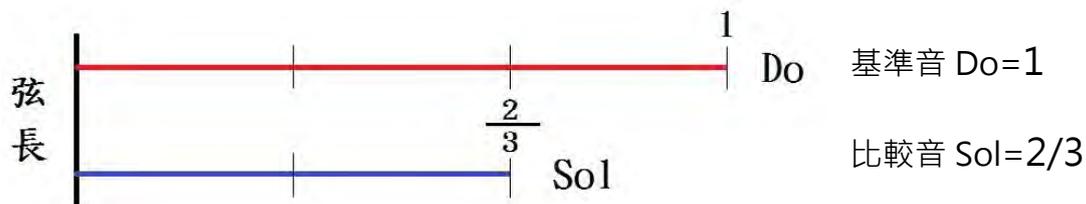


以 Do 的弦長當基準音，縮短一半就可得到高音 Do：



當我們將弦長縮短 1/3 時，原弦長和縮短的弦長比就成為 3：2，根據中國最早的音樂律制--「三分損益法」，它最早記載見於《管子·地員篇》：「從一個被認為基音的管

長出發，把它分為三等分，再去掉一分或加上一分，成為另一音的長度。」去掉一分就是縮短  $1/3$ ，這樣就可以得五度音，以圖例來說明：



長弦以 Do 為基準音，弦長比  $2:3$  的時候，可得較短的弦 Sol，是五度音關係。

舉例來說，以吉他第六弦為例，第六弦空弦是 E，它的上五度音是 B，

E 的五度音算法：E 往上數五個音 E→F→G→A→B  
 1 2 3 4 5

第六弦 B 這個音對照指板上的音位置圖是在第 7 格，

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG
B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD
G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A
D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E
A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B
F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G

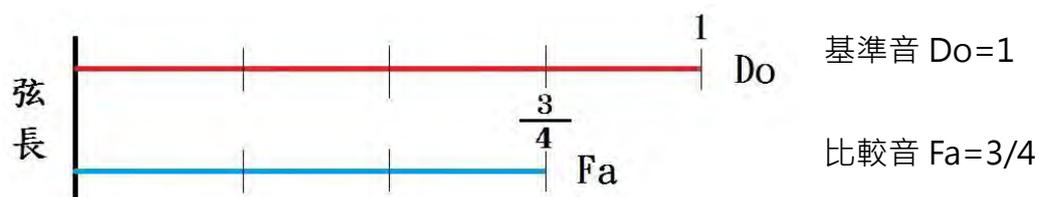
[驗證]：吉他弦全長 64.5cm 將它  $\times 2/3$  會等於下弦枕到第 7 格的距離：

基準音 E=1，比較音 B=2/3

$$64.5 \times 2/3 = 43 \text{ cm}$$

實際上在吉他指板量到的尺寸是 42.9 cm，和我們計算的 43cm 只有小小的落差，可能是量測上的誤差，我們的直尺最小只能量到 1mm。

當我們將弦長縮短  $1/4$  時，原弦長和縮短的弦長比是  $3:4$ ，這兩個長度的弦振動的聲音形成四度音程的關係，以圖例來說明：



長弦以 Do 為基準音，弦長比 3 : 4 的時候，較短的弦可得 Fa，是四度音關係。

以吉他第六弦為例，第六弦空弦是 E，它的上四度音是 A，

$$E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow A$$

$$1 \quad 2 \quad 3 \quad 4$$

根據吉他格子的音對照圖，A 這個音會是在指板上第 5 格的位置，

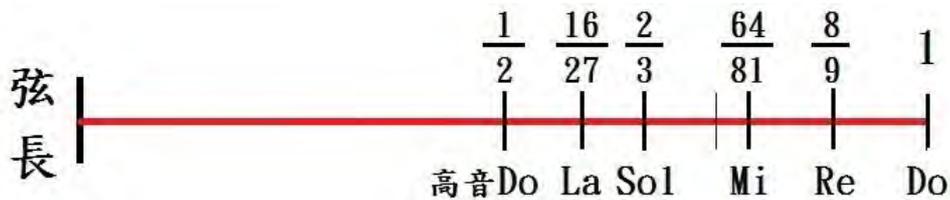
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG
B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD
G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A
D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E
A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B
F	F	#F/bG	G	#G/bA	A	#A/bB	B	C	#C/bD	D	#D/bE	E	F	#F/bG

