

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

051807

看見聲音賽跑—聲速測定

學校名稱：國立臺灣師範大學附屬高級中學

作者： 高二 文新壹 高二 林祐謙 高二 盧承濤	指導老師： 黃裕修
---	------------------

關鍵詞：聲速、溫度、壓電片

摘要

我們用壓電片、示波器，設計直接測量的方法測聲速，並成功測量。

實驗一：測量溫度對聲速的關係，並驗證經驗公式 $v=331.45+0.6T$ 。

實驗二：測量頻率對聲速的關係，發現頻率對聲速有影響。

實驗三：以固定頻率正弦波測量聲速，可以成功測量。並發現溫度與聲速成正相關，但各數據與理論值有等比例的差異。

壹、研究動機

老師在專題研究課介紹聲音駐波的單元時，曾經提到聲速的測量在高中的實驗都是用共鳴空氣柱的駐波關係去間接推論，因此我們想要自己動手設計直接測量聲速的方法，希望可以更直觀的找出聲音受溫度影響的關係式，進而了解公式的來源和適用的條件。

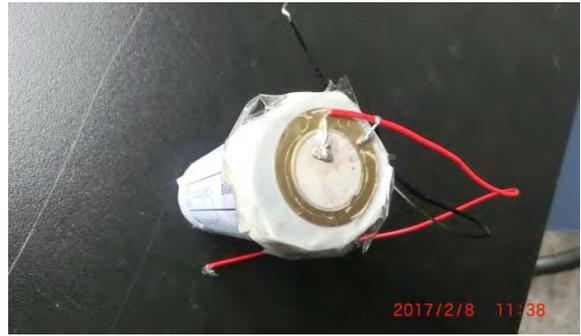
貳、研究目的

- 一、研究利用壓電材料測量聲速與溫度的變化關係。
- 二、與共鳴空氣柱的間接實驗做比較，找出符合理論公式的最佳方法。
- 三、觀察頻率對聲音速度的影響。
- 四、觀察溫度對聲音速度的影響，找出理論公式的適用範圍。

參、研究設備及器材



示波器 GDS-1072-U



壓電片及彈性膜



空心鋁圓管



變壓器



噴燈



鹵素燈 10 個



敲擊槌



電腦一台

	
<p>溫度計 TM-939</p>	<p>電腦軟體 Microsoft Excel 及 Audacity</p>
	
<p>矽膠加熱帶</p>	<p>擴大機 PA-50W</p>

肆、研究過程或方法

一、溫度變化對空氣聲速的影響

(一)實驗原理

1.測速原理：

- (1)若管長為 L ，兩端壓電片收到訊號時間差為 T ，則測得聲速為 L/T 。
- (2)示波器上產生的波形及壓電片收到的訊號，若是敲擊產生的訊號會大於雜訊，藉此可以判斷兩壓電片何時收到訊號。
- (3)示波器存檔到 USB 後，兩壓電片數據會分為兩資料(channel 1 及 channel 2)，並將波形數據轉換成 4000 的數據點並依序排列，及許多資料，其中 Sampling Period 即為單位時間，再讀取兩資料收訊時的點的距離，即可求得時間 T 。

