

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040116

國立竹東高級中學

指導老師姓名

張安順

蔡怡均

作者姓名

郭思瑀

盧彥均

彭曉祺

劉幸芸

聲音有多快！固體、液體中聲速的探討

壹、研究動機

在物理課時，老師說聲音在不同介質傳播的聲音速度不同，因而引發我們對固、液體中聲速的好奇，進而研究測量聲速的方法，所以爲了了解聲音在固、液體中的傳播情形，我們選擇了不同的長棒、水、酒精、油等物質，利用喇叭的膜面振動感應出一電動勢，藉由示波器顯示波形，分析其訊號，計算出波速的大小。



貳、研究原理

敲擊長棒時產生波動，波動經由長棒傳播至喇叭的膜面，膜面的振動帶動膜面旁的線圈振動，喇叭內有一永久磁鐵，線圈的磁通量因而隨時間變化，線圈中產生了感應電動勢，由示波器顯示訊號的變化，並分析訊號所代表的意義。

聲波在長棒中來回反射，喇叭也忠實地感應出訊號，藉由示波器上兩相鄰波峰之平均時間(ΔT)和棒子長度(L)，可得知聲速 $v = \frac{2L}{\Delta T}$ 。

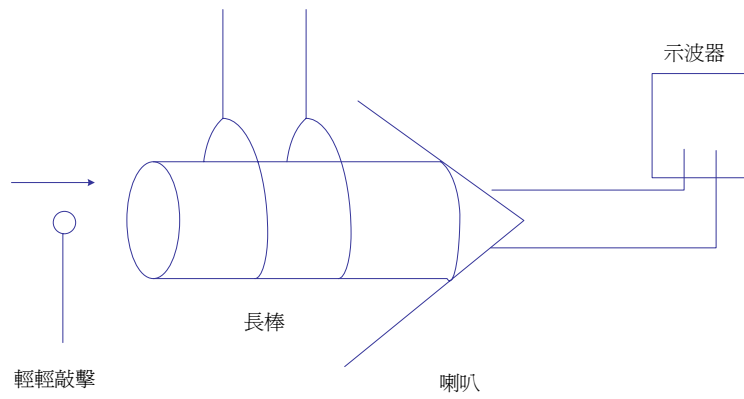
參、實驗器材和裝置

一、器材

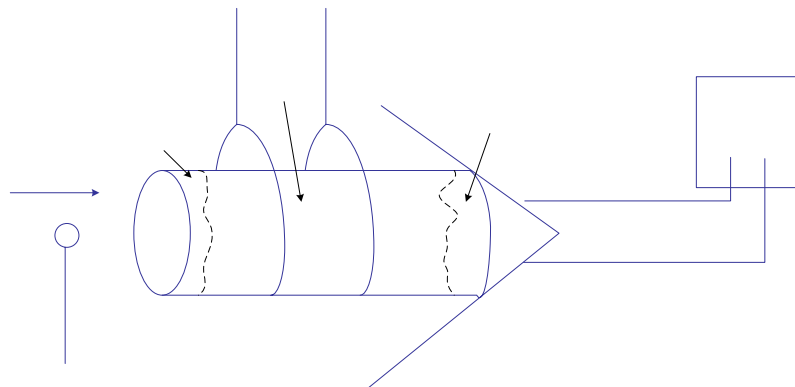
示波器	喇叭	銅棒	木棒
數位相機	小槌子	鋁棒	水
筆記型電腦	保鮮膜	不鏽鋼棒	酒精
玻璃管	鐵棒	玻璃棒	橄欖油



二、裝置



圖A 測固體聲速



肆、實驗步驟

一、固體中的聲速

- (一)裝置如圖 A 所示，一長鐵棒用細線懸吊於空中，長棒的一端輕輕的接觸喇叭的膜面，喇叭的訊號連接至示波器。
- (二)以小槌子輕輕敲打長鐵棒的另一端，使喇叭膜面振動產生電動勢的訊號，經由示波器把波形呈現出來，並以數位相機把影像記錄下來。
- (三)測量兩波峰間的平均時間差，可得聲波往返一次的平均時間(ΔT)
- (四)測量棒子的長度 L ，計算出聲速大小
- (五)分別取鋁棒、不鏽鋼棒、銅棒、玻璃棒、木棒等重覆 1~4 步驟，計算出聲速大小

