

流體中聲速的測定

高中組物理科第三名

台中女中

作者：林承萱、林婉怡、翁珮瑄、蔡孟穎

指導教師：盧錦鈴

一、研究動機

我們知道，有許多方法，可用來測量空氣中的聲速，如在高中課程中，利用共鳴空氣柱便是一例。但我們仍想：是否還有其他方法，能更準確的測出不同氣體中的聲速，並能進一步測出液體中的聲速，於是我們展開了下列的實驗。

二、研究目的

- (一) 壓電材料固有頻率之測量。
- (二) 測量在不同溫度下，空氣中聲速的大小。
- (三) 測量在不同氣體中的聲速大小。
- (四) 測量在不同液體中的聲速大小。

三、實驗設備

訊號產生器、示波器、不同規格的壓電晶片(Piezoelectric transducer，簡稱PZT)、恆溫槽、CO₂、O₂、水、酒精、丙酮、塑膠袋、小木箱、重物、游標尺、鉚槍、放大電路板、方格紙。

四、研究原理

(一) 壓電性的產生

1. 正壓電效應：

以機械應力或應變作用而使物體產生電流或電壓輸出。

2. 逆壓電效應：

以電流輸入物體，使之產生機械能或應變的輸出。

(二) 壓電材料之固有頻率測量原理

當壓電材料所加的交流電頻率達到晶片的固有頻率(基頻)時，由於共振的結果，駐波振幅達到最大值，此時的頻率即為此壓電材料的共振頻率。

壓電材料在交變電場作用下可產生機械振動作爲超音波波源，而一切聲

源皆是以駐波方式振動的，故此時晶片內駐波波腹應出現在晶片的兩個平表面上，所以晶片的厚度

度 $h = \frac{\lambda}{2}$ 或為 $\frac{\lambda}{2}$ 的整數倍(圖1)。

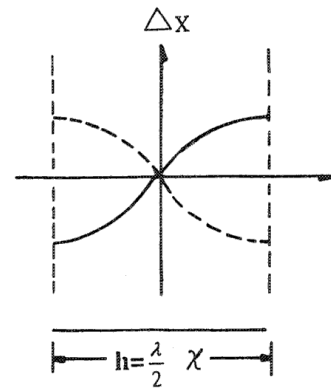


圖 1

(三)聲速之測量原理

實驗裝置如圖2所示，訊號產生器接到作為發送器的一塊晶片上，同時接到示波器的CH2上。當作為發送器的晶片發出的超音波通過介質，傳播到作為接收器的第二塊晶片上時，機械振動激勵壓電晶片產生交變電壓，將此信號接到示波器的CH1上。將兩塊晶片平行且相對的擺放，信號源頻率調至晶片的共振頻率。觀察示波器屏幕上波形的改變。緩慢調整兩晶片間之距離，使兩波形達到同相位(如圖3)。等再次移動到同相位時，便可知已移動了一個波長。利用公式 $V = F \times \lambda$ ，即可求出在此介質中之聲速。

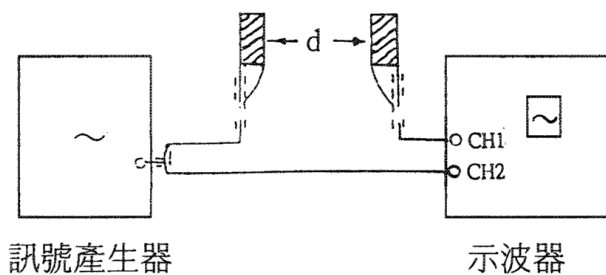


圖2

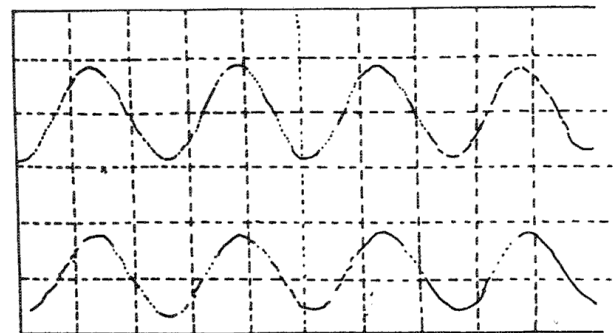


圖3

(四)聲速公式

$$1. V = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad B = -\frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} \quad \rho \text{ 為液體密度， } B \text{ 為體積彈性係數}$$