2. 氣體速率：

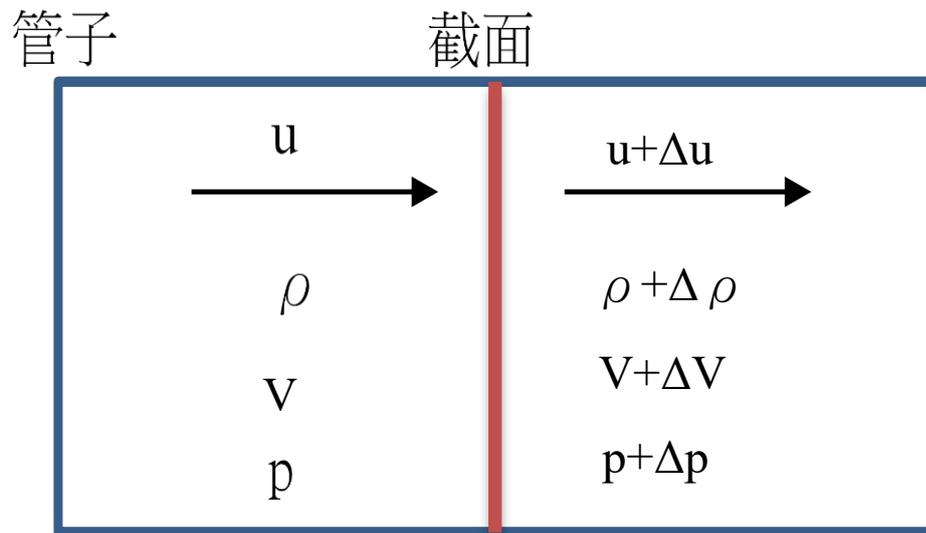
在經驗公式之外，有個理論公式，以下為過程。

假設在一管子中，有氣流平行管壁通過，設觀察點位截面 a (設面積為 A)，

設通過截面前的氣體速度為 u 、密度為 ρ 、體積為 V 、壓力為 p ；氣體通過後

產生微量變化，速度為 $u + \Delta u$ 、密度為 $\rho + \Delta \rho$ 、體積為 $V + \Delta V$ 、壓力為 $p + \Delta p$ 。

(如下圖一所示)



(圖一)

由牛頓第二運動定律得： $\Delta F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \rho v A (\Delta t) \frac{\Delta v}{\Delta t}$

可列出 $[(p + \Delta p) - p]A = \rho u A [(u + \Delta u) - u]$

可得 $\Delta p = \rho u (\Delta u)$

則 $\rho u^2 = -\frac{dp}{du/u}$ (1)

又由兩端流量相同可得 $\frac{V + \Delta V}{V} = \frac{A(u + \Delta u)\Delta t}{Au(\Delta t)} = \frac{u + \Delta u}{u}$

可知 $\frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta V}{V}$ (2)

由定義，K 為不可壓縮率， $K = -V \frac{dp}{dV}$ (p 為壓力、V 為體積)

則 $K = -V \frac{dp}{dV}$ 、(2) 代入(1) 可得 $u = \sqrt{K/\rho}$

由於聲音傳遞非常快，因此設其傳遞過程為絕熱，滿足 $pV^\gamma = \text{定值}$

故 $\frac{dp}{dV} = -\gamma \frac{p}{V}$ ， $K = \gamma p$ (γ 為等壓莫耳比熱與等容莫耳比熱的比值)

又由氣體方程式 $pV = nRT$ ， $p = \rho RT/M$ 可得 (R 為氣體常數、M 為分子量、T 為絕對溫度(k))

