

我聽到“超聲波”了—— 超聲波拍音的研究

國中組物理科第三名

台北市私立延平中學

作者：林宜賢、張玉潔

指導教師：沈嘉祥、吳明德

一、研究動機

有一天，我陪懷孕中的阿姨到醫院做產檢，看到醫師利用“超聲波”，竟然可以穿過身體、透視內部，見到才剛成形的胎兒，實在令我百思不解。回到學校我迫不及待的和同學討論，我們都覺得十分好奇，便一起去請教老師。老師帶我們到實驗室，並且利用聲頻產生器、示波器及喇叭讓我們看到各種頻率的波形，並且聽聲音；頻率愈高，聲音愈刺耳，直到聲頻產生器上的刻度顯示大約20000Hz時，我們竟然聽不到了，老師說這就是超聲波。為了讓我們能夠比較可聽波及超聲波的不同，老師接上第二台聲頻產生器，並把頻率調到大約19900Hz，原來那一台仍維持不變，原本以為只會聽到可聽波19900Hz的刺耳聲音，沒想到卻聽到一個“低沈”的聲音，老師好像想到什麼事情似的，急急忙忙的從199900Hz調到20100Hz，這時，不可思議的事情發生了，我們竟然“聽到超聲波”了！？

二、研究目的

- (一) 認識超聲波
- (二) 認識拍音
- (三) 利用音叉產生可聽波並研究其拍音
- (四) 利用聲頻產生器產生可聽波並研究其拍音
- (五) 利用聲頻產生器產生超聲波並研究其拍音

三、研究設備器材

- | | |
|----------------|--------------|
| 1.音叉（附共鳴箱）（2組） | 2.頻率調整器（1個） |
| 3.打擊錘（1支） | 4.收錄音機（1臺） |
| 5.麥克風（1個） | 6.鱷魚夾、電線（數條） |

- 7.示波器（1臺）
- 8.聲頻產生器（2臺）
- 9.數位式聲頻產生器兼計數器（4臺）
- 10.喇叭（2個）
- 11.擴大器（2臺）
- 12.探測棒（探針）（2條）
- 13.耳機接頭（1個）

四、研究過程或方法

（一）基本實驗：

1.儀器校正：

（1）實驗目的：

利用示波器校正聲頻產生器上的刻度（因聲頻產生器之刻度較粗略，無法目測精確頻率）

（2）實驗步驟：

- ①將聲頻產生器調到整數刻度（例如：20、25、30、40 ………）
- ②從示波器內觀測相鄰二「波峰」之間所佔的格數，並將其換算成頻率。
- ③比較由示波器中換算之頻率與聲頻產生器中的頻率差異，換算成比值（例如：示波器顯示之頻率為2200Hz，聲頻產生器顯示為2000Hz，其比值為1.1）
- ④換第二台聲頻產生器重覆前面三步驟。

【例如】1號聲頻產生器調到 $20 \times 10^3 \text{ Hz}$ ，掃描時間為 $5 \mu \text{ s}$ （ 5×10^{-6} ）由示波器上測得相鄰兩「波峰」間有9.7格，則 $f = 1/9.7 \times 5 \times 10^{-6} = 1000 \times 10^3 / 48.5 = 20.61856 \times 10^3$ ，故聲頻產生器上的20實為20.6185（約20.619），比值為 $20.619/20 = 1.03095$ 。

