

## 聲音的性質

聲音的頻率一般會以赫茲表示，記為 Hz。人耳可以聽到的聲音的頻率範圍在 20 到 20000 Hz 之間，其上限會隨年齡增加而降低，也就表示年輕人可以聽到的高頻率聲音，年齡較大的人不一定聽得到。高於這個範圍的波動稱為超音波，而低於這一範圍的稱為次聲波。其他物種動物的聽覺頻率範圍也有所不同，像狗可以聽到超過 20000 Hz 的聲音，但無法聽到 40 Hz 以下的聲音。不同物種動物的聽覺頻率範圍如下：蝙蝠（1000~120000Hz）、海豚（2000~100000Hz）、貓（60~65000Hz）、狗（40~50000Hz）。

超音波被廣泛應用於工業、軍事、醫療等行業。在工業上，常用超音波來清洗精密零件，原理是利用超音波在清洗液中產生震盪波，使清洗液產生瞬間的小氣泡，從而沖洗零件的每個角落。軍事上，潛艇用聲納來發現敵軍的艦船與潛艇。在醫療上，可以利用超音波進行洗牙和超音波震碎膽結石等等應用。由火山爆發、龍捲風、雷暴、颱風等許多災害性事件發生前都會產生出次聲波，人們就可以利用這種前兆來預報災害事件的發生。在軍事上，可用利用核試驗、火箭運行等產生的次聲波獲得相關的數據。

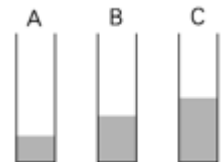
聲音的高低叫做「音調」，由頻率決定。物體振動的快，發出聲音的音調就高；振動的慢，發出聲音的音調就低。而一般來說，物體越輕、薄、短、小、細、緊，發出的音調就越高，但是音高並非與頻率成正比。音高每高一倍（即一個八度音程，octave），頻率增加為原來的二倍；音高高二個八度音程，頻率增為四倍，依此類推。此現象即著名的韋伯、費區勒定律(Weber - Fechner's Law)之應用。

唱名	Do(中央 C)	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do(高音 C)
頻率 (Hz)	262	294	330	349	392	440	494	524

表：C 大調八音階的各音頻率對照表

1. 發聲體的頻率和音調的關係為何？
2. 隨著年齡增加，人類會漸漸聽不見高頻率的聲音，故聽到的音調會偏低還是偏高？
3. 蝴蝶振動翅膀的每秒為 5~6 次、蜜蜂則為 300~400 次，則人耳可以聽見哪種聲音？
4. 從上表推測，高音 Re 的頻率應該為何？

5. 取三支完全相同的玻璃管，各裝水如右圖所示：
  - (1) 用口向管口吹氣，音調聽起來為何？
  - (2) 用木槌敲擊各管底部亦可發聲，音調聽起來為何？



聲波振幅愈大則「響度」愈大。用力敲打物體，物體振動幅度愈大，便可產生較大振幅的聲波，當聲波傳抵耳膜時所引起的振動就越強烈，我們所感覺到的聲音，其響度通常也較大。因為聲波的振幅是由波源的能量決定的，能量愈大則響度愈大，聲波在空間中傳播時能量會逐漸損失，故能量愈大的聲音可以傳得愈遠。

大部分的樂器由兩個主要的部分組成，即振動體和共鳴器。振動體用於發出聲音，而共鳴器則引發大量空氣「共振」，提高聲音的響度，例如吉他的弦用以振動發音，琴箱則作為共鳴之用。當我們聽到聲音時，鼓膜隨聲波做相同頻率的振動，也是一種共振現象。演奏樂器時，若單靠振動體的振動，所發出的聲音很弱。因此樂器大多設計有空腔，透過空腔內空氣的共鳴，聲音得以放大。

日常生活中經常有共振現象如低空飛行的飛機、猛踩油門加速的公車，經常使玻璃門窗振動得嘎嘎作響。大建築物，如吊橋受強風吹襲或隊伍以整齊步伐通過時，需可引起共振而斷裂，所以在建築設計時應先考量其安全頻率，而隊伍沿吊橋行進時應改用便步，均可事先加以防範。

