

固體和液體中聲速的測定與探討

高中組物理科第二名

省立台中女中

作者：周慧瑜、張詩玫

黃麗如、張靜宜

指導教師：李瑞華

一、研究動機

在高中物理課程的實驗中，有一個是利用空氣共鳴儀測量聲音在氣體中的速度，因而引發我們對固體、液體中音速的好奇，進而研究測量的方法。

二、研究目的

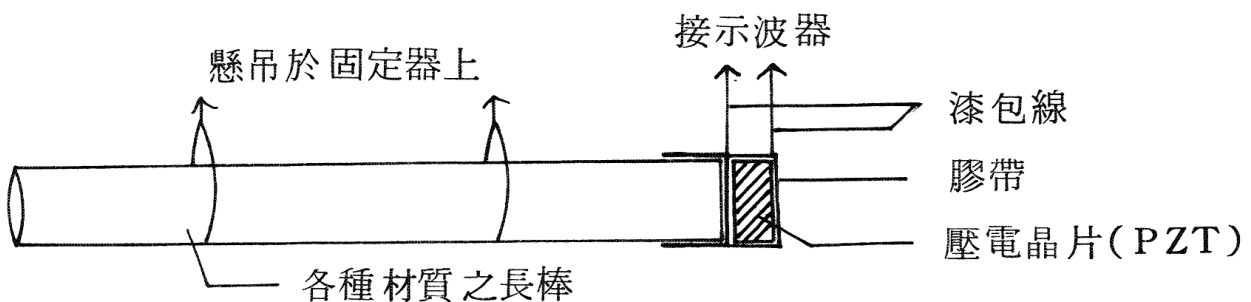
- (一)研究尋求測量固體、液體中聲速最理想的方法與裝置。
- (二)測不同固體 ┌ 導體 的聲速
└ 非導體
- (三)測不同液體的聲速大小。
- (四)求水中聲速與溫度的關係。

三、實驗器材

記憶性示波器、壓電晶片（Piezoelectric transducer，簡稱 PZT）、不同材質之長棒、鉗子、除雜訊(60HZ)電路板、空心塑膠套管、溫度計、酒精、四氯化碳。

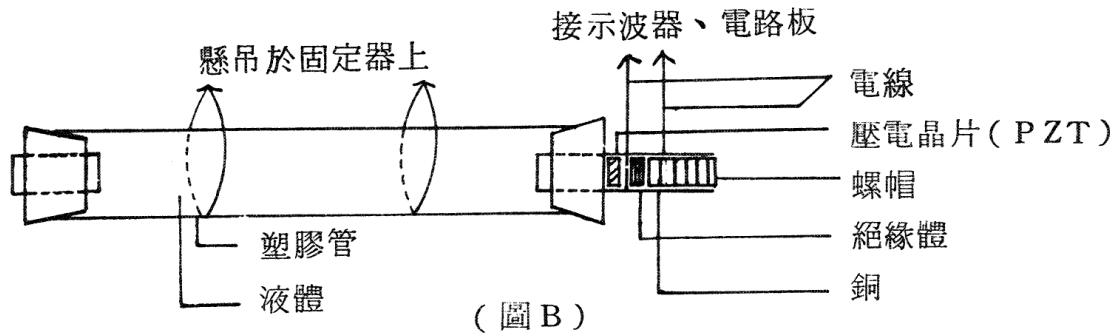
四、實驗裝置的設計

(一)測固體部份時：



(圖 A)

