

# 以物理的眼光談音樂

## 丘 亮 台

大自然的景色在詩人的筆下是多麼的美麗動人，然而物理學家却說紅綠黃紫不過是不同波長的電磁波，難怪詩人斥責學物理的人破壞「美」感！從另一個角度去看把不同的色澤用電磁波的觀念一以貫之，不亦很「美」嗎？

天下之事無獨必有偶，在此我們要破壞作曲家的美感。把各種音調分析一下。遠在牛頓力學出現以前，就有形形色色的曲調和樂器出現。不要力學，音樂照樣存在，本文只是把經驗的音樂和物理的理論扯上一些關係罷了。

首先，音樂是規則的振動，何以見得？有實驗為證。圖(一)是一具簡單的弦音計 (Sonometer)，上面具有一根弦。把兩端接到示波器上，並且使弦放在馬蹄形磁鐵中。撥動弦，使之發生樂音。此時駐波的波峯若正好在磁場中，就能由  $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$  的作用產生電動勢而使

示波器 (oscilloscope) 上出現圖形，由示波器上我們可以清楚的得到振動波形及頻率等數值。

物理學家喜歡用頻率的比值來表示音程 (musical intervals)。如果以  $f_0$  表示基音 (fundamental tone) 的頻率，用一個恆等式把它改寫為  $f_0 = e^{\ln f_0}$  其他的音符一概可以用  $\alpha f_0$  來表示。  $\alpha f_0 = e^{\ln f_0 + \ln \alpha}$ 。現在把 Do 定義為 256 cycles/sec。當頻率增到  $2 \times 256 = 512$  cycles/sec 時，我們又可聽到較高的 Do (音樂家稱之為八度音程 octave)。由此可知高低的 Do 音頻率之比是簡單的倍數。

從 Do 到高音的 Do'， $\alpha$  由 1 增到 2，由對數的尺度而言，就是由  $\ln 1 = 0$  增到  $\ln 2$ ，差額是  $\ln 2 - \ln 1 = \ln 2$ 。把  $\ln 2$  加以十二等分，就是巴哈 (Bach) 所謂的等程音階 (equal temperament)。  $\frac{1}{12} \ln 2$  表示一個半音，事實上，巴哈用了對數函數，所以等程毫無線性等分的含義在內。

表(一)是各種音名和頻率的對照表

音 名	C	D	E	F	G	A	B	C'	
唱 聲	do	re	mi	fa	sol	la	si	do'	表
頻 率	256	288	320	$341\frac{1}{3}$	384	$426\frac{2}{3}$	480	512	(一)
音 程	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$		

頻率比 (最小整數) 24 : 27 : 30 : 32 : 36 : 40 : 45 : 48

由表(一)可知，自 C 到 D，F 到 G，及 A 到 B 音程均為  $9/8$  (譬如 C 到 D， $\frac{27}{24} = \frac{9}{8}$ )；稱為大全音程 (Large whole tone)。自 D 至 E，及 G 至 A 音程均為  $10/9$ ，稱為小全音程 (Small whole tone)。由 E 至 F 及 B 至 C' 音程均為  $16/15$ ，稱為大半音程 (Large half tone)。大全音程和小全音程幾乎相等，而兩個大半音程幾乎等於一個全音程，(即  $\frac{16}{15} \times \frac{16}{15} \sim \frac{9}{8}$ )。換言之，約略而言，每個全音程包括兩個半音，由 Do 到高音的 Do' 共有五個全音程兩個半音程，總共的半音程數目是

$$5 \times 2 + 2 = 12。$$

所以每個半音就是  $\frac{1}{12} \ln 2$  的音程。

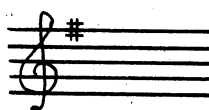
這種音程在鋼琴的鍵盤 (Key-board) 上可以清楚地看出來。相鄰兩個白色的鍵表示一個全音時，中間就有一個黑色的鍵，它表示兩者之間的半音，所以 E 到 F 以及 B 到 C 間沒有黑色的鍵。

