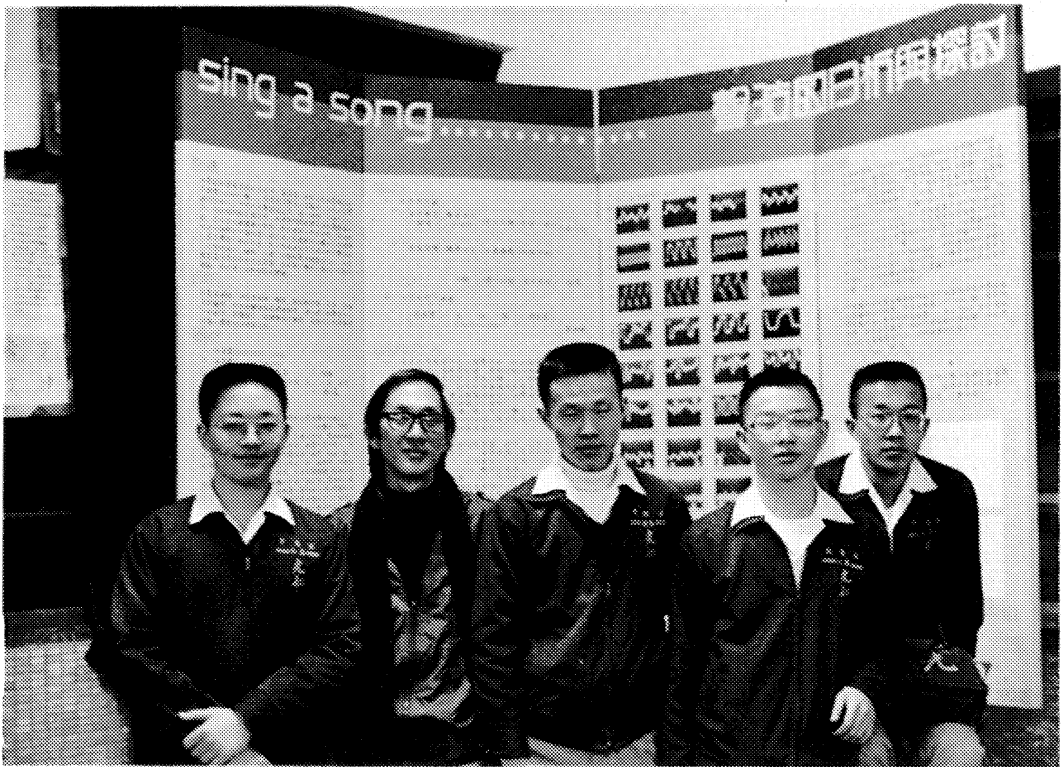


聲波的分析與探討

高中組物理科第二名

私立光仁高中

作者：蔣浩君、楊智凱
劉竹華、王大軍
指導教師：黃德亮老師



一、研究動機

如果說和電腦溝通的方法中，最常用，同時也是最普遍的，就是鍵盤 *Keyboard* 輸入，我想該不會有人反對吧！但除非是學過打字的人，不然必定會認為這是一種又耗時，又耗力之作法，因此我們便突發奇想：如果我們能用聲音和電腦溝通的話，豈不是比鍵盤輸入更快，更方便嗎？若要如此，首先就必須對聲音有更深一層的瞭解、分析。我們人是如何地去分辨對方所講的每一個字呢？是靠聲音的變化？或頻率？還是響度？抑是音色？再不然就是這些因素以外之變因呢？

又想到喇叭、鋼琴、古箏、吉他如果同樣奏出 *Do*。但每種樂器各有各的特色及音質，這是為什麼呢？由以上的許多疑點，而引起了我們研究的興趣！

二、研究目的

從樂器開始，研究其波形、頻率、波長與音質、音色、音調等的關係，找出相關性或某種規律性，進而將人的聲音加以分析研究討論語言、語調與波之關係，最終的目的是希望作為人聲音分析與合成。

三、器材

1. 示波器 *Oscilloscope* 2 *OMHZ*
2. 造波器 *Function Generator*
3. 電腦
4. 照相機
5. 換能器
6. 樂器：鋼琴、巴爾東、薩克斯風、笛子、鐵琴、小喇叭、鈸、圓號、橫笛、蘇沙。
7. 音叉
8. 擴大器