(二)測液體部份時：



五、實驗原理

(一)壓電晶片將聲波機械振動轉換成相應的電信號，而得以測出晶體兩面電位差之現象，稱為壓電效應。

(二)聲波是由錘子敲擊金屬棒或液體管子的一端而產生的。聲速來回數次皆作用於壓電晶片。於是從壓電晶片而來的電壓訊號便被記錄在儲存式記憶性電腦示波器上。

(三)聲速等於兩倍棒長（或液體管長）和示波器上二相鄰波峰之平均時間的商。

$$V = 2L/T$$

六、實驗步驟

(一)固體

(1)裝置鉛棒如圖 A 所示。

(2)以錘子敲擊鉛棒之一端使壓電晶片受壓產生電壓，並從示波器上顯示出波形，將波形記錄下來。

(3)測量兩波峰間距離，得聲速往返一次的時間。

(4)測量棒子長度。

(5)由步驟 3、4 所得結果求出鉛棒中的聲速。

(6)分別再取銅、杜拉鋁、高碳鋼、中碳鋼、鐵、玻璃、塑膠等材質之長棒重覆操作步驟 1~5。

(7)探討實驗裝置的改良。

(二)液體

(1)裝置器材如圖 B 所示。

(2)在塑膠管中裝滿室溫的水，以錘子敲擊塑膠管的一端，使壓電晶片受壓產生電壓，並從示波器上顯示出波形，將波形記錄下來。

- (3)測量波形上兩波峰間的距離，得聲速往返一次的時間。
- (4)測量塑膠管中水所佔的長度。
- (5)以步驟 3、4 所得結果求出水中的聲速。
- (6)分別取酒精、四氯化碳重覆以上步驟。
- (7)探討實驗裝置的改良。

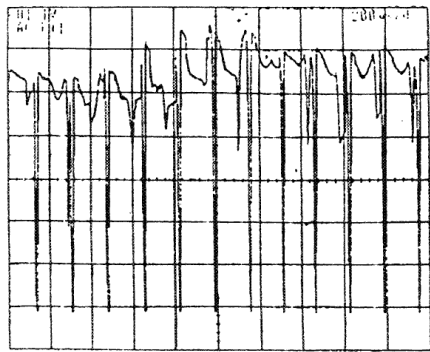
(三)水溫及聲速

- (1)在測量液體中聲速的裝置內裝滿 70℃ 的水，逐漸降溫，在不同溫度時測量水中的聲速，步驟同(二)。
- (2)由以上步驟所得之數據，推導出水溫變化與水中聲速的關係式。

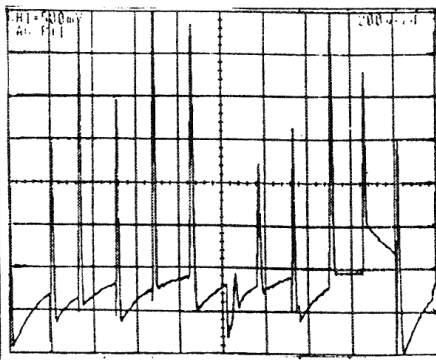
七、實驗結果

(一)固體導體中的聲速

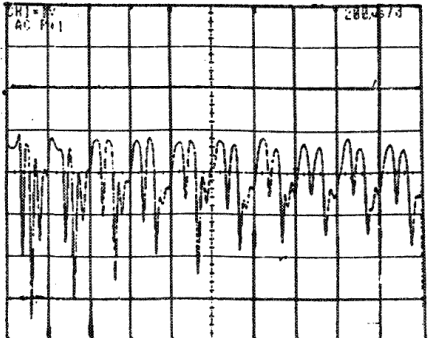
(a)

材質：鋁		棒長 L : 0.4065 (m)		溫度：19.0 (°C)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值 (m/s)	
1.70×10^{-4}	4782.35	146.63	4928.98 ± 0.001	5102	
1.66×10^{-4}	4897.59	31.39		誤差	
1.64×10^{-4}	4957.32	-28.34			
1.60×10^{-4}	5081.25	-152.27			
1.64×10^{-4}	4957.32	-28.34			
1.65×10^{-4}	4839.29	89.69		3.39%	
1.63×10^{-4}	4987.73	-58.75			

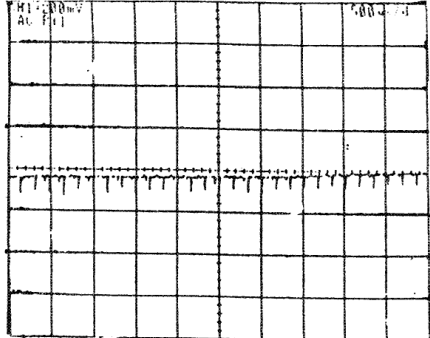
(b)

材質：杜拉鋁		棒長 L : 0.4048 (m)		溫度：19.0 (°C)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值 (m/s)	
1.63×10^{-4}	4958.28	-132.29	4825.99 ± 0.004		
1.68×10^{-4}	4819.05	6.94		誤差	
1.78×10^{-4}	4548.31	277.68			
1.56×10^{-4}	5189.74	-363.75			
1.72×10^{-4}	4706.98	119.01			
1.4×10^{-4}	4652.87	173.12			
1.65×10^{-4}	4906.67	-80.68			