2.認識超音波：

（1）實驗目的：

利用耳聽法來驗證書上所說人耳聽力範圍20Hz~20000Hz是否正確，並藉此增加對超音波的認識及儀器操作的熟練度。

（2）實驗步驟：

- ①將聲頻產生器調到書上所說人耳聽力最低限度20Hz附近，驗證是否正確。
- ②將聲頻產生器調到書上所說人耳聽力最高限度20000Hz附近，驗證是否正確。

③由男生、女生各別分開做2組數據，並比較其差異性。

(二) 音叉的拍音：

1. 測量音叉頻率：

(1) 實驗目的：

測量音叉（可聽波）之頻率，並研究頻率調整器對頻率的影響。

(2) 實驗步驟：

①將麥克風的接收器接到計數器和示波器上，並將麥克風置於音叉之共鳴叉之共鳴箱前。

②分別測量1號音叉及2號音叉的頻率（使用打擊錘）。

③在1號音叉上裝置頻率調整器。

④測量頻率調整器在不同高度時，頻率的變化（由上往下調）。

2. 音叉的拍音：

(1) 實驗目的：利用音叉聽到可聽波的拍音。

(2) 實驗步驟：

①在1號音叉上裝上頻率調整器，而2號音叉維持原狀。

②調整頻率調整器的高度(h)由上而下，每次移1cm。

③用打擊錘敲兩音叉，使之產生拍音。

④用聽的方法，用馬錶測出固定次數內強弱變化的時間（用碼錶計）。

⑤分別做五次，求平均。

⑥利用前次實驗求出的頻率算出拍音的正確值，並與本實驗數據比較，算出百分誤差

【例如】 $h=5\text{cm}$ ，頻率調整器加在1號音叉10次強弱需要時間為：

①	②	③	④	⑤	平均
3.54	3.41	3.29	3.09	3.29	3.389

正確頻率= $370.37-360.63=4.739$

誤差百分率= $(4.739-3.389)/4.739 \times 100\%=28.49\%$

(三) 可聽波的拍音：

1. 實驗目的：

利用聲頻產生器產生可聽波，並研究其拍音。

2. 實驗步驟：

(1) ①將1號聲頻產生器調到，並維持不變。

②將2號聲頻產生器由200Hz附近開始，逐次略微調高三次，調低三次。

③計算2號聲頻產生器之頻率與200Hz頻率差，此即為拍音頻率。

④將1、2號聲頻產生器之頻率合成拍音波形，利用示波器觀測，並計算出其與步驟③之百分誤差。

⑤將2號聲頻產生器的頻率調在400Hz附近，逐次調高調低三次，重覆步驟③④。

⑥將2號聲頻產生器的頻率調600Hz，800Hz附近，重覆步驟⑤。

(2)將1號聲頻產生器固定在2000Hz，重覆上述(1)的實驗。

(四)超聲波的拍音：

1.超音波的可聽拍音：

(1)實驗目的：

利用聲頻產生器產生超音波，研究其可聽拍音。

(2)實驗步驟：

①將2號聲頻產生器固定在20KHz。

②1號聲頻產生器與20KHz之頻率差，每次調高約2KHz，一直調到80KHz為止。（用計數器測量）。

③計算1號聲頻產生器與20KHz之頻率差，此即為拍音頻率。

④將1、2號聲頻產生器之頻率合成拍音波形，用示波器觀測，並計算出其與步驟③之百分誤差。

2.兩超聲波頻率成整數倍關係的拍音：

(1)實驗目的：

研究超音波頻率在整數倍左右的拍音頻率。

(2)實驗步驟：

①2號聲頻產生器固定在約20KHz。

②1號聲頻產生器在20KHz、40KHz、60KHz、80KHz附近調整，調出上下各三個可聽拍音，並計算其頻率。

③用計數器測量出1、2號聲頻產生器頻率，並計算出可聽拍音之正確頻率與步驟②比較。

3.兩聲波頻率在非整數的特定倍數關係時的拍音

(1)實驗目的：

研究超音波頻率在特定倍數1.5倍、2.5倍、3.5倍左右之拍音頻率。

(2) 實驗步驟：

- ① 2號聲頻產生器固定在約20KHz。
- ② 1號聲頻產生器在30KHz、50KHz、70KHz附近調整，調出上下各三個可聽拍音並計算其頻率。
- ③ 用計數器測量出1、2號聲頻產生器頻率，並計算三個可聽拍音之正確頻率與步驟②比較。

五、研究結果

(一) 基本實驗：

1. 儀器校正：

- (1) 實驗結果發現聲頻產生器上的刻度不太準確。
- (2) 本實驗目的在於儀器使用操作及了解儀器使用原理。

2. 認識超聲波：

- (1) 由實驗發現，女生耳力能夠聽到的頻率比男生高，所以我們推測男女耳膜的結構有些許的不同，導致能夠接收的最高頻率不同。
- (2) 實驗證實書上所說人耳聽力最高極限20000Hz，只是約略的平均值，實際情形則依人而定，所以，超音波定義的範圍也因人而異。

(二) 音叉的拍音：

測量音叉的頻率：

- (1) 在音叉上裝頻率調整器後，我們發現，當頻率調整器裝在愈下端，頻率愈大，由此可知，頻率調整器在音叉的位置愈高，頻率變數愈大（變小）。
- (2) 本實驗對測量音叉頻率共用了示波器及計數器分別測量，在兩者互相比較之下，計數器的結果較示波器的結果有規律。
- (3) 在本實驗中，我們了解 h 與 f 的關係，也奠定了可聽波頻率的概念。

(三) 可聽波的拍音：

- (1) 由實驗結果得知，兩聲波頻率約略相等時就會有拍音出現，兩者差異愈大時，拍音頻率愈高。
- (2) 由實驗得知，拍音頻率確實等於兩者頻率差。
- (3) 我們另外發現在整數倍的時候也會有拍音的現象產生。例如某一聲波頻率為 f_0 ，另一聲波頻率為 $f_1 = f_0 \pm f_1$ ，當二者強度相同時，

拍音最清楚，且頻率為 Δf_0 。若 $f_2=2f_0\pm\Delta f_2$ ，且音強約為 f_0 的一半時，則也會產生 Δf_2 的拍音。若 $f_3=3f_0\pm\Delta f_3$ ，且音強約為 f_0 的 $1/3$ 時，則也會產生 Δf_3 的拍音。依此類推