四、原理

(一) 樂音三要素

1. 響度：聲音的大小程度，由振幅大小來決定。
2. 音調：聲音的高低，由頻率大小來決定。
3. 音色（音品）：發音體發音的特色，由基音、泛音、合成的複音決定。

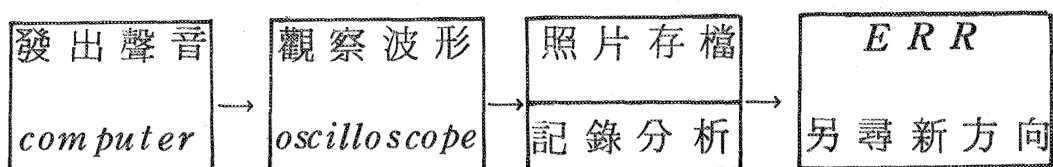
$$V = F \lambda ; V = \frac{\lambda}{T}$$

(二) 波速 V 、波長 λ 、頻率 F 、週期 T 之關係：

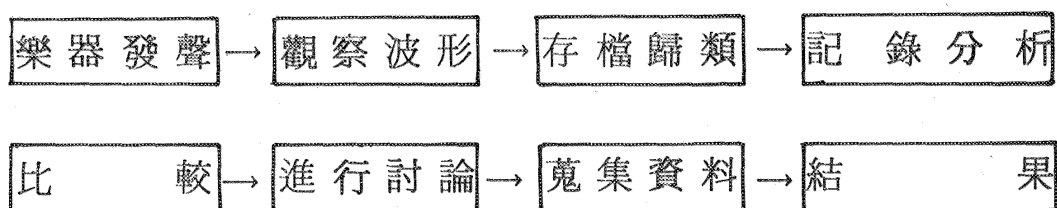
五、設 計

(一)研究流程圖：

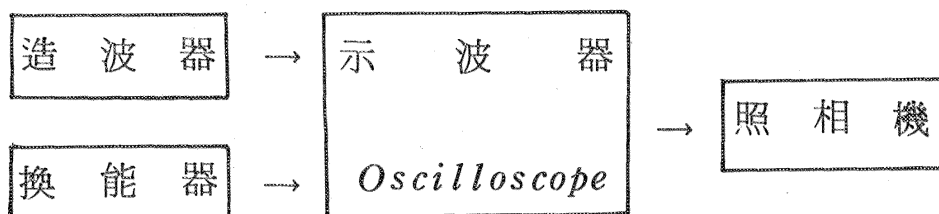
1.



2.



(二)工作流程方塊圖：



六、研究方向

- (一)研究電腦發聲的方法以及其對聲音波形的分析。
- (二)探討不同種類的樂器所發聲音的波形特性，並詳加分析。
- (三)研究元音、輔音對發言分辨的影響和關係。
- (四)研究氣柱、弦的長短對頻率的影響，並作深入的瞭解、分析。
- (五)對男女發音的高低和音色的差異，作深入的瞭解和分析。
- (六)以錄音帶倒放的方式，比較元音、輔音先後次序對音色的影響。
- (七)研究基音、泛音的合成：利用電腦造波合成，作為與電腦利用語言溝通的基礎工作。