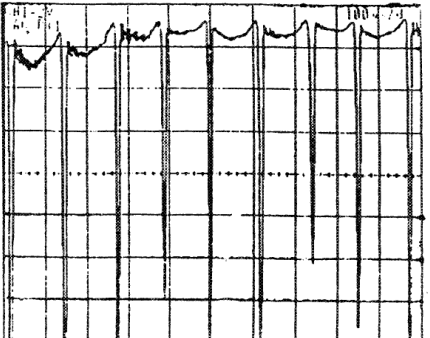
(c)

材質：鋼		棒長 L：0.4041(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
2.20×10^{-4}	3673.64	194.02	3867.66 ± 0.00	3813	
2.04×10^{-4}	3961.76	-94.10		誤差	
2.08×10^{-4}	3885.58	-17.92			
2.08×10^{-4}	3885.58	-17.92			
2.00×10^{-4}	4041.00	-173.34			
2.15×10^{-4}	3759.07	108.59			
2.09×10^{-4}	3866.99	0.67		1.43%	

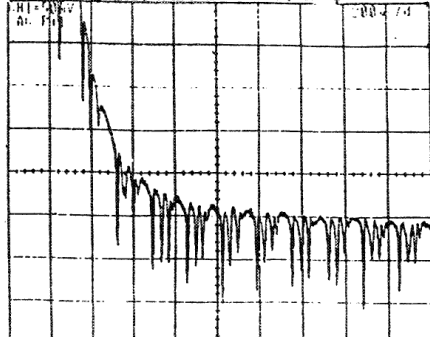
(d)

材質：高碳鋼		棒長 L：0.4389(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
1.64×10^{-4}	5352.44	-162.46	5189.98 ± 0.001	5200	
1.80×10^{-4}	4876.67	313.31		誤差	
1.72×10^{-4}	5103.48	86.50			
1.64×10^{-4}	5352.44	-162.46			
1.68×10^{-4}	5225.00	-35.02			
1.70×10^{-4}	5163.53	26.45			
1.67×10^{-4}	5256.29	-66.31		0.19%	

(e)

材質：中碳鋼		棒長 L：0.3033(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
1.25×10^{-4}	4852.80	220.86	5073.66 ± 0.004	5189	
1.20×10^{-4}	5055.00	18.66		誤差	
1.13×10^{-4}	5368.14	-294.48			
1.12×10^{-4}	5416.07	-342.41			
1.24×10^{-4}	4891.94	181.72			
1.16×10^{-4}	5229.31	-155.65			
1.29×10^{-4}	4702.33	371.33		2.22%	

(f)

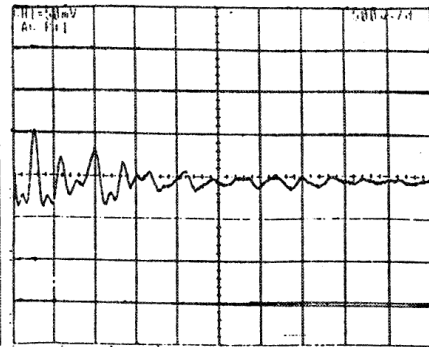
材質：鐵		棒長 L：0.4020(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
1.60×10^{-4}	5025.00	-109.56	4915.44 ± 0.003	5135	
1.64×10^{-4}	4902.44	13.00		誤差	
1.52×10^{-4}	5289.47	-374.03			
1.72×10^{-4}	4674.42	241.02			
1.72×10^{-4}	4674.42	241.02			
1.59×10^{-4}	5056.60	-141.16			
1.68×10^{-4}	4785.71	129.73		4.27%	

∴ 固體導體中的聲速大小為：高碳鋼 > 中碳鋼 > 鋁 > 鐵 > 杜拉鋁 > 銅

(二) 固體非導體中的聲速：

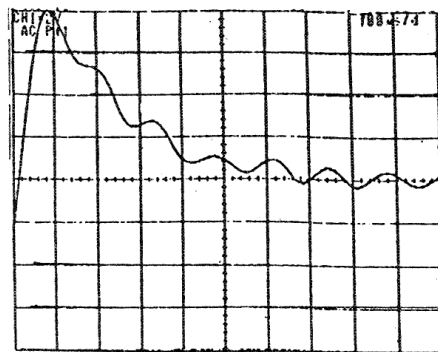
(a)