$$2. \text{聲音於空氣中傳播 } V = \sqrt{\frac{r R T}{M}}$$

M 為氣體之分子量， T 為絕對溫度。

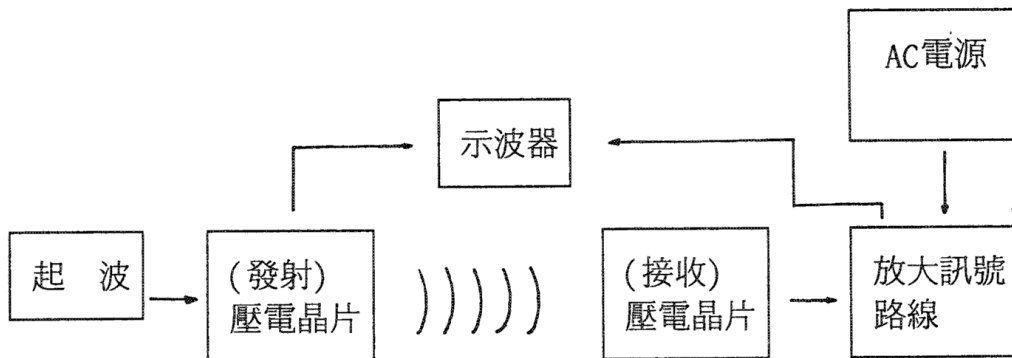
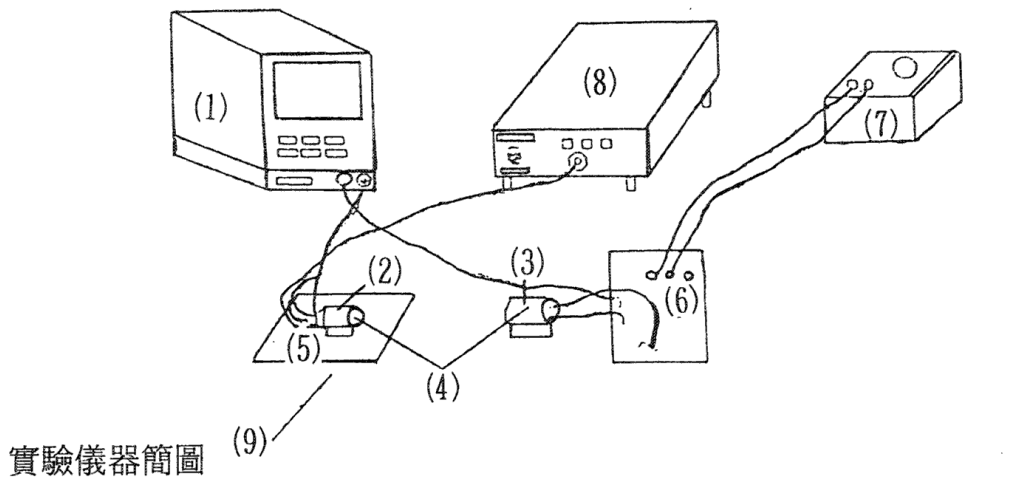
五、實驗步驟

(一)壓電晶片固有頻率之測量

1. 實驗裝置如圖2。
2. 緩慢的改變訊號產生器之頻率，一面觀察示波器上的波形。當振幅達到最大值時，記錄此時的頻率，即為此壓電晶片之共振頻率。

(二)在不同溫度下空氣中聲速的測量

1. 實驗裝置如圖4，將接收的壓電晶片以膠帶固定並在發射晶片下的桌面貼上一張方格紙。
2. 將訊號產生器之頻率固定在40kHz(此為在實驗中使用的壓電材料之固有頻率)。



- | | |
|--|-------------------|
| (1) — 示波器，Ch1為接收之晶片傳來之訊號
Ch2為發射之晶片傳來之訊號 | (5) — 記錄紙 |
| (2) — 發射之壓電晶片，可移動 | (6) — 放大訊號線路板 |
| (3) — 接收之壓電晶片，固定 | (7) — 外加直流電源(12v) |
| (4) — 重物，以穩定晶片 | (8) — 起波器(40KHz) |
| | (9) — 恆溫槽(控制溫度) |