變調 (transposition) 亦是由半音的不同和主音的選擇而來的。以 C 做主音時 (即把 C 當作 Do) 稱為 C 調。以 G 做主音 (即以表(一)中頻率為 384 的音符唸做 Do) 則稱 G 調餘此類推。主音選擇固然可以任意，而其他各音與主音頻率之比 (即音程)，仍須保持表(一)中的比值，例如以 G 音為主時，(參閱表(二))

音 名	C	D	E	F	G	A	B	C	表
音 程		全	全	半	全	全	全	半	(二)

以 G 為主音 G A B C D E F# G

由 E 到 F 原來是半音，但在 G 調中 E 必須接一個全音程以保持它與主音的頻率，所以只好把 F 升半音，於是音樂家在線譜上下的位置記上一個升記號，即，其他升降大調的算法一概以此為準。



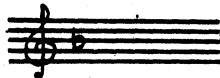
為了便於參考，把調名對照表，一起附作表(三)。

7 升號	C sharp major	升C大調
	A sharp minor	升A小調
6 升號	F sharp major	升F大調
	D sharp minor	升D小調
5 升號	B major	B大調
	G sharp minor	升G小調
4 升號	E major	E大調
	C sharp minor	升C小調
3 升號	A major	A大調
	F sharp minor	升F小調
2 升號	D major	D大調
	B minor	B小調
1 升號	G major	G大調
	E minor	E小調
無調號	C major	C大調
	A minor	A小調
1 降號	F major	F大調
	D minor	D小調
2 降號	B flat major	降B大調
	G minor	G小調
3 降號	E flat major	降E大調
	C minor	C小調
4 降號	A flat major	降A大調
	F flat minor	F小調
5 降號	D flat major	降D大調
	B flat minor	降B小調
6 降號	G flat major	降G大調
	E flat minor	降E小調
7 降號	C flat major	降C大調
	A flat minor	降A小調

大調已如上述，所謂小調分為和聲，自然，曲調小調三種，茲以自然小調為例可用表四說明之。

音名	A	B	C	D	E	F	G	A
音程	全	半	全	全	半	全	全	
以D音為主音	D	E	F	G	A	B <sup>b</sup>	C	D

把B降半音的理由同前，  
譜線上B處畫一個降記號即

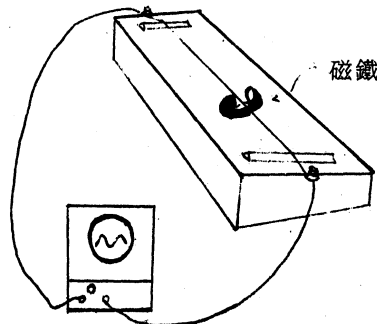


值得注意的是由表(一)中可知C : E : G = 4 : 5 : 6  
叫做大三和弦 (major triad)，因其比值為簡單整數，所以它能產生極其悅耳的聲調。

以上各種調子是西洋古典派的寫法，據聞印度的音程細分為 $\frac{1}{24}$  ln 2。而爵士 (jazz) 音樂亦有另外一組音階 (參閱 Bernstein : 音樂欣賞)。有些近代的音樂家想要打破以上的規則，而窮盡各種音程對人們的感受

。不過悅耳與否的主觀成份很大。

最後我願意特別感謝葉祖禹同學在百忙中抽空來看這篇稿子，指正其中的錯誤，文中如有任何其他錯誤當然全係筆者學淺識寡所致。



圖(一) 弦音計

## 五十七年度上學期 物理學會收支賬目表

	收 入	支 出
上年轉來	700	
會費 (148人×20元)	2,960	
迎新 (105人×20元)*	2,100	
迎新開支		1,359
同樂會郊遊補助 <sup>#</sup>		250
籃球賽		183
印通訊錄		900
時空第八期		6,500
廣 告	1,500	
時空學校補助	500	
介紹信	1,360	
其他收入	250	
(如演講補助等)		
其他支出		362
(文具，演講支出等)		
印信封及郵資		862
(郵寄時空用)		
總 計	9,370	10,416
結 存		-1,046

\*迎新只向老生收錢。

<sup>#</sup>自五十八年一月起此補助停止，改為學會辦活動。