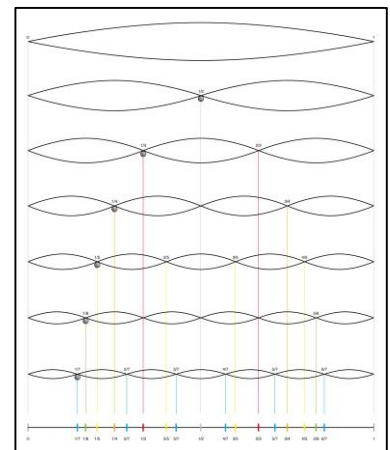
聲音響度強弱的比較單位為分貝(decibel, 簡寫成 dB)，10 分貝為 1 貝，為了紀念電話的發明者美國人貝爾(Alexander Graham Bell)，我們以他的姓名做為聲音響度的單位名稱。零分貝的設定，是根據聽力正常的年輕人所能聽到的最小聲音所得到的。每增加 10 分貝等於強度增加 10 倍，增加 20 分貝增加 100 倍，30 分貝則增加 1000 倍。聲音的強度太小，聽不到聲音；聲音的強度太大，會震耳欲聾，損傷耳朵，不能引起聽覺。所以能引起聽覺的聲音強度有一定的範圍。

隨著社會的進步，雜訊污染已經成為社會突顯問題，凡是令人感覺不適或強度超過法規管制標準的聲音，便可稱為噪音。據調查，噪音每上升一分貝，高血壓發病率就增加 3%。影響人的神經系統，使人急躁、易怒；亦會影響睡眠，令人難以入睡，過大的噪音可以令人在睡中醒來，從而擾亂睡眠週期，造成睡眠不足或感到疲倦。40~50dB 的聲音會干擾睡眠，60~70dB 會干擾學習，120dB 會導致耳痛，聽力喪失。

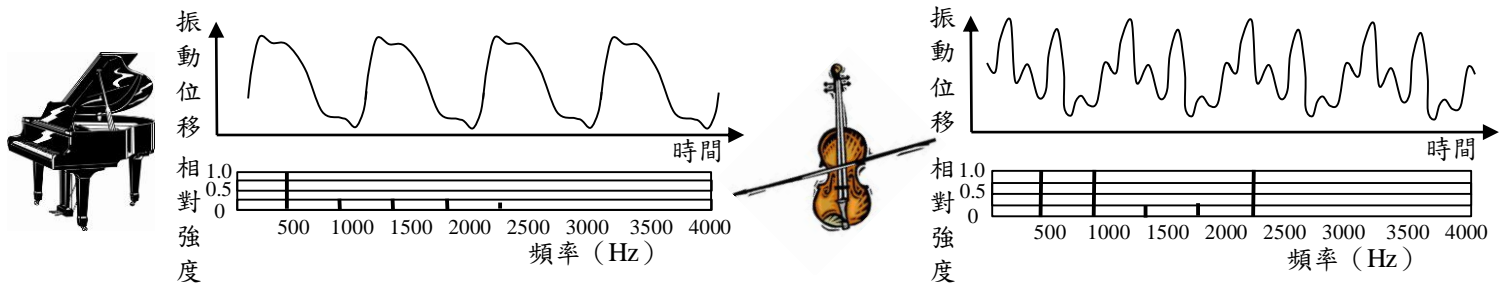
1. 大力或小力敲打鼓面，其振幅、頻率、波速等性質有何不同？
2. 共振的必要條件為何？產生共振後會有哪些改變？
3. 甲物體發出 80 分貝的聲音、乙物體發出 50 分貝的聲音，則兩者的聲音強度相差幾倍？
4. 我們經常可以看到，有人為了要叫住遠處同學，常常會大聲喊叫，希望能讓遠處的同學快點聽見，你認為大聲喊叫真的能讓遠處的同學早點聽見嗎？為什麼？
5. 生活中有哪些措施可以降低噪音干擾？

「音色」是聲音的特色，根據不同的音色，即使在同一音高和同一聲音強度的情況下，也能區分出是不同樂器或人聲發出的。同樣的音高和音量配上不同的音色就好比同樣色度和明度配上不同的色相的感覺一樣。