圖4

3. 緩慢移動作爲發射器的晶片，觀察示波器上的波形。
4. 當兩波形達同相位時，在方格紙上記錄發射晶片的位置。
再度移至兩波形呈同相位，並記錄之。
5. 以游標尺量取兩記錄線之距離，即爲聲音的波長 λ 。
6. 代入公式 $v=f \times \lambda$ ， $f=40 \times 10^3 \text{Hz}$ ，求出此時的聲速。
7. 從 $10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ ，每間隔 5°C ，分別測量在不同溫度下空氣中的聲速。
(1) 若此溫度在室溫之上，便將發射與接收裝置移入恆溫槽中操作。
(2) 若此溫度在室溫以下，便置入自製的保麗龍隔熱裝置中，以冰+鹽的冷劑降低溫度(圖5)。

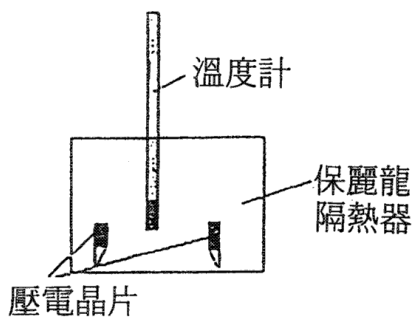


圖5

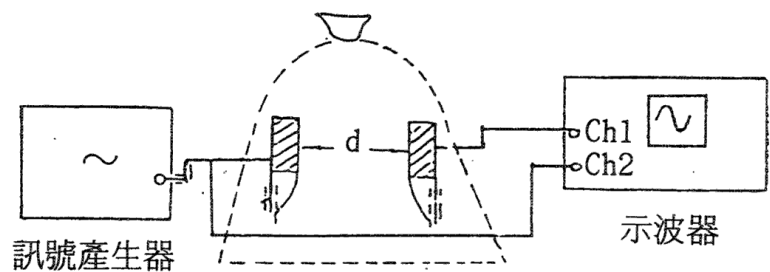


圖6

(三) 在不同氣體中聲速的測量

1. 實驗裝置如圖6。
2. 在大塑膠袋中分別灌入 CO_2 、 O_2 等不同的氣體。
3. 仿(二)中3~6的步驟求出在各氣體中之聲速。

(四) 在不同液體中聲速的測量

1. 拆去發射器與接收器之外殼，取出其中的壓電晶片。
2. 銲上電線後，分別以膠帶固定在兩個小木箱上(如圖7)。
3. 在接收晶片的另一端接上放大訊號電路，晶片接收的訊號經放大後，再接入示波器的CH1。
4. 將待測的液體裝入塑膠袋中，塑膠袋放在兩木箱間。
5. 在晶片與袋之間塗上甘油，以加強機械耦合。
6. 仿(二)中3~6的步驟緩慢移動木箱之距離，求出在液體中聲音之波長。
7. 分別在袋中裝入水、酒精、丙酮，測量聲音在不同液體中之波速。