二、液體中的聲速

- (一)裝置如圖 B 所示，兩端開口的中空玻璃管用細線懸吊於空中，管內裝滿約 70°C 的水，兩端用保鮮膜封緊，玻璃管的一端輕輕的接觸喇叭的膜面，喇叭的訊號連接至示波器。
- (二)以小槌子輕輕敲打玻璃管的另一端，使喇叭膜面振動產生電動勢的訊號，經由示波器把波形呈現出來，並以數位相機把影像記錄下來。
- (三)測量此時水溫。
- (四)測量兩波峰間的平均時間差，可得聲波往返一次的平均時間(ΔT)
- (五)測量管子的長度 L ，計算出聲速大小
- (六)分別取約 70°C 的酒精、橄欖油等重覆 1~5 步驟，計算出聲速大小

伍、實驗目的

- 一、分析示波器上訊號的物理意義
- 二、測量不同固體(導體、非導體)中的聲速
- 三、測量不同溫度時，液體中的聲速
- 四、探討影響聲速的因素

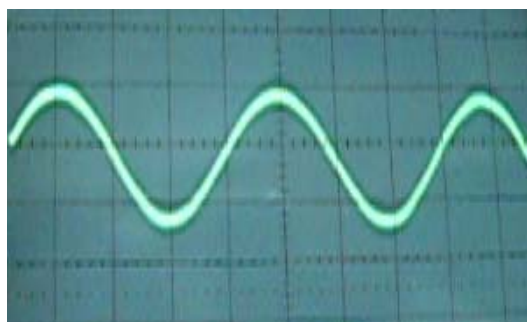
陸、實驗結果

一、喇叭膜面振動之準確性測試

步驟：有一已知頻率音叉(512Hz)，以喇叭量測出其聲波頻率

週期(ms)	頻率(Hz)
1.932	517.6
1.945	514.1
1.945	514.1
1.954	511.6
1.929	518.3
1.945	514.1
1.963	509.4
1.945	514.1

表 1



音叉頻率測試圖(0.5ms/格，1mV/格)

頻率之平均值=514.2
 頻率之標準值=512
 誤差=0.43%

Ps.此喇叭為高中物理實驗中利用空氣在管中共鳴法求出聲速實驗裝置中的喇叭，其可以發出高達 4000hz 的聲波，因此理應可以感測出週期至少為 0.25ms 的震波訊號。在此利用一音叉來驗證喇叭的準確性。

二、固體中(導體)的聲速

(一)鐵棒(0.5m，如圖 2)

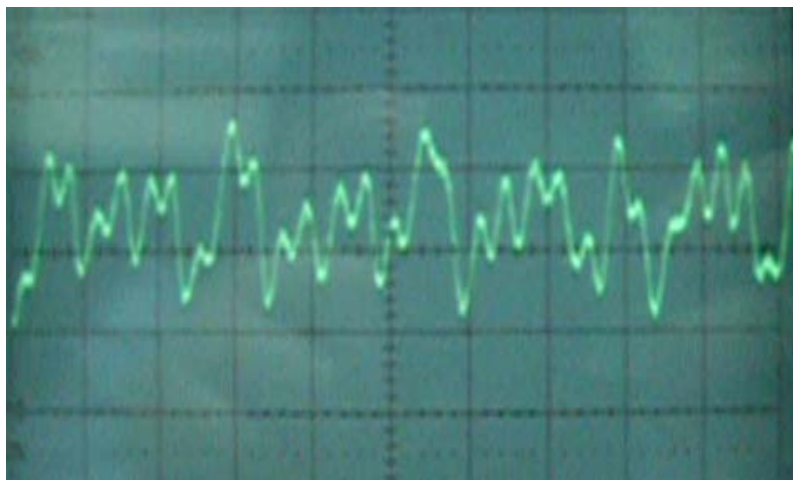


圖 2 鐵棒(0.5m，0.5ms/格，1mV/格)