則 $u = \sqrt{K/\rho} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

對於空氣中的聲速，雙原子分子的 γ 約為 1.4，約有 1/5 的氧氣與 4/5 的氮氣，故等效分子量 M 約為 28.8。

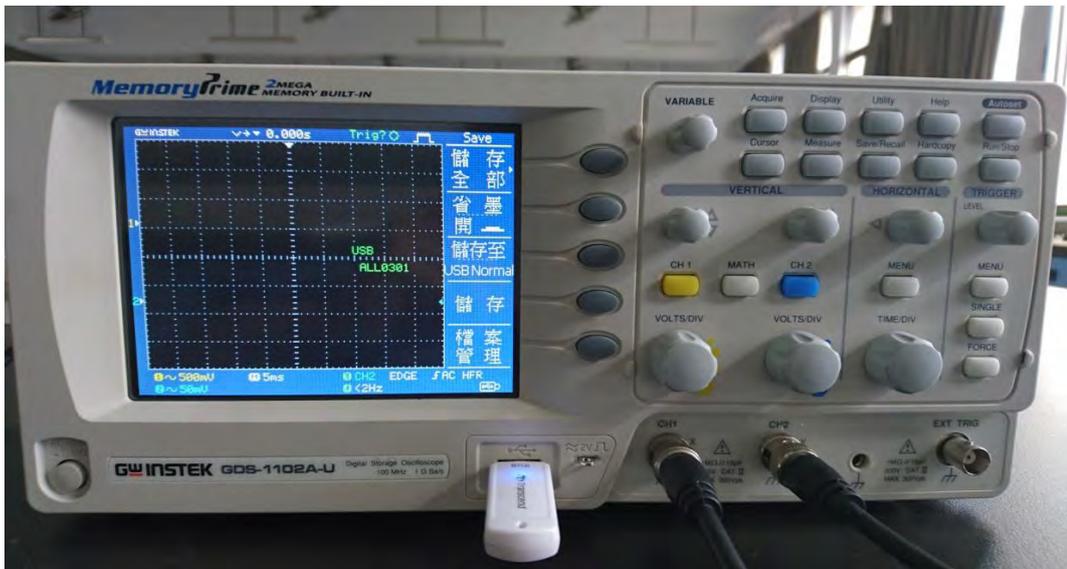
(三)實驗步驟

1.實驗一

- (1) 利用支架固定鋁管並將紙捲包覆於鋁管兩端。
- (2) 將彈性膜固定於鋁管兩端(紙捲上)。
- (3) 將壓電片貼上彈性膜。
- (4) 開啟示波器並連接壓電片。
- (5) 加熱鋁管。(如下圖所示)



- (6) 測量管內溫度。
- (7) 敲擊一端壓電片。
- (8) 用 USB 儲存檔案。(如下圖所示)



- (9) 重複步驟 7 和 8 五次。
- (10) 利用 Excel 分析數據。
- (11) 改變加熱時間提升管內溫度。
- (12) 重複步驟 9~11。
- (13) 利用 Excel 畫出速度對溫度的趨勢圖。

2. 實驗二

- (1) 利用支架固定鋁管並將紙捲包覆於鋁管兩端。
- (2) 將彈性膜固定於鋁管兩端(紙捲上)。
- (3) 鋁管一端接壓電片一端接壓電喇叭。
- (4) 開啟示波器並連接壓電片。
- (5) 壓電喇叭連接示波器與擴大機，擴大機連接電腦。
- (6) 設定示波器 trigger 及 acquire 功能。
- (7) 利用電腦軟體 audacity 製作正弦波。
- (8) 測量管內溫度。
- (9) 利用 audacity 輸出正弦波。
- (10) 用 USB 儲存檔案。
- (11) 重複步驟 9 和 10 五次。
- (12) 利用 Excel 分析數據。
- (13) 改變正弦波之頻率、測量管內溫度。

- (14) 重複步驟 11~13。
- (15) 利用 Excel 畫出速度對頻率的趨勢圖。

3. 實驗三

- (1) 鋁管纏上加熱帶並包覆鋁箔紙。(如下圖所示)



- (2) 利用支架固定鋁管並將紙捲包覆於鋁管兩端。
- (3) 將彈性膜固定於鋁管兩端(紙捲上)。
- (4) 鋁管一端接壓電片一端接壓電喇叭。
- (5) 壓電片連接示波器。
- (6) 壓電喇叭連接示波器與擴大機，擴大機連接電腦。
- (7) 設定示波器 trigger 及 acquire 功能。
- (8) 利用電腦軟體 audacity 製作正弦波。
- (9) 測量管內溫度。
- (10) 利用 audacity 輸出正弦波。
- (11) 用 USB 儲存檔案。
- (12) 重複步驟 10 和 11 五次。
- (13) 利用 Excel 分析數據。
- (14) 改變輸入電壓，提升管內溫度。
- (15) 重複步驟 9~14。
- (16) 利用 Excel 畫出速度對溫度的趨勢圖。

伍、研究結果

一、實驗一：壓電片直接測量聲速與溫度變化關係

表 1.