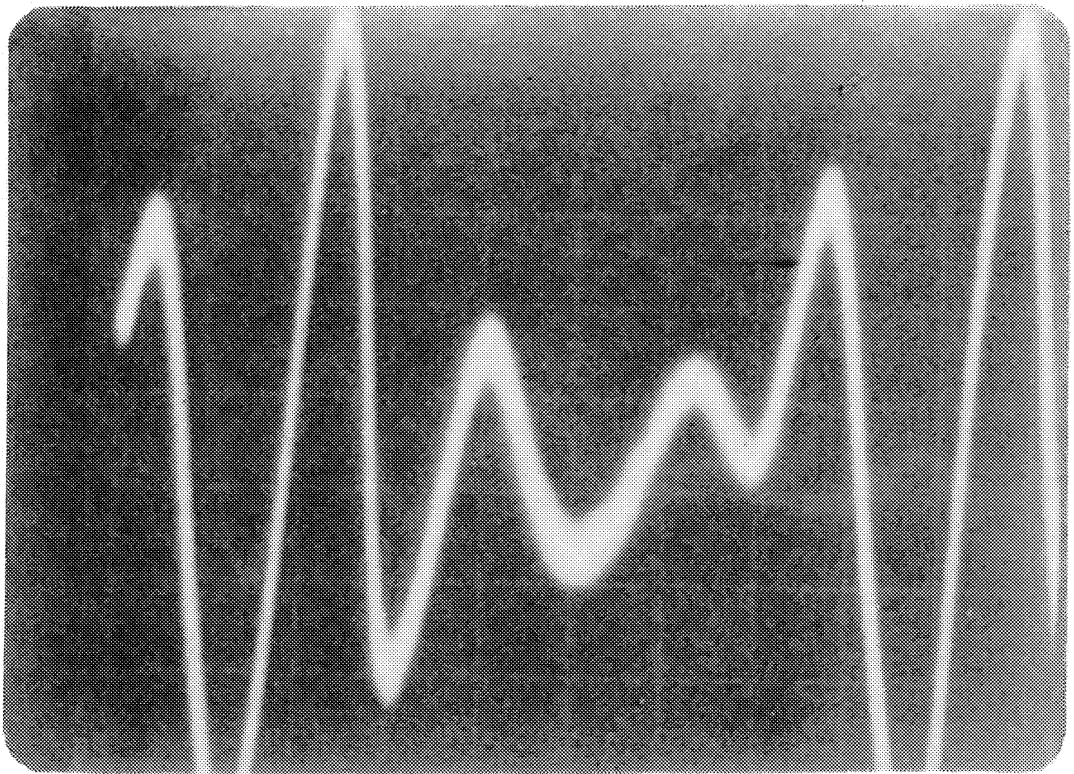
七、研究程序

- (一)先將特定的樂器（人），所造出之聲波，經由換能器（*MIC*）轉換成不同電位的電壓輸入示波器 *CHI*，以找出波的週期及範圍。
- (二)再將 *Mood* 鍵調至 *CH₂*，由造波器輸入比較波，同時將其波調成和 *CRT* 上單位格子同週期的單位波後，記取造波器上的頻率值。
- (三)重新將 *Mood* 鍵調至 *CHI*，並將 *Auto* 鍵定至 *TV (t)* 上以固定 *CHI* 上的波，使其定位。計算其波長所佔格子點數，再用 $V = F$ 入取其頻率波長。
- (四)照相、歸類並存檔。
- (五)比較各種樂器各種人聲之間，其同週期內波的差異、分析相同樂器不同音或不同樂器同音之間的關係。