材質：玻璃		棒長 L：0.3447(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的 時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
1.28×10^{-4}	5385.94	-141.77	5244.17 ± 0.000	誤差	
1.24×10^{-4}	5559.68	-315.51			
1.30×10^{-4}	5303.08	-58.91			
1.36×10^{-4}	5069.12	175.05			
1.40×10^{-4}	4924.29	319.88			
1.26×10^{-4}	5471.43	-227.26			
1.38×10^{-4}	4995.65	248.52			



(b)

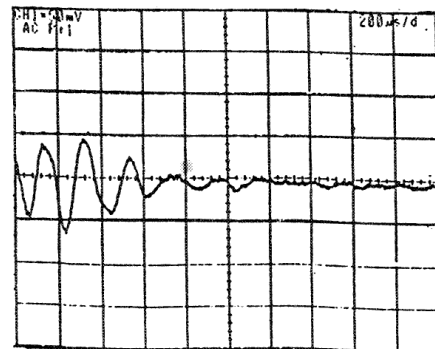
材質：塑膠		棒長 L：0.1982(m)		溫度：19.0(℃)		
音波往返一次的 時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)		
3.2×10^{-4}	1238.75	-23.412	1215.34 ± 0.004	誤差	1213	
3.2×10^{-4}	1238.75	-23.41				
3.6×10^{-4}	1101.11	114.23		0.19%		
3.5×10^{-4}	1132.57	82.77				
3.1×10^{-4}	1278.71	-63.37				
3.1×10^{-4}	1278.71	-63.37				
3.2×10^{-4}	1238.75	-23.41				



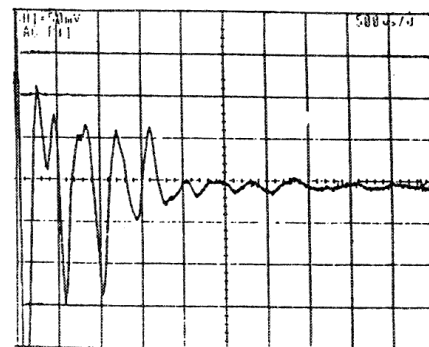
∴ 固體非導體中的聲速：玻璃 > 塑膠

(三) 液體中的聲速：

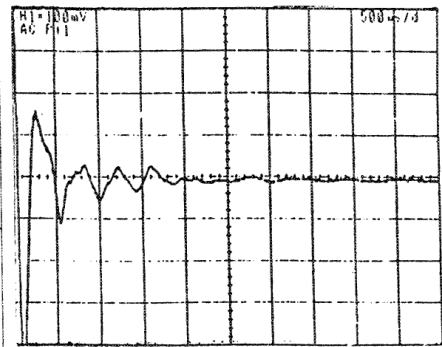
材質：水		棒長 L：0.2110(m)		溫度：17.0(℃)	
音波往返一次的 時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
3.78×10^{-4}	1116.40	290.95	1407.35 $0.003 \pm$	誤差	
3.05×10^{-4}	1383.61	23.74			
3.21×10^{-4}	1314.64	92.71			
2.41×10^{-4}	1751.04	-343.69			
2.34×10^{-4}	1803.42	-396.07			
3.40×10^{-4}	1241.18	166.17			
3.40×10^{-4}	1241.18	166.17			



材質：酒精		棒長 L：0.2110(m)		溫度：19.0(℃)		
音波往返一次的 時間 t(s)	波速 $v=2L/T$ (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)		
4.0×10^{-4}	1055.00	44.83	1099.83 ± 0.001	誤差	1162	
4.0×10^{-4}	1055.00	44.83				
3.7×10^{-4}	1140.54	-40.71		5.35%		
4.0×10^{-4}	1055.00	44.83				
3.6×10^{-4}	1172.22	-72.39				
3.8×10^{-4}	1110.53	-10.70				
3.9×10^{-4}	1110.53	-10.70				