鐵棒	
長度 L=0.5m	18°C
來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
0.196	5111
0.200	5000
0.217	4600
0.190	5263
0.214	4666
	平均聲速 V(m/s)
	4928

聲速理論值(m/s)	聲速實驗值(m/s)	誤差%
5135	4928	4.20%

表 2 鐵棒(0.5m)

(二)鐵棒(1.2m，如圖 3)

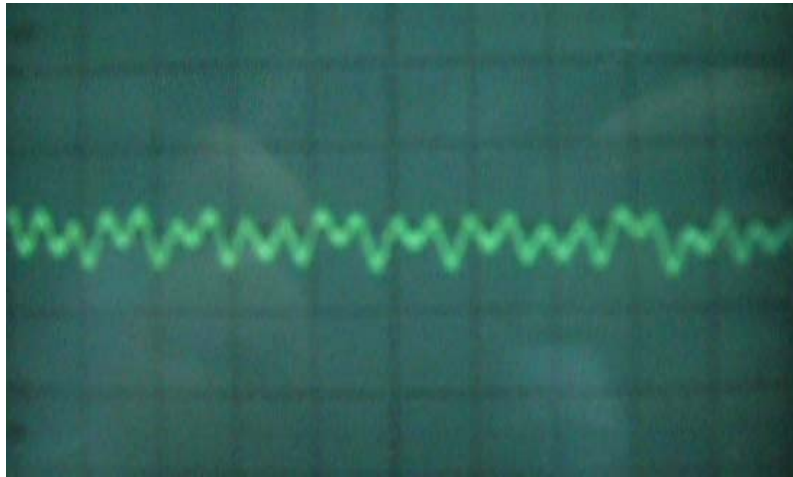


圖 3 鐵棒(1.2m，0.5ms/格，1mV/格)

鐵棒	
長度 $L=1.2\text{m}$	18°C
來回一次的時間 $\Delta T(\text{ms})$	聲速 $V(\text{m/s})$
0.525	4571.4
0.481	4992
0.488	4911.6
0.486	4934.6
0.488	4923.1
	平均聲速 $V(\text{m/s})$
	4866.5

聲速理論值(m/s)	聲速實驗值(m/s)	誤差%
5135	4866.5	5.20%

表 3 鐵棒(1.2m)

(三)鋁棒(0.63m，如圖 4)



圖 4 鋁棒(0.5ms/格，1mV/格)

鋁棒	
長度 L=0.63m	18°C
來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
0.246	5112
0.235	5365
0.250	5040
0.239	5276
0.250	5040
	平均聲速 V(m/s)
	5167

聲速理論值(m/s)	聲速實驗值(m/s)	誤差%
5102	5167	3.2%

表 4 鋁棒

(四)不鏽鋼棒(如圖 5)



圖 5 不鏽鋼棒(0.5ms/格，1mV/格)

不鏽鋼棒	
長度 L=0.603m	18°C
來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
0.231	5226
0.259	4663
0.250	4824
0.227	5306
0.250	4824
	平均聲速 V(m/s)
	4968.6

表 5 不鏽鋼棒

(五)銅棒(如圖 6)

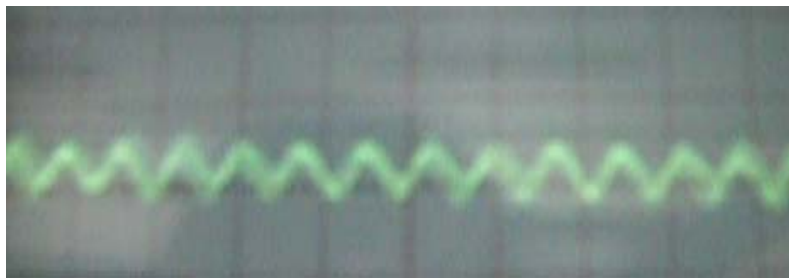


圖 6 銅棒(0.5ms/格，1mV/格)