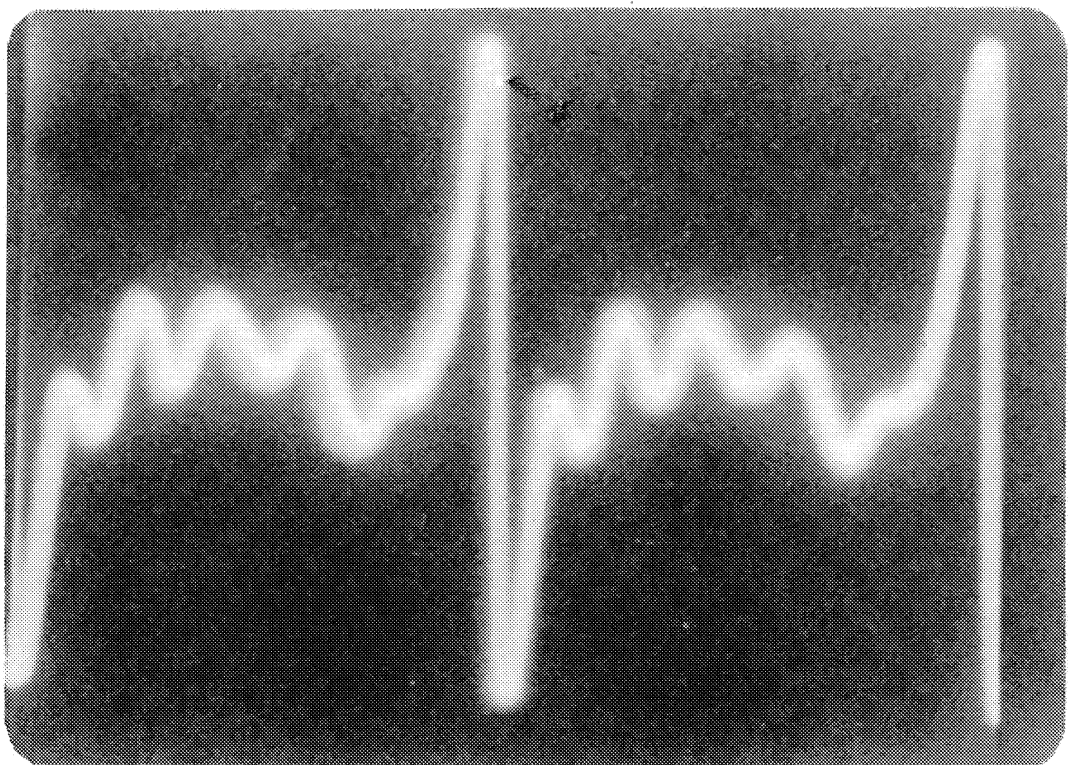
八、結 果

- (一)電腦發音的波形。
 - (二)樂器發音的波形。
 - (三)元音與輔音的波形。
 - (四)氣柱發聲的波形。
 - (五)男、女聲差異的波形。
 - (六)女聲之最高、最低音頻率波形。
 - (七)控制一定頻率的波形。
 - (八)一天中人聲頻率變化的波形。
- （由於篇幅限制，只選一部份代表性照片以供參考）