[驗證]：吉他弦全長 64.5 cm 將它  $\times \frac{3}{4}$  會等於下弦枕到第 5 格的距離：

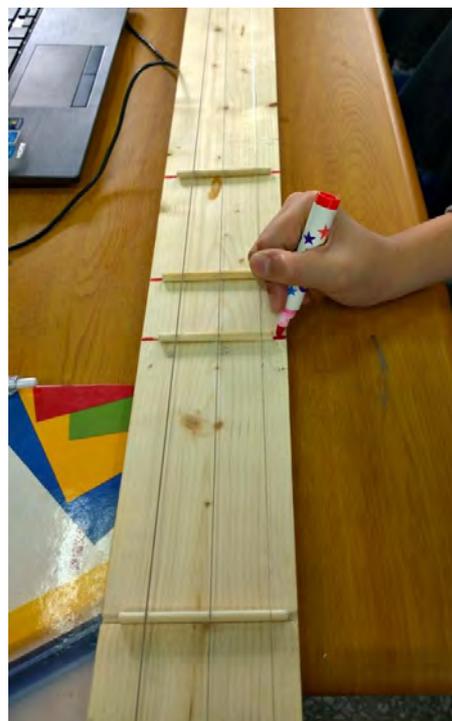
$$64.5 \times \frac{3}{4} = 48.375 \quad \text{四捨五入到小數第一位} = 48.4\text{cm}$$

實際上在吉他指板量到的尺寸是 48.3 cm，和我們計算的 48.4cm 只有小小的落差，受限於捲尺的精確度，這應該是量測的誤差。

依照這樣將弦長縮短  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$  的方式，可將縮短的弦長再繼續依  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$  縮短，超過八度的音可將弦長 $\times 2$  可回到原來的八度，最後可得到各音弦長的位置：



弦振動頻率其實也可以用手机 APP 來測量，手机 APP 程式除了顯示頻率外也顯示音名，就不用再對照音名頻率表查音名了，是好用的測量工具。



最後標示這些縮短 1/2、1/3、1/4 弦長位置，完成我們的科展作品。

## 伍、討論

### 一、為什麼要用電腦軟體來研究吉他弦的音？

原本我們認為拿調音器來測量就可達到研究目標，可是用了才發現得到的數據不夠多，如果想得到更多數據來研究就要有更精良的測量儀器，受於經費限制，我們利用現有的設備及免費軟體，來獲取比調音器能到更多的數據。

### 二、為什麼我們選吉他的第 2 弦、第 4 弦、第 6 弦這三條弦來做實驗？

只用一條弦做實驗的話，也許實驗數據不夠客觀，所以我們選擇粗、中、細三條不同粗細的弦做研究。

### 三、為什麼弦長縮短 1/2、1/3、1/4 產生的音和音樂系統有關聯呢？

老師說：弦長和振動頻率成反比，弦長縮短 1/2，兩弦長比是 1：2，當它們同時振動時，其中一個音振動一次，另一音剛剛好振動二次；弦長縮短 1/3，兩弦長比是 2：3，其中一個音振動三次，另一音剛好振動二次，依此類推，縮短 1/4，弦長比是 3：4 時，其中一個音振動四次，另一個就剛好振動三次，這麼剛好的聲音，聽起來就悅耳吧！

## 陸、結論

- 一、粗的弦比細的弦振動慢，聲音低。
- 二、弦振動時會伴隨其他頻率的產生，最常出現的頻率是這條弦的主要振動頻率，其他出現的頻率跟主頻率有倍數或簡單整數比的關係。
- 三、弦長與振動頻率成反比。
- 四、撥弦所測得的音和縮短  $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$  弦長後的音很有關係。
- 五、將弦長縮短  $1/2$  可得高八度音、縮短  $1/3$  可得高五度的音、縮短  $1/4$  可得高四度的音。
- 六、依照實驗結論五的原理可產生許多音樂系統的樂音，所以弦長經由縮短或增加某個簡單比例的長度，可定出吉他指板上音格的位置。

## 柒、參考資料及其他

- 一、史家瑩(主編)(2016)。6 上自然與生活科技課本。台南市：翰林。
- 二、郭治 (2001)。物理傳奇：美妙的聲。台北市：國際村。
- 三、蕭淑美、林伊慧、邱秋娟(1998)。科學真有趣-音階。臺北縣：錦繡。
- 四、郭震唐 (1994)。聲音的世界。台北市：圖文。
- 五、夏元瑜 (1989)。聲音的奧祕。嘉義市：明統。

## 【評語】 080121

本作品自製三弦平台產生弦波，學習音頻測量，進行樂音頻率規律性與諧頻探究。雖是古老的樂音原理，但也具研究學習精神。探究過程能使用電腦軟體分析數據，進行相關探究。不過，樂器的系統經過長久以來的調整和設定，在定量和定性化方面，難做其他變化；以至於研究內容與成果，比較難跳脫書籍上的知識範疇。但就學習的觀點來看，學生能夠藉實驗操作來驗證已有的知識，也是個不錯的工作。