溫度 20°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3088	1645	1443	4.0×10^{-6}	5.7720×10^{-3}
2	3065	1628	1437	4.0×10^{-6}	5.7480×10^{-3}
3	1808	355	1453	4.0×10^{-6}	5.8120×10^{-3}
4	2668	1220	1448	4.0×10^{-6}	5.7920×10^{-3}
5	2367	913	1454	4.0×10^{-6}	5.8160×10^{-3}
時間平均值(s)			5.7880×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			345.54		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			343.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			344.13		
時間標準差			2.84253×10^{-5}		

1. 由表一可知，由此實驗得出之數據誤差不會超過 100 個數據點(4.0×10^{-4} 秒)，甚至只有 20 個數據點的誤差(2.0×10^{-5} 秒)而已。
2. 所得數據與經驗公式誤差為 0.6%。
3. 所得數據與理論公式誤差為 0.4%。
4. 時間的標準差也非常小，故精準度也高，我們以同樣方法繼續做實驗。

表 2.

溫度 20°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3122	2250	872	1.0×10^{-5}	8.720×10^{-3}
2	2777	1909	868	1.0×10^{-5}	8.680×10^{-3}
3	2773	1897	876	1.0×10^{-5}	8.760×10^{-3}
4	2819	1941	878	1.0×10^{-5}	8.780×10^{-3}
5	2822	1944	878	1.0×10^{-5}	8.780×10^{-3}
時間平均值(s)			8.744×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			343.09		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			343.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			344.13		
時間標準差			4.3359×10^{-5}		

1. 由表二可知，將兩公尺鋁管改為三公公尺鋁管有相似結果，意即所得數據即是聲波。
2. 數據顯示我們的實驗方法有其精準度，改變管長也能取得近似理論的數據。
3. 此數據證明實驗方法的可行性。
4. 三公公尺的鋁管會因為距離較遠，在振幅衰減的情形下，雜訊強度比例相對升高，且在後續的加熱實驗中，受熱較不容易均勻，故採取兩公尺管長進行實驗。

表 3.

溫度 26°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2512	2227	285	2.0×10^{-5}	5.700×10^{-3}
2	2376	2086	290	2.0×10^{-5}	5.800×10^{-3}
3	2404	2121	283	2.0×10^{-5}	5.660×10^{-3}
4	2393	2100	293	2.0×10^{-5}	5.860×10^{-3}
5	2369	2079	290	2.0×10^{-5}	5.800×10^{-3}
時間平均值(s)			5.764×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			346.98		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			347.05		
速率理論值(理論公式)(m/s)			347.63		
時間標準差			8.17313×10^{-5}		

表 4.

溫度 30°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2379	937	1442	4.0×10^{-6}	5.7680×10^{-3}
2	2077	640	1437	4.0×10^{-6}	5.7480×10^{-3}
3	2722	1290	1432	4.0×10^{-6}	5.7280×10^{-3}
4	3557	2137	1420	4.0×10^{-6}	5.6800×10^{-3}
5	3060	1636	1424	4.0×10^{-6}	5.6960×10^{-3}
時間平均值(s)			5.7240×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			349.40		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			349.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			349.95		
時間標準差			3.62215×10^{-5}		

表 5.

溫度 40°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2311	907	1404	4.0×10^{-6}	5.6160×10^{-3}
2	2636	1223	1413	4.0×10^{-6}	5.6520×10^{-3}
3	2593	1181	1412	4.0×10^{-6}	5.6840×10^{-3}
4	2611	1202	1409	4.0×10^{-6}	5.6360×10^{-3}
5	2702	1291	1411	4.0×10^{-6}	5.6440×10^{-3}
時間平均值(s)			5.6390×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			354.66		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			355.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			355.68		
時間標準差			1.42548×10^{-5}		

表 6.

溫度 43°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2494	1077	1417	4.0×10^{-6}	5.6680×10^{-3}
2	2457	1061	1396	4.0×10^{-6}	5.5840×10^{-3}
3	2550	1148	1402	4.0×10^{-6}	5.6080×10^{-3}
4	2354	966	1388	4.0×10^{-6}	5.5520×10^{-3}
5	2396	1003	1393	4.0×10^{-6}	5.5720×10^{-3}
時間平均值(s)			5.9700×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			357.34		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			357.25		
速率理論值(理論公式)(m/s)			357.38		
時間標準差			4.46677×10^{-5}		

表 7.