銅棒	
長度 $L=0.601\text{m}$	18°C
來回一次的時間 $\Delta T(\text{ms})$	聲速 $V(\text{m/s})$
0.371	3230.8
0.375	3205.3
0.372	3231.2
0.373	3222.5
0.377	3188.3
	平均聲速 $V(\text{m/s})$
	3215.6

表 6 銅棒

三、固體中(非導體)的聲速

(一)玻璃棒

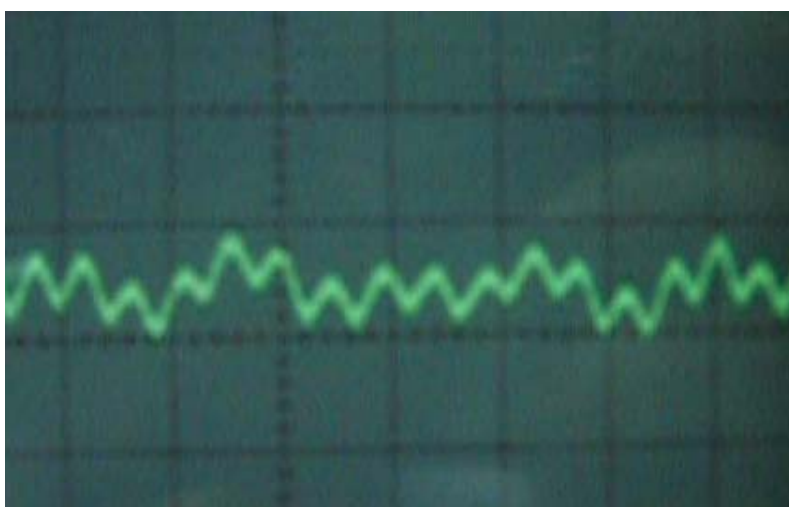


圖 7 玻璃棒(0.5ms/格，1mV/格)

玻璃棒	
長度 $L=0.602\text{m}$	18°C
來回一次的時間 $\Delta T(\text{ms})$	聲速 $V(\text{m/s})$
0.258	4674.3
0.227	5297.6
0.212	5676
0.242	4966.5
0.228	5267.5
	平均聲速 $V(\text{m/s})$
	5176.4

表 7 玻璃棒

(二)木棒



圖 8 木棒(0.5ms/格，1mV/格)

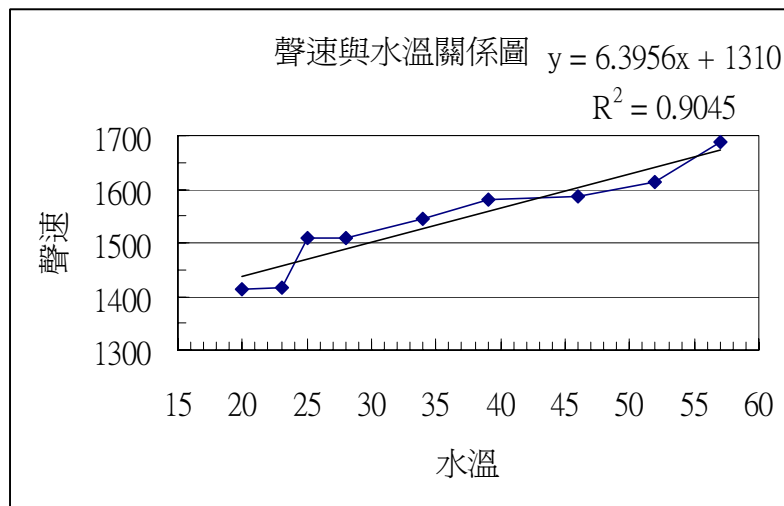
木棒	
長度 $L=0.6\text{m}$	18°C
來回一次的時間 $\Delta T(\text{ms})$	聲速 $V(\text{m/s})$
1.172	1023.5
1.103	1087.5
1.034	1160
1.214	988.2
1.166	1029.2
	平均聲速 $V(\text{m/s})$
	1057.7