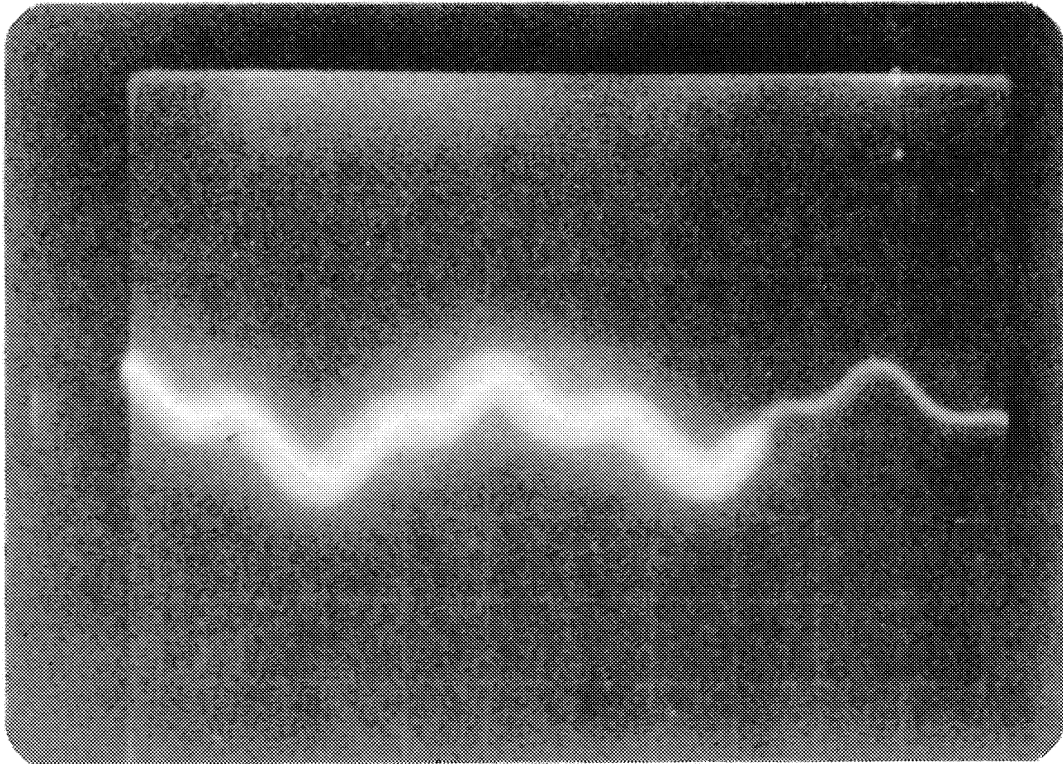
(一)電腦發音的波形



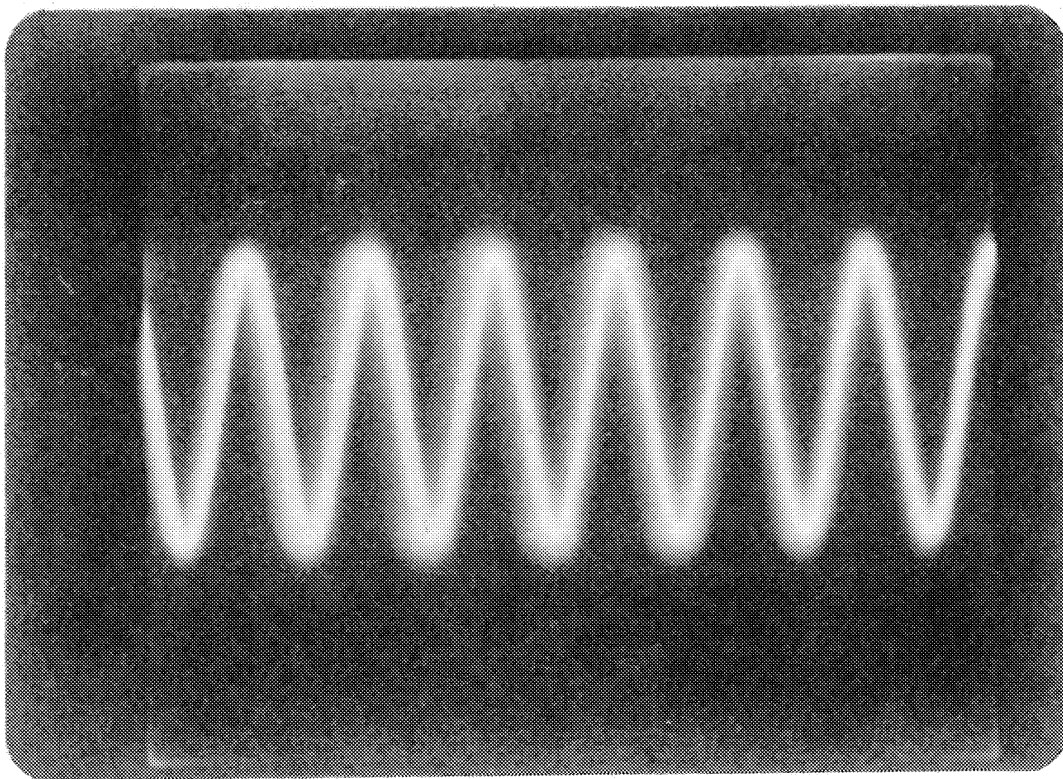
(二)樂器發音的波形：1.管樂器—巴爾東



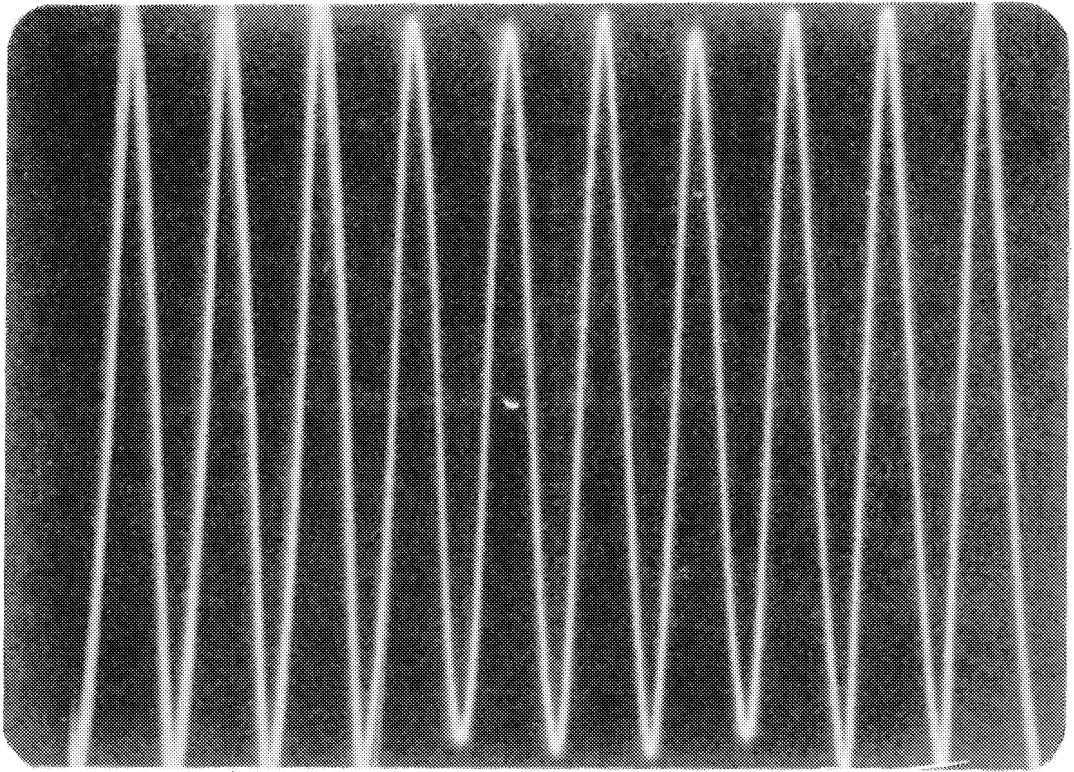
2. 弦樂器—吉他



3. 敲擊樂器—鐵琴



(三)氣柱發聲的波形



九、討 論

(一)電腦的聲音：電腦的發音非常單純，它的喇叭由記憶位址C O 3 O所控制，若從C O 3 O中讀取資料，喇叭便會被觸動一下。