溫度 53°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2471	1087	1384	4.0×10^{-6}	5.5360×10^{-3}
2	2413	1042	1371	4.0×10^{-6}	5.4840×10^{-3}
3	2253	865	1388	4.0×10^{-6}	5.5520×10^{-3}
4	2600	1227	1373	4.0×10^{-6}	5.4920×10^{-3}
5	2496	1110	1386	4.0×10^{-6}	5.5440×10^{-3}
時間平均值(s)			5.5220×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			362.21		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			363.25		
速率理論值(理論公式)(m/s)			362.99		
時間標準差			3.13177×10^{-5}		

表 8.

溫度 60°C，鋁管長度 2 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2719	1357	1362	4.0×10^{-6}	5.4480×10^{-3}
2	2943	1576	1367	4.0×10^{-6}	5.4680×10^{-3}
3	2665	1310	1355	4.0×10^{-6}	5.4200×10^{-3}
4	2075	702	1373	4.0×10^{-6}	5.4920×10^{-3}
5	2614	1252	1362	4.0×10^{-6}	5.4480×10^{-3}
時間平均值(s)			5.4550×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			366.62		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			366.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			366.87		
時間標準差			2.67432×10^{-5}		

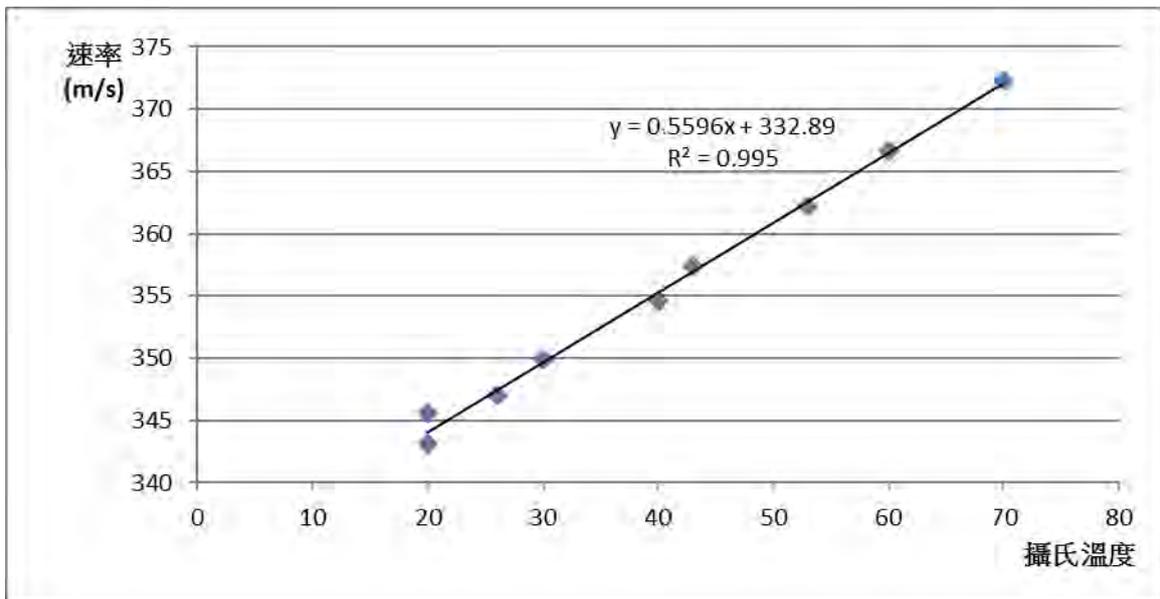
表 9.