表 8 木棒

四、不同溫度下，液體的聲速

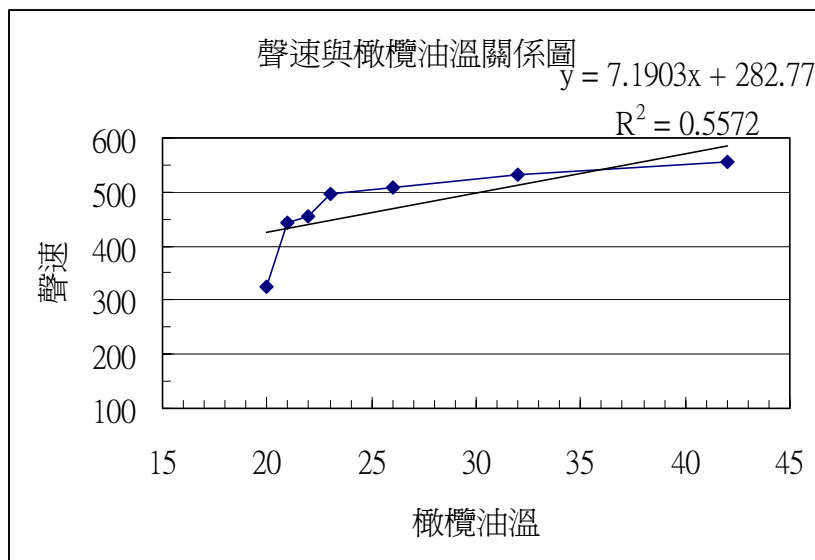
(一)水

水(液體)		
玻璃管長度 L=0.29m		
水溫(°C)	來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
57	0.343	1687.2
52	0.359	1613.9
46	0.368	1586.3
39	0.367	1581.8
34	0.375	1546
28	0.384	1508
25	0.384	1508
23	0.409	1417.8
20	0.411	1412.8



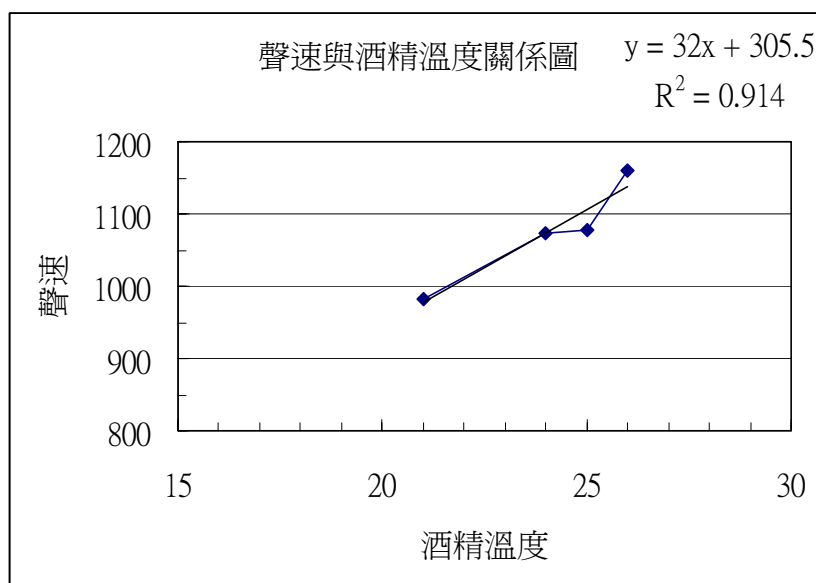
(二)橄欖油

橄欖油(液體)		
玻璃管長度 L=0.29m		
水溫(°C)	來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
42	1.043	555.8
32	1.091	531.6
26	1.143	507.5
23	1.167	497.1
22	1.273	455.7
21	1.309	443.1
20	1.777	326



(三)酒精

酒精(液體)		
玻璃管長度 L=0.29m		
水溫(°C)	來回一次的時間 ΔT (ms)	聲速 V(m/s)
26	0.500	1160
25	0.538	1077
24	0.540	1074
21	0.590	983