作品海報

# 音弦

## 摘要

自然科學到弦的鬆緊和長度會影響聲音的高低。老師用吉他弦說明改變弦長後，音高就會跟著變化。我們對吉他也能發出各種樂音充滿好奇，改變一個振動弦的音高除了用吉他上的旋鈕改變弦的鬆緊度，也可利用縮短弦長的方式提高振動頻率，弦振動的頻率代表聲音的高低，當我們拿儀器測量吉他弦的振動頻率，發現每條弦振動時都不只有單一頻率，還會伴隨一些頻率的產生。查詢網路上關於弦振動的一些知識，知道弦振動的模式相當複雜，於是我們特製一個三弦琴，專門研究這些頻率和樂音的關係，依測得的頻率數據，發現弦振動時所產生的各種頻率和樂器使用的樂音有奇妙的關聯。

## 壹、研究目的

- 一、弦振動時產生的音高如何測量？
- 二、弦的振動頻率與音高的關係。
- 三、弦振動產生的許多音和主音的關係。
- 四、弦上1/2處、1/3處、1/4處的音高和音樂系統有無關聯。
- 五、吉他指板格子的距離是怎麼定的。

## 貳、研究過程及結果

### 一、弦振動時產生的音高如何測量

音高可用頻率來表示，頻率高代表聲音高，利用免費軟體 Soundcard Scope，下載到電腦並安裝，透過麥克風將聲音傳輸到電腦程式就可測出弦振動的頻率。

- ❖ 實驗發現：一條弦的振動會有許多個頻率產生，其中有一個頻率很常出現，是主要的頻率，稱為主音。



### 二、弦的振動頻率與音高的關係



實驗模型製作：在80cm長的木板一端固定三個吉他用的旋鈕，兩個弦枕的距離 64.5cm，木板的另一端鑽三個小洞，讓三條弦穿過去剛好可以卡住，將另一端纏繞在旋鈕上，然後轉動旋鈕直到弦被拉緊。

- ❖ 實驗發現：弦振動的頻率越高代表音高越高，弦振動的頻率越低代表音高越低。

### 三、弦振動產生的音和主音的關係



彈响這三條弦，分別測到的頻率數據如下表：

B、D、E 三條弦振動時出現之頻率 (單位: Hz)

吉他弦	音名	經常出現頻率+					
		+較少出現頻率			-較少出現頻率		
第 2 弦 (B)	B3	主音 246	987	646	523	771	1508
第 4 弦 (D)	D3	主音 148	296	443	178	591	369
第 6 弦 (E)	E2	主音 83	165	249	112	374	237

- ❖ 實驗結果：弦振動時會伴隨其他頻率的產生，最常出現的頻率是這條弦的主要振動頻率，其他出現的頻率似乎也跟主頻率有某個數值某種比例的關係。



四、弦上1/2處、1/3處、1/4處的音高和音樂系統有無聯繫  
 茲有如下圖所示的振動模式：

B·D·E三絃區三位位體的音高與音名 (單位: Hz)

弦位區	音名	音名表	弦長縮短 1/2	弦長縮短 1/3	弦長縮短 1/4
第2位(能)	主律頻率	246	495	268	328
	對照音名	B3	B4	#F4	E4
第4位(中)	主律頻率	146	292	218	195
	對照音名	D3	D4	A3	G3
第6位(能)	主律頻率	83	167	125	112
	對照音名	E2	E3	B2	A2

實驗結果：弦長與頻率成反比，弦長縮短頻率越高。在弦1/2處、1/3處、1/4處產生的音正好與音樂上使用的音相吻合。

為了確認弦振動產生的音中有的音和縮短 1/2、1/3、1/4 長度後產生的音有關係，我們再重做一次弦的振動實驗，只把和弦長縮短 1/2、1/3、1/4 有關係的數據記錄下來，依照音高大小順序整理如下表所示：

B·D·E三絃區的音高頻率 (單位: Hz)

弦位區	音名	弦長縮短後產生的各種頻率						
第2位	B3	245	246	247	325	326	327	332
		354	371	378	489	492	495	986
第4位	D3	144	1456	147	194	195	212	217
		219	220	293	439	585		
第6位	E2	84	87	88	111	112	119	123
		125	163	164	167	249	373	

把最接近縮短 1/2、1/3、1/4 後相關的頻率取出來，依大小順序整理成下表：

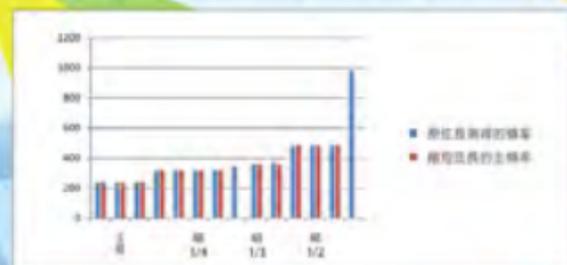
B·D·E三絃區的音高頻率 (單位: Hz)