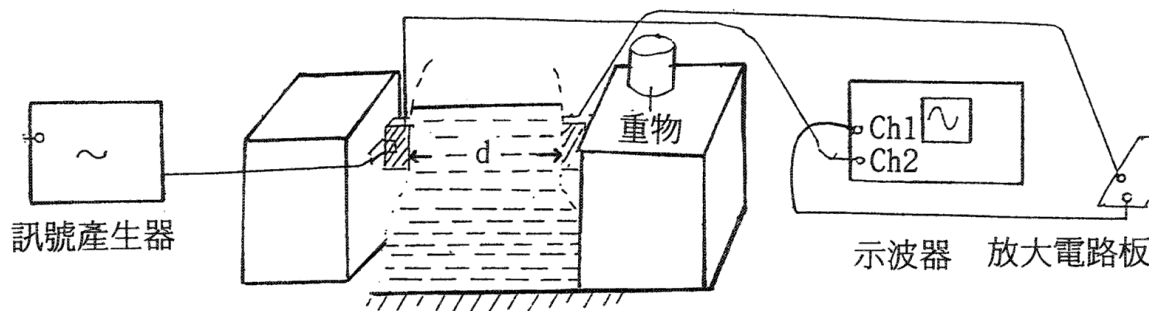


圖7

六、實驗結果

(一) 壓電晶片固有頻率之測定

1. 厚度為6.4mm之壓電晶片之固有頻率分別為86kHz、176kHz、260kHz、343kHz。
2. 不同尺寸之壓電晶片固有頻率之測定：

振動模式	d	固有頻率
厚度振動	6.4mm	86kHz
徑向振動	11.8mm	40kHz

(二) 不同溫度下空氣中聲速的測量

標準聲速： $V=331+0.6t$

溫度	標準聲速(m/s)		波長(cm)	聲速(m/s)	百分誤差	平均聲速(m/s)	平均誤差
40°C	355	第一次	0.880	354	-0.85%	354.6	-0.24%
		第二次	0.890	356	0.28%		
		第三次	0.885	354	-0.28%		
		第四次	0.887	354.8	-0.06%		
		第五次	0.885	354	-0.28%		
35°C	352	第一次	0.870	348	-1.10%	354	-0.45%
		第二次	0.875	350	-0.57%		
		第三次	0.880	352	0.00%		
		第四次	0.880	352	0.00%		

溫度	標準聲速(m/s)		波長(cm)	聲速(m/s)	百分誤差	平均聲速(m/s)	平均誤差
35°C	352	第五次	0.875	350	-0.57%	354	-0.45%
30°C	349	第一次	0.870	348	-0.29%	350.4	0.17%
		第二次	0.880	352	0.86%		
		第三次	0.875	350	0.29%		
		第四次	0.875	350	0.29%		
		第五次	0.870	348	-0.29%		
25°C	346	第一次	0.860	344	-0.59%	345.6	-0.12%
		第二次	0.865	346	0.00%		
		第三次	0.855	342	-1.16%		
		第四次	0.870	348	0.58%		
		第五次	0.870	348	0.58%		
20°C	343	第一次	0.850	340	-0.84%	341.6	-0.37%
		第二次	0.855	342	-0.29%		
		第三次	0.856	342.4	-0.17%		
		第四次	0.850	340	-0.84%		
		第五次	0.860	344	0.23%		
15°C	340	第一次	0.845	338	-0.59%	344.4	1.28%
		第二次	0.860	344	1.12%		
		第三次	0.850	340	0.00%		
		第四次	0.870	348	2.35%		
		第五次	0.880	352	3.50%		
10°C	337	第一次	0.840	336	-0.29%	334	-0.89%
		第二次	0.835	334	-0.89%		
		第三次	0.820	328	-2.67%		
		第四次	0.830	322	-1.48%		
		第五次	0.850	340	0.89%		

(三)不同氣體中聲速的測量

0°C，1atm下，CO₂中的標準聲速為258m/s，O₂中的標準聲速為315m/s，而聲速和 \sqrt{T} 成正比，故在室溫20°C下，CO₂中的標準聲速為258m/s，O₂中的標準聲速為315m/s。

	CO ₂			O ₂		
	波長 (cm)	聲速 (m/s)	百分誤差	波長 (cm)	聲速 (m/s)	百分誤差
第一次	0.67	268	0.27%	0.82	328	0.51%
第二次	0.69	276	3.26%	0.83	332	1.73%
第三次	0.66	264	-1.22%	0.79	316	-3.16%
平均	0.673	269.3	1.17%	0.813	325.3	-0.31%

(四)液體中聲速的測量

在水中的標準聲速：1273m/s

在酒精中的標準聲速：1170m/s

在丙酮中的標準聲速：1190m/s

	水			酒精			丙酮		
	波長 (cm)	波速 (m/s)	百分 誤差	波長 (cm)	波速 (m/s)	百分 誤差	波長 (cm)	波速 (m/s)	百分 誤差
第一次	3.170	1268	-0.39%	2.980	1192	1.88%	2.965	1186	-0.34%
第二次	3.200	1280	0.55%	2.870	1148	-1.88%	2.930	1172	-1.51%
第三次	3.170	1268	-0.39%	2.940	1176	0.51%	3.015	1206	1.34%
第四次	3.145	1258	-1.17%	2.965	1186	0.14%	2.985	1194	0.34%
第五次	3.165	1266	-0.55%	2.910	1164	-0.51%	2.960	1184	-0.50%
平均	3.170	1268	-0.39%	2.933	1173.2	0.14%	2.971	1188.4	-0.07%