材質：四氯化碳		棒長 L：0.2110(m)		溫度：19.0(℃)	
音波往返一次的 時間 t(s)	波速 v=2L/T (m/s)	偏差	平均波速 (m/s)	公認值(m/s)	
4.0×10^{-4}	1055.00	-67.88	987.12 ± 0.00	940	
4.4×10^{-4}	959.09	28.03		誤差	
4.1×10^{-4}	1029.27	-42.15		5.01%	
4.2×10^{-4}	1004.76	-17.64			
4.2×10^{-4}	1004.76	-17.64			
4.4×10^{-4}	959.09	28.03			
4.7×10^{-4}	897.87	89.25			



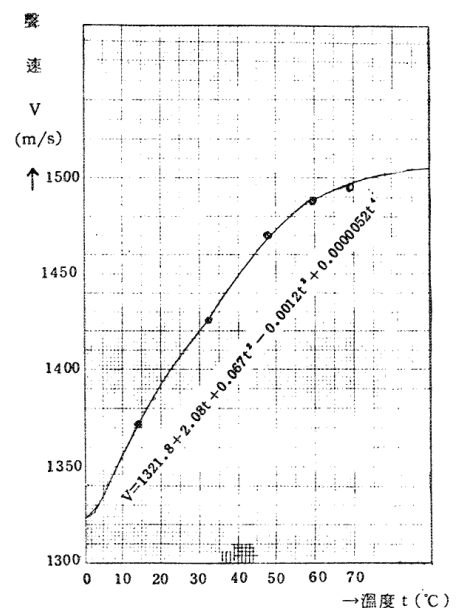
∴液體中的聲速：水 > 酒精 > 四氯化碳

(四)水溫變化和聲速的關係：

管長 L (m)	溫度 t (℃)	音波往返一次 T (s)	音速 v=2L/T (m/s)
0.2110	14.1	3.10×10^{-4}	1361.29
	33.0	2.95×10^{-4}	1425.68
	48.4	2.87×10^{-4}	1469.25
	60.2	2.83×10^{-4}	1491.10
	64.7	2.82×10^{-4}	1496.45

利用最小平方法求出水溫和聲速的關係式為：

$$V = 1321.8 + 2.08t + 0.067t^2 - 0.0012t^3 + 0.0000052t^4$$



八、結論與討論

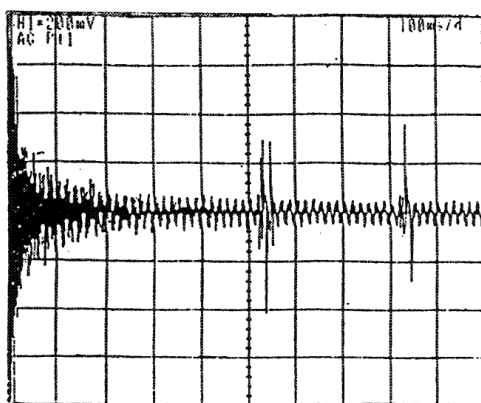
(一)誤差原因為：

- (1)作水中聲速的測量時，使用自來水，結果必與純水有出入。
- (2)液體管壁有著些許微小氣泡，對液體中聲速的傳遞造成干擾。
- (3)溫度的微量變動造成聲速的改變，亦是誤差之來源。
- (4)裝置中待測物以外的物體都會影響聲波傳遞，而使實驗結果發生誤差。

(二)示波器所顯示之波形往往非平滑的正弦波，而有小幅度的雜波出現。此現象是由於壓電晶片的餘震及四面八方的雜波。

(三)聲音較易被液體吸收，所以實驗時液體管子不宜太長。

(四)聲音在介質中來回傳遞時，能量會逐漸減弱，因此示波器上的波形振幅也會逐漸變小。(如圖 C)



(五)聲波在液體中來回的時間接近 60hHZ 電波的週期，所以實驗前要先用電路板濾去 60HZ 的雜訊。

(六)由實驗結果推導出水中聲速和溫度的關係式為：

$$V = 1321.8 + 2.08t + 0.067t^2 - 0.0012t^3 + 0.0000052t^4$$

利用此式可求任何溫度時水中的聲速。

(七)由實驗得各介質中的音速為：

固 體	鋁	4928.97m/s	銅	3867.66m/s		
	鐵	4915.44m/s	高碳鋼	5189.98m/s		
	杜拉鋁	4825.99m/s	中碳鋼	5073.66m/s		
	塑膠	1215.34m/s	玻璃	5244.17m/s		
液 體	酒精	1099.83m/s	四氯化碳	987.17m/s	水	1407.35m/s
溫度變化	14.1°C	33.0°C	48.4°C	60.2°C	64.7°C	
與音速	1361.29m/s	1425.68m/s	1469.25m/s	1491.10m/s	1496.45m/s	