我們如果設計一個機器語言的程式，來控制每二次觸動間的延遲時間，及觸動的次數，我們便可以由數據來控制電腦發音的音調及發音長短。因為電腦的發音是我們自己一次一次觸動喇叭所構成的，且頻率在很短的時間內發生了不同的變化，所以音色無法預料，且無法控制聲音大小。

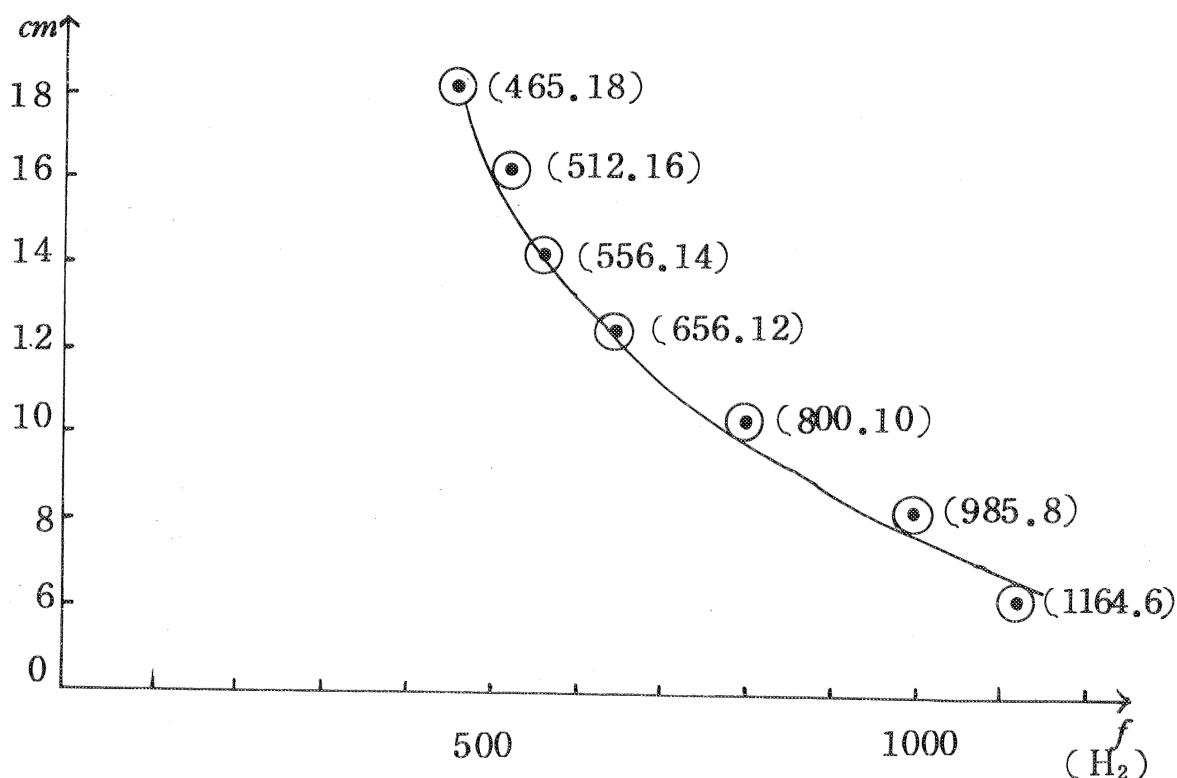
(二)結果中得到：同樣樂器之發音波形有相似處，而不同樂器奏出同樣音，頻率相同波形不同，由此可知波形可以決定音色。而音色可以區分為基音（基本音）和泛音（倍音）。