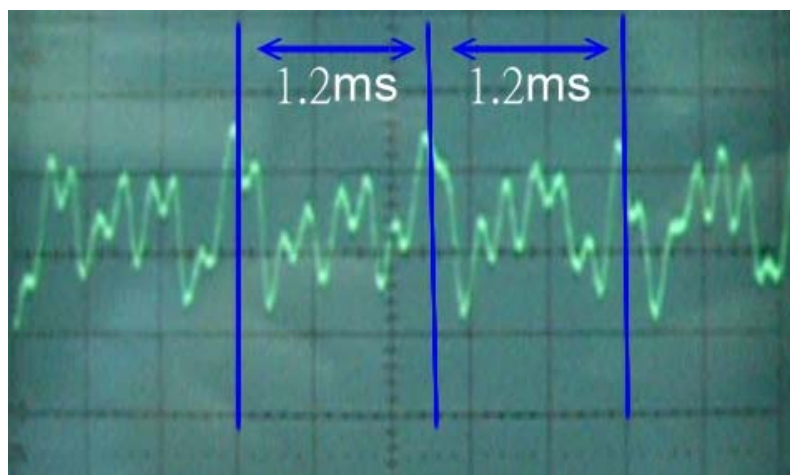
柒、討論和結論

一、示波器訊號之分析

(一)喇叭膜面的振動其實可以想像是一種簡諧運動的過程，當膜面沒有形變，有一最大瞬時速度向內走時，此時像是在簡諧運動的平衡點，此時膜面後的線圈同時也具有最大速度，此時也感應出最大的電動勢。當膜面有最大形變時，此時瞬時速度是零，因此感應出的電動勢為零，因此由示波器上的訊號可得知此時膜面的速度狀態和形變的程度。所以如果是一單純的週期性震波(意指震波在棒子裡來回反射)，其示波器上的訊號也應該是平滑的正弦波或三角波，若示波器上出現了非平滑的雜波，其原因是包含了敲擊時所產生聲音的訊號和喇叭本身整體輕微振動的訊號。

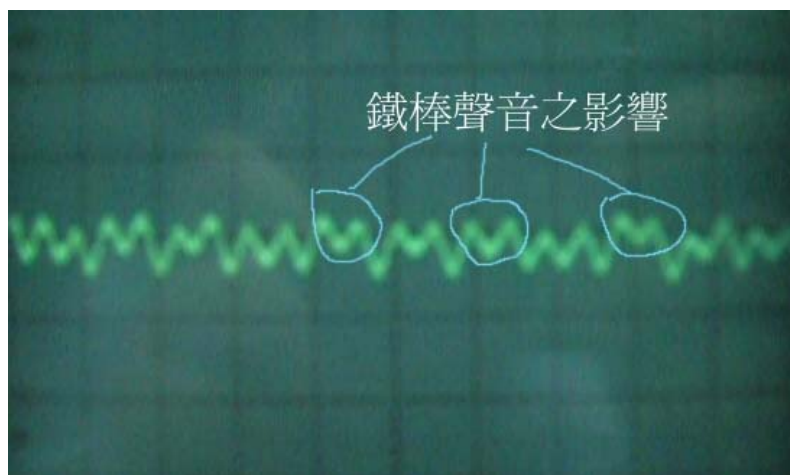
(二)喇叭膜面自然振動之週期：輕敲膜面一次，讓它自然振動，量測其訊號週期。經量測後 $T=1.27\text{ms}$ 。