(八)原子鍵結力愈大，則聲子的能量、動量傳遞速度也愈快。

例如：玻璃、銅、塑膠之原子結合力各為：

玻璃——共價鍵，銅——金屬鍵，塑膠——凡得瓦力，因為結合力大小為共價鍵 > 金屬鍵 > 凡得瓦力，所以聲速大小為：玻璃 > 銅 > 塑膠。

此推論可由實驗結果得證。

(九)由 $V = \sqrt{B/\rho}$ (B：體彈性係數， ρ ：密度)可知聲速與密度有關，而密度又隨溫度而變，故各傳聲介質中之聲速與溫度有關。

(十)綜觀此實驗結果，物質中的聲速大小和物質內原子、分子間引力有密切關係。原子間若有原子鍵形成強大引力，則材料硬度大，故再以「維克氏硬度試驗儀」(Vickers hardness testing)測各長棒之硬度得：

物質	玻璃	高碳鋼	中碳鋼	鐵	銅	杜拉鋁	鋁	塑膠
硬度(HV)	547.6	265.4	207.6	154.2	98.0	54.2	51.3	15.3

聲速與硬度大小對照為：

聲速：玻璃>高碳鋼>中碳鋼>鋁>鐵>杜拉鋁>銅>塑膠

HV 值：玻璃>高碳鋼>中碳鋼>鐵>銅>杜拉鋁>鋁>塑膠

發現兩者大小關係並未完全相等，於是再探討後發現聲速大小亦和密度有關
 $\therefore B = \frac{-P}{\Delta V/V}$ ，而硬度愈大， $\frac{\Delta V}{V}$ 愈小 $\Rightarrow B$ 愈大 \Rightarrow 硬度愈大，體彈性係數愈大。
 又 $\therefore V = B/P \Rightarrow$ 綜合前述之推論 $\Rightarrow V$ 愈大，硬度/密度之值愈大。所以再測出各棒之密度，並將硬度與密度之比值求出：

材質	玻璃	高碳鋼	中碳鋼	鐵	銅	杜拉鋁	鋁	塑膠
密度(g/cm ³)	2.68	7.77	7.71	7.81	8.40	2.79	2.56	1.39
硬度/密度	204.33	34.16	26.87	19.74	11.67	19.43	20.04	11.29

得聲速與硬度/密度大小關係之對照為：

聲速：玻璃>高碳鋼>中碳鋼>鋁>鐵>杜拉鋁>銅>塑膠

硬度/密度：玻璃>高碳鋼>中碳鋼>鋁>鐵>杜拉鋁>銅>塑膠

發現兩者大小關係完全相符，由此可知：聲速愈大，硬度與密度之比值亦愈大。

(¹)壓電晶片測聲速的方法簡明而正確，可推廣至測任何介質中的聲速。

九、參考書籍

- (一)大學物理學(熱學、聲學) 陳錫桓編著 中央圖書出版社
- (二)最新物理手冊 盧喜瑞譯著 徐氏基金會
- (三)Physics Vade Mecum 楊固藩發行 興國出版社
- (四)大不列顛百科全書 廖瑞銘主編 丹青圖書有限公司
- (五)大學物理 梁肇基譯 復文書局
- (六)聲音的世界 K.F. Smith 原著 自然雜誌社
- (七)水下音響學 Leon W. Camp 著 維新書局
- (八)工程材料試驗 吳柳生編著 正中書局
- (九)ENCYCLOPEDIA OF PHYSICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY
Aademic Press Inc.
- (十)Fundamentals of Piezoelectricity Takuro Iked OXFORD University
PRESS

評語

將壓電晶體固定在固體的端部（或液柱的端部），利用兩連續抵達壓電晶體的聲波（其一為初波，另一為反射波）所產生的電壓、信號來推算聲速，並由此出發探討固體的密度、彈性與原子鍵結力的關係，以及液體聲速與溫度的關係。其思慮周詳，推理正確，數據亦完整可靠。