七、結論與討論

(一)由前述可知：晶片的厚度 $h = \frac{\lambda}{2}$ 或為 $\frac{\lambda}{2}$ 的整數倍

即 $h = \frac{n\lambda}{2} = \frac{nv}{2f}$ ，式中 v 是縱向超音波速度， λ 是波長， f 是頻率， h 是

晶片厚度。 h 和 f 成反比，由實驗數據可得到證明。

(二)由 $v = \sqrt{\frac{rRT}{M}}$ 可知：

在氣體中，聲音的傳播速度與 \sqrt{T} 成正比，與氣體分子量的平方根成反比，與實驗結果相符。

(三)由實驗求出聲音在不同液體中的行進速度及體彈性係數分別如下：

水	1268.0m/s	$1.605 \times 10^9 (N/m^2)$
酒精	1173.2m/s	$1.142 \times 10^9 (N/m^2)$
丙酮	1188.4m/s	$1.087 \times 10^9 (N/m^2)$

(四)整體看來本實驗測出各流體中聲速大小準確度極高，百分誤差皆在 $\pm 1\%$ 以內。且此實驗可在極小的有限範圍中，任意改變溫度、介質，探討聲音在不同狀況下行進速度的改變。

(五)實驗誤差之探討

1. 用肉眼觀察兩波形同相位，難免有人為誤差。
2. 在低於室溫下作聲速測量時，由於我們自製的隔熱設備並不能完全隔熱，和外界仍有熱交換；再加上由冰和鹽以3:1混合而成的冷劑，可能使其內空氣中所含的水蒸氣比例增多，故誤差較恆溫槽中作出的數據稍大。同時，在測量過程中，溫度可能有些許的變動。
3. 測量不同氣體之聲速時，在大塑膠袋內的氣體或許混雜些許空氣，且袋口無法完全密封，氣體慢慢外滲，袋中的壓力改變，造成誤差。
4. 測量液體中之聲速時，塑膠袋與晶片間不能百分之百的耦合。

(六)在測量液中聲速時，由發射晶片送出的超音波經介質傳送至接收晶片，振幅已衰減很多，接收晶片產生之應變電壓因而微弱。我們經改良後加上加強電路，才順利做出此實驗。

(七)觀察發射與接收的波形是否同相位，除了本文上述的方法外，尚可使用示波器的X-Y模式判斷。

1. 當兩波形同相位時：

$$X = A \sin \omega t$$

$\Rightarrow x = ky$ ，圖形為通過一、三象限的直線。

$$y = B \sin \omega t$$

(A、B表兩波之振幅)

2. 當兩波形相位差為 $\frac{1}{2}$ 時：

$$x = A \sin \omega t$$

$\Rightarrow x = -ky$ ，圖形為通過二、四象限的直線。

$$y = B \sin(\omega t + \pi) = -B \sin \omega t$$

3. 當兩波形相位差為 $\frac{1}{4}$ 時：

$$x = A \sin \omega t$$

$$\Rightarrow \frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1, \text{圖形為橢圓。}$$

$$y = B \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = B \cos \omega t$$

移動兩晶片間之距離時，當再度出現此通過一、三象限的直線時，也表示已移動了一個波長。

(八)由本實驗求出液體之彈性係數，我們可以知道：超音波分辨體內液狀及軟組織之功能遠較X-ray為佳，原因是超音波是機械波，液狀及軟組織在彈性反應上的不同非常明顯，因此對超音波的反應（反射）很明顯的不同。X-ray是電磁波，主要是與物中的電子相作用，對液狀及軟組織這方面的反應不夠明顯。

(九)壓電陶瓷本身應用十分廣泛，例如電話機、音響、警報器、電視機、變壓器及錄影機等常用家電均運用到它。

八、參考資料

1. 最新物理手冊，譯者盧喜瑞，徐氏基金會出版。
2. 物理奧林匹克賽題及解答，楊玲玲等編，湖南教育出版社出版。
3. 大學物理學，譯者曾培熙等，曉園出版社出版。

評語

利用壓電晶體作聲源及接收器，以駐波原理測量聲速，效果不錯。亦兼可測量聲波在各種液體中的速度，方法簡便，具教學示範功能。