(4)本實驗在第一次做的時候，使用短路的方法，將兩臺聲頻產生器的波形合成拍音，而且沒有使用計數器，所以實驗所得的結果的百分誤差最大高達49.00%，之後我們發現百分誤差之所以會這麼大是因為短路後兩臺聲頻產生器會互相干擾；於是我們將兩臺聲頻產生器各別接上計數器，用麥克風接收後，再把頻率輸入示波器內觀測，如此一來，所得結果之誤差就大幅下降。（約在10%內）

(四) 超音波的拍音：

1. 超音波的可聽拍音

(1)由實驗結果發現，拍音頻率等於CH-2的頻率和20000Hz之差或和20000Hz之整數倍差。

【例如】

CH-1 20000Hz
CH-2 42000Hz $>$ 拍音頻率 $= (42000-20000 \times 2) \text{Hz} = 2000 \text{Hz}$

(2)根據「可聽波的拍音」實驗的改良方法，本實驗的誤差率皆在3%之內。

(3)由實驗結果發現，超音波拍音是可聽見的，但在兩者差20000Hz和其倍數時是聽不見的。

【例如】

CH-1 20000Hz
CH-2 60000Hz $> 60000 \text{Hz} - 20000 \times 3 \text{Hz} = 0 \text{Hz}$

此時並無拍音，所以聽不見聲音。

2. 兩超音波頻率在整數倍關係時的「拍音可聽聲」：

(1)兩超音波之頻率恰為整數倍時，依上個實驗可知道此時沒聲，但是在略大或略小於該整數倍時，便會現可聽到低頻聲音。

(2)在整數倍以下，頻率會漸漸升高；在整數倍以上，頻率亦升高，故可知：頻率愈接近整數倍，所產生之聲音愈低沉（愈低頻）。

3. 兩超音波頻率在非特定整數倍關係時的「拍音可聽聲」：

(1)兩超音波之頻率在1.5、2.5、3.5……的比時，依（四）1的實驗可知，會有一最高頻之聲音，但若在這倍數附近，便會有較低

頻之聲音。

- (2)也就是說，在這些倍數以下，頻率會漸漸降低；在這些倍數以上，頻率也降低，故可知頻率在1.5、2.5、3.5……等倍數時，所產生之聲音就最尖銳（高頻）。

七、結論

- (一) 超聲波是有聽沒有到的，但是經由特殊的安排，人類也可以“聽到超聲波”的！
- (二) 我們發現可聽聲的“拍音”不僅是書上所說的“頻率有些微差異”時會產生，也就是說除了頻率比為1：1附近可以產生拍音外，頻率比1:2、1:3、1:4……附近也可以產生“拍音”。
- (三) 以本實驗為基礎，我們認為可以有下列的發展及應用：
- 1.以超聲波當作「載波」來傳遞「可聽波」，利用超聲波的波長短、繞射性差，可以將可聽聲的聲波做「單向傳導」或「定點傳播」。
 - 2.檢測超聲波的存在。
 - 3.利用拍音原理來校正頻率。用一已知頻率聲音，調整另一聲音的頻率，若聽不到拍音，可知另一頻率為已知頻率整數倍，來求出待測頻率。（例如：用音叉來校正鋼琴聲音頻率，當兩倍時，聲音高八度）。
 - 4.產生低於20Hz的超聲波。
 - 5.藉由超聲波合成以產生與環境噪音「反相」的「噪音」，以消除環境噪音。
 - 6.開發與動物「對談」的超聲波，或轉換為人耳可聽的聲波，或將人聲轉換為人動物可聽易懂的超聲波。
 - 7.利用超聲波來製作按摩浴缸及除臭、殺菌等日常生活之利用，以豐富人類之生活。

八、參考資料及其他

- (一) 高級中學 基礎理化（上冊）
主編者：國立臺灣師範大學科學教育中心
出版者：國立編譯館
- (二) 物理與能 中文版
總編輯：張柱

- 出版社：時代生活知識文庫
- (三) 大不列顛百科全書 中文版1987年新版
出版社：丹青圖書公司
- (四) 電儀表學
出版社：臺灣東華書局
66年10月2版
原 著：Wolf Stanley
編 譯：高道旭
- (五) 中文百科大辭典1986年8月3版
出版社：百科文化事業股份有限公司
- (六) 奇妙的發明
出版社：遠東有限公司
主 編：李勉民1986年
- (七) 學生科學辭典
出版社：光復書局
65年2月再版
- (八) 現代音響科學
出版社：復漢出版社
80年8月1日再刷版
原作者：牧田康雄
譯 者：梁東源
- (九) 高級中學物理實驗專題
出版社：教育部中教司出版84年6月再版
主 編：臺北市立建國高級中學

評語

利用聲頻產生器，示波器等設備，瞭解拍音產生的原理。本作品實驗過程相當仔細嚴謹，對實驗結果的分析亦頗透徹。尤其難能可貴的是作者能有條不紊地表達作品的內容，回答評審的問題。