我們可以利用儀器將其波形分成基本音的倍音，由於這些倍音強度的不同組合，就產生了各種不同的音色，以利我們分辨！

(三)輔音與元音：人類為了溝通，所發出的字，主要是由輔音和元音兩種變因，以不同的排列組合所合成。若一人在室內發啦（为Y）的音，不要中斷地一直延長，此時室外一人進入室內，

設他並沒有聽到輔音，只聽到後半段，那他必然只聽到 Y（啊）音。同理室內人發“花”音，後進入室內之人，也必然只聽到啊（Y）音。理由很簡單，我們所說字中，輔音是只是開始時一刹那由口唇的變化所發出，其後延續的，都是元音。靠元音是沒有辦法分辨我們所說的是那一個字的，也就是說輔音對於我們分辨不同字的幫助較大，我們也就是靠著分辨輔音和元音，以辨不同的字。

(四)由空氣柱的實驗以及資料分析如下：



由圖可知發音體的空氣柱長短會影響到頻率的大小，似乎保持著反比的曲線關係，由此可預測空氣柱的長短與弦的長短對頻率的影響，都有類似的關係，也即空氣柱越短，音調越高；空氣柱越長，音調越低。並且一般管樂器的發音也都根據空氣柱振動的原理，它們可以發出兩倍或三倍的倍音來。

(五)男女聲之差異：男生和女生由於基本上發音的不同，我們都知道：女生所能發出的聲波頻率範圍必高於男生所能發出聲頻的範圍。然而究竟能高到何種程度呢？根據現有資料可得知女生之聲頻約在 $272\text{ Hz} \sim 558\text{ Hz}$ ，而男生之聲頻約在 $95\text{ Hz} \sim 142$

H_z 而我們實驗的結果求出女生平均值約為 $353.795065 H_z$ ；而男生平均值則為 $167.1042166 H_z$ 。這些資料我們都可以很容易地在物理課本上找出，但是却從沒有能夠真正實驗證明過，於是我們實地來測定男生、女生的聲頻平均值，並找出他們發音最高與最低的範圍（女生約 $130 H_z \sim 2400 H_z$ ；男生約 $66 H_z \sim 0350 H_z$ ）。