在鐵棒(0.5m)的實驗中，示波器波形有一規律性之訊號，乃因鐵棒振動之訊號(較小)和膜面本身受鐵棒撞擊後而自然振動之訊號(較大)，兩訊號相疊加之結果。如下圖。

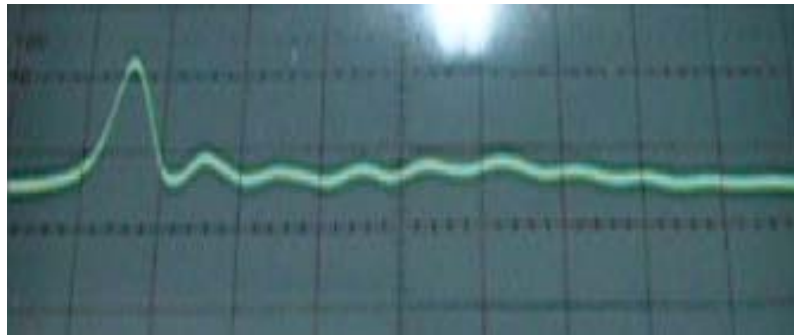


(三)鐵棒聲音的週期：敲鐵棒發出的聲音，讓喇叭感測聲波，找出鐵棒聲音的週期 $T=0.39\text{ms}$ 。

在量測鐵棒(1.2m)聲速時，發現示波器訊號有規則性推測原因是敲鐵棒時，鐵棒本身所發出聲音的訊號(較小，因喇叭離敲擊點較遠)和鐵棒傳播震波的訊號(較大)，兩相疊加的結果。如下圖。



二、聲音較易被液體吸收，尤其聲波又在介質中來回反射，能量會逐漸衰減，示波器上的振幅會愈來愈小，所以實驗時管子不宜太長。如下圖所示。



量測液體中聲速時的訊號

三、實驗中聲速誤差的原因:

- (一) 液體管壁的微量氣泡會影響波動的傳播情形。
- (二) 溫度的微量變化也會造成聲速的改變。
- (三) 其他物體微量的振動會影響到喇叭的振動，進而影響訊號的穩定。

四、實驗中所得各物質的聲速如下表:

物質	平均聲速(m/s)
鐵棒	4928
鋁棒	5167
不鏽鋼棒	4968.6
銅棒	3215.6
玻璃棒	5176.4
木棒	1057.7
水(20°C)	1412.8
橄欖油(20°C)	326
酒精(21°C)	983

五、

影響聲速的因素包含了原子鍵結力量大小和密度大小，鍵結力量越大則聲速越快，密度越小，原子分子越容易被帶動，則聲速也越快，可用一數學式子來表示

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

ρ 是密度， B 是體彈性係數(bulk modulus)， $B = -\frac{\Delta P}{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)}$

如何驗證我們找到的聲速大小關係是正確的，我們想到了用線膨脹係數和密度的乘積倒數來比較。當物質溫度提高，分子平均動能提高，進而分子間距離變大造成了體膨脹，因此體膨脹係數越小表示給予一定的能量或力學條件，因其分子間的鍵結力量較大，其體膨脹會較小，所以體膨脹係數和體彈性係數成反比，又體膨脹係數約為線膨脹係數的 3 倍，因此聲速大小與 $\frac{1}{\text{線膨脹係數} \times \text{密度}}$ 相關， $\frac{1}{\text{線膨脹係數} \times \text{密度}}$ 值越大，聲速越大。

物質	玻璃	鋁	鐵	銅	水	酒精
線膨脹係數($\times 10^{-6}$)	30	23.9	11.7	16.5	200	750
密度 (g/cm^3)	2.1	2.69	7.87	8.6	1	0.8
$\frac{1}{\text{線膨脹係數} \times \text{密度}} (\times 10^{-3})$	15.8	15.5	10.8	6.7	5	1.6
聲速實驗值(m/s)	5176	5167	4928	3215	1413	983

六、此測量聲速的方法簡便易操作，只需喇叭和示波器，並可適用於固、液、氣體中。

捌、參考資料

- | | | |
|-----------------------|-------------------------|-------|
| 一、曾國輝 | 化學鍵 | 建宏出版社 |
| 二、中華民國第 32 屆中小學科學展覽資料 | | |
| 三、DAVID HALLIDAY | FUNDAMENTALS OF PHYSICS | WILEY |

評語

040116 高中組物理科

聲音有多快？固體、液體中聲速的探討

本作品量測音波在固體、液體中的傳播速度，而能測得簡易材料的音速。但所採用的儀器裝置與所探討的主題，較缺乏創意，且研究的材料亦較簡易，缺少挑戰性。