樂器或人聲等自然發出的音，一般都不會只包含一個頻率，而是可以分解成若干個不同頻率的音的疊加。聲音可以分解成若干個不同頻率純音的疊加，這些頻率都是某一頻率的倍數，如右圖。這一頻率就稱作「基頻」，也就決定了這個音的音高。假設某個音的基頻為  $f$ ，則頻率為  $2f$  的音稱為第一泛音，頻率為  $3f$  的音稱為第二泛音。基音和不同泛音的能量比例關係是決定一個音的音色的核心因素。樂器和自然界裏所有的音都有泛音。



聲音是由發聲的物體震動產生的，當其整體震動時發出基音，但同時其各部分也有複合的震動，這些各部分震動產生的聲音組成泛音。由於部分小於整體，所有不同的泛音都比基音的頻率高，但強度都相當弱，否則無法調準樂器的音高了。



1. 為什麼不同物體發出的聲音可被人耳辨認？
  
2. 基頻為 300 Hz 的音，其第三泛音的頻率為何？
  
3. 音叉常用來作為調音的工具，試猜想原因為何？
  
4. 優美的交響樂演奏中，也能發現聲音的奧妙：
  - (1) 聽眾可以聽出鋼琴聲的高低音，是因為\_\_\_\_\_不同。
  - (2) 聽眾可以感覺出鼓聲的強弱，是因為\_\_\_\_\_不同。
  - (3) 聽眾可以分辨出長笛與喇叭的聲音，是因為\_\_\_\_\_不同。

## 音樂廳的科學

當聲波離開聲源，向四周傳播出去後，有些會直接傳入聆聽者耳中，而剩餘的聲響稱之為「殘響」。殘響會影響空間裡的聲音，拿衣櫥與浴室做比較，在衣櫥裡，因為縫隙多，所以殘響較少，感覺起來的聲音很枯燥，聽起來很小聲；在浴室裡，因為牆壁較光滑且縫隙較少，所以殘響較多，而這些殘響加強了聲音的強度，使聲音聽起來很熱鬧、很有活力。

像音樂廳牆上每塊木板，是為了讓每位觀眾聽到的聲音都差不多。木板朝不同角度傾斜，呈波浪、綳摺狀攤開；舞台斜側方大片大片的木板更明顯，都呈幾何型等距排開，為的是讓聲音撞上木板後，朝不同角度反射，若都朝同一方向反射，勢必有許多觀眾聽不到聲音。

位於中正文化中心的國家音樂廳，觀眾席共 2074 個席位，分為三層樓，殘響控制在 1.7 至 2.1 秒，符合國際級標準，無論坐在哪個位子，都可以聽到舞台傳來的自然樂音，而不必透過麥克風。這是因為觀眾席內的牆面樓座及地板都採用光滑設計，把較多的聲音反射出去，所以才能把聲音的殘響時間控制得恰到好處。而觀眾席的絨布座椅，除了坐來舒服，還可吸音，讓音樂廳不論來了多少聽眾，殘響都不致差太多。除此之外，人體也是吸音體，因此新建音樂廳在未開張前測試時，多會找人來坐滿音樂廳，以確認滿場、空場的殘響差距，像國家音樂廳當年測試，就動員好幾所學校學生。

消失的聲音去了哪裡？兩廳院在建造之時，就對隔音規劃特別重視，除了要隔離廳外的雜音，還要求整棟建築的機具運轉聲、空調聲、人員走動聲都不能影響室內演出。為減低噪音及節約能源採用熱回收系統，各風道內設置消音器以降低空調設備噪音。觀眾席空調採自下而上系統，每個觀眾席座椅下之支柱均為出風口，讓適量的冷氣從夾層中，低風速均勻緩慢溢出，人體散出的熱量，使溫度略增，逐漸上升至平頂；燈光設備產生之熱使溫度急速上升，經回風管道引回空調箱，經熱回收設備交換後，排到停車場。

音樂廳的 2 樓第 14 排 21 號是國家交響樂團（NSO）為樂團執行長保留的專屬工作席，每一場 NSO 的音樂會都會預留這個位置。坐在這個位子上，人的耳朵高度與首席小提琴約是一樣的高度，而且第 14 排剛好在音樂廳的中間位置，在音響學上的「直接音」跟「反射音」的比例適當，音響品質非常好，這個位置，多少錢都買不到。

1. 聲音經不斷反射後，會產生什麼改變？
2. 「殘響」對日常生活有何優點？有何缺點？
3. 音樂廳內吸收聲音的裝置有哪些？反射聲音的裝置有哪些？