- (六)錄音帶倒放：我們可以利用錄音帶，錄下幾句話來，然後反方向播放錄音帶，便可以聽到和平常完全不同的聲音。這是輔音和元音的關係，因為人的聲音要靠輔音來分別，所以反放錄音帶會有奇怪的聲音。
- (七)基音、泛音的合成：利用電腦的繪圖功能設計出一個程式，可以幫助我們了解基音與泛音的合成情形。此程式的原理是根據正弦波的性質以及赫姆賀茲所提出複音是由一基本音與頻率成倍數之泛音，以其不同振幅和相位差（*Phase*）排列組合而成的。此程式之功能可讓我們自由選擇倍音。以及振幅的大小，同時也可用亂數來選擇，使用範圍極廣，亦可幫助我們對波之合成有更深入的了解。更可以應用於教學上。
- (八)不同的人發同一個音，就和不同的樂器發同一個音的道理相同。試著以相同的口型，只利用聲帶的振動來發音。結果，一定是只能控制聲音的高低，而不能說出字，這是由於人能利用口型的變化，所以可以比樂器多發出輔音，也就利用輔音和元音的結合，以創出千萬種語言。
- (九)每一種樂器有其特殊的音色，由結果分析，我們尋出一些相關性：管樂器的波形和弦樂器波形之間有顯著差異，而管樂器之間和弦樂器之間亦有獨立自成系統的波形。在此可分出以空氣為振動體來發聲的樂器，以及用非空氣為振動體來發聲的一些樂器，這兩種之間的波形，皆有明顯的差別。
- (十)本實驗所得到的結果以及分析，除了可提供參考外，還可幫助學生對這些觀念的澄清，也可作為將來電腦發展的鋪路。
- (十一)當同一方向進行兩波，其頻率大小相差不多時，由干涉作用聲

音時而增強，時而減弱，彼此交互成極有規律的變化，這種現象稱為拍。當兩波的振幅大小愈為接近時，這種現象就愈為顯著。我們利用電腦繪圖。

(二)實驗：一天之內，從早到晚，於早晨、中午、晚上各段時間測定同一人聲頻之變化，如下表：

時 間 (狀況)	頻 率
<i>a . m</i> 7 : 00	$f = 124.3902439 \text{ Hz}$
<i>a . m</i> 12 : 00 (飯前)	$f = 150 \text{ Hz}$
<i>a . m</i> 12 : 10 (飯後)	$f = 154.54545 \text{ Hz}$
<i>p . m</i> 6 : 00	$f = 159.375 \text{ Hz}$
<i>p . m</i> 7 : 30	$f = 159.375 \text{ Hz}$
<i>p . m</i> 8 : 00	$f = 141.666667 \text{ Hz}$
<i>p . m</i> 9 : 35	$f = 137.8378378 \text{ Hz}$

(三)管樂器中開管發出聲音的音色與閉管發出者不同，此乃由於開管中所有諧音均出現，而閉管中却只有奇數諧音出現。

(四)每人都有特定的發音習慣，此習慣是從日常生活或從小培養，因此平常對兩人聲音的辨別，習慣性也是一個很重要的因素。

十、檢 討

(一)由於儀器的不足，使實驗無法超越，若是有類似分波儀之類的儀器，那就可以作更詳細的分析，將會有更豐富的結果。

(二)在本實驗中曾遭遇到很多困難，最後都由師長的指導，經過我們自己的研討，而獲得解決，因此在過程中，我們感到獲益不少。

(三)本實驗所有的過程都是由作者自己製作，我們都有詳盡的長期

研究計劃，時常與指導老師聯繫磋商，並訂立作業範圍，定期審查作業進度，以及參與研討會。

十一、結 論

由以上討論歸納如下：

1. 音色：音色為對聲音的一項很重要之因素。例如樂器、人等一些不同的發音體，其波形都有顯著的差異，但同類的發音體其波形極靠近。
2. 由實驗也可知發音體的頻率對聲音之波形並無影響。
3. 由實驗也可知發音體的發音的振幅對聲音的波形並無直接影響。
4. 每一個人說同樣的音，我們所以能辨認那個人發那些音，是由其發音習慣生理結構的些微差異造成；又知音色影響波形，結果中照片顯示同一人可發生不同波形之音，故人可發出不同音色的音。
綜合以上兩點，我們可說兩人發音習慣之差異小於同一人的不同元音及輔音間的差別，所以在電腦接受語言方面，我們主要只須考慮輔音及元音之辨別。
5. 由本實驗可讓我們對聲波有更深入的瞭解，同時了解決定聲波特性的因素，進而分析電腦辨別語言的原理，這些可提供將來如何利用語言直接與電腦溝通的重要資料。若能如此，這真是對資訊方面一大貢獻。

評語：本作品為集體研究，四位同學合作從事有系統分析與探討聲波的波形特性（包括各種樂器及人聲），利用電腦造成各種聲波及合成波，所問資料及結果甚為完整有助於進一步分析電腦辨別語言，內容考慮週詳，研究深入，作者表達生動，堪稱良好作品。