弦位區	音名	最接近與縮短 1/2、1/3、1/4 後有關的頻率				
第2位	B3	主律 246	327	371	495	986
第4位	D3	主律 148	195	219	293	439
第6位	E2	主律 84	112	125	167	249

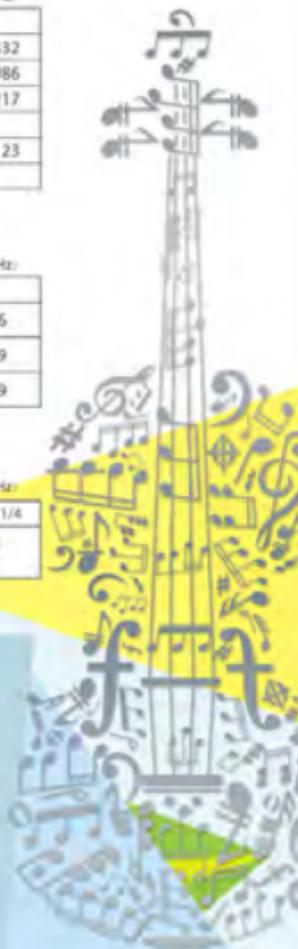
以 B 弦為例：

B 弦縮短後的音高頻率 (單位: Hz)

弦位區	音名	原弦長	弦長縮短 1/2	弦長縮短 1/3	弦長縮短 1/4
第2位	B3	主律率 246	主律率 328	主律率 369	主律率 492



實驗結果：弦上的音和縮短 1/2、1/3、1/4 弦長後的音有關係，有些音與主律呈 2 倍、3 倍、4 倍、的關係，兩者之間有的呈 2:3 的比例關係。

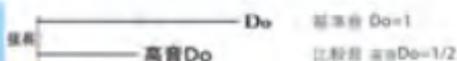


## 五、吉他指板格子的距離是怎麼定的

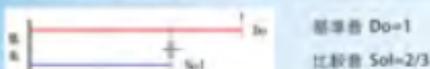
若全長發出的音高為 C，則以一半的弦長發聲可得高八度的 C。



以 Do 的弦長為基準音，縮短一半就可得到高音 Do。



當我們將弦長縮短 1/3 時，原弦長和縮短的弦長比就成整 3：2



長弦以 Do 為基準音，弦長比 2：3 的時候，可得較短的弦 Sol，是五度音關係。舉例來說，以吉他第六弦為例，第六弦空弦是 E，它的上五度音是 B。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B
A	B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D	E
D	E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A
G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D
B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D	E	F#
E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B

- ✓ **【驗證】** 吉他弦全長 64.5cm 若它  $\times 2/3$  會等於下弦枕到第 7 格的距離。  
基準音 E=1，比較音 B=2/3  $64.5 \times 2/3 = 43\text{cm}$

當我們將弦長縮短 1/4 時，原弦長和縮短的弦長比是 3：4。



長弦以 Do 為基準音，弦長比 3：4 的時候，較短的弦可得 Fa，是四度音關係。以吉他第六弦為例，第六弦空弦是 E，它的上四度音是 A。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B
A	B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D	E
D	E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A
G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D
B	C	D	E	F#	G	A	B	C	D	E	F#
E	F#	G	A	B	C	D	E	F#	G	A	B

- ✓ **【驗證】** 吉他弦全長 64.5cm 若它  $\times 3/4$  會等於下弦枕到第 5 格的距離。

$$64.5 \times 3/4 = 48.375 \text{ 四捨五入到小數第一位} = 48.4\text{cm}$$

最後標示這些縮短 1/2、1/3、1/4 弦長位置，完成我們的科學作品。



## 參、結論

- 一、粗的弦比細的弦振動慢，聲音低。
- 二、弦振動時會伴隨其他頻率的產生，最常出現的頻率是這條弦的主要振動頻率，其他出現的頻率跟主頻率有倍數或簡單整數比的關係。
- 三、弦長與振動頻率成反比。
- 四、將弦所測得的音和縮短 1/2、1/3、1/4 弦長後的音很有關係。
- 五、將弦長縮短 1/2 可得高八度的音，縮短 1/3 可得高五度的音，縮短 1/4 可得高四度的音。
- 六、依照實驗結論五的原理可產生許多音樂系統的樂音，所以弦長經由縮短或增加某個簡單比例的長度，可定出吉他指板上音格的位置。