溫度 70°C，鋁管長度 2 公尺

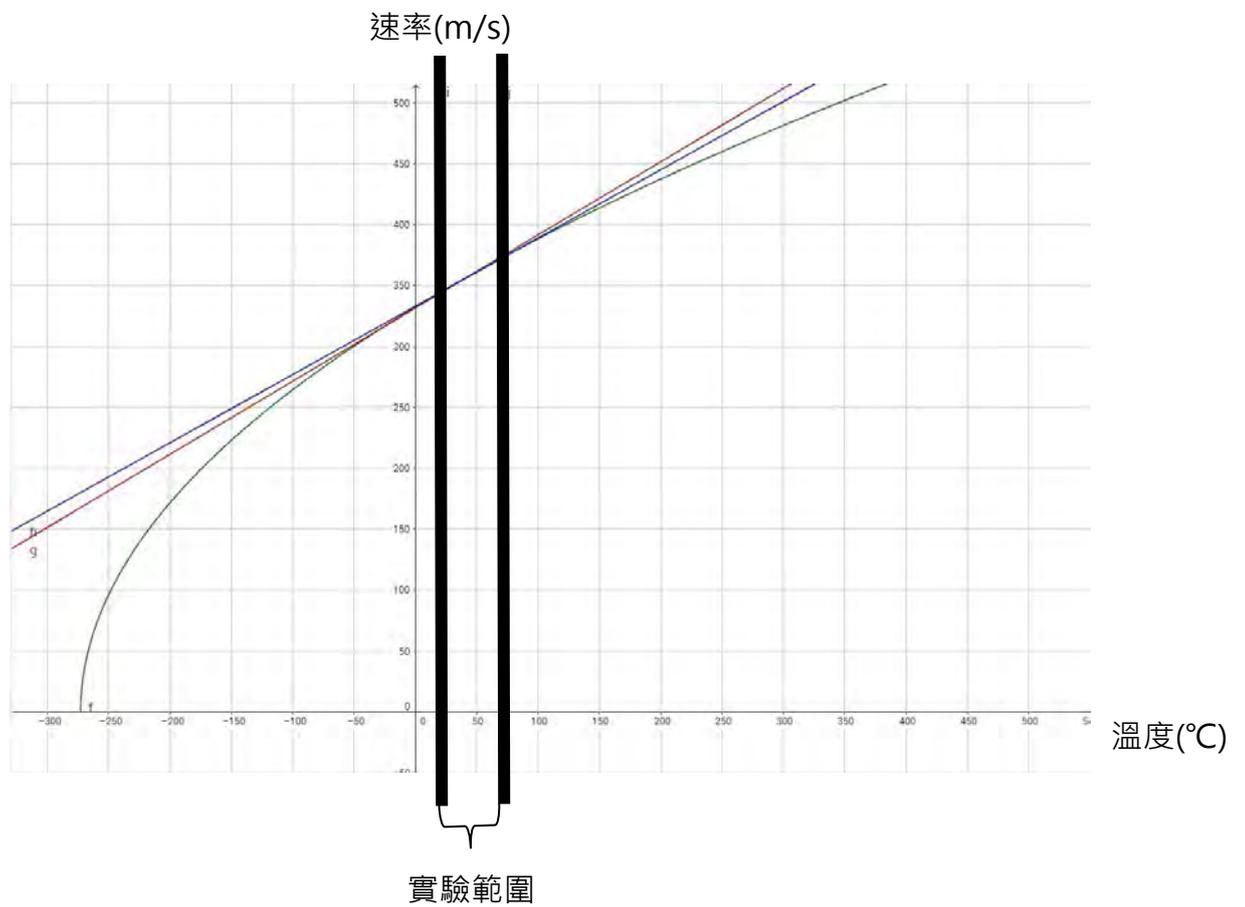
編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2264	919	1345	4.0×10^{-6}	5.3800×10^{-3}
2	2000	654	1346	4.0×10^{-6}	5.3840×10^{-3}
3	3017	1682	1335	4.0×10^{-6}	5.3400×10^{-3}
4	2655	1314	1341	4.0×10^{-6}	5.3640×10^{-3}
5	1486	137	1349	4.0×10^{-6}	5.3960×10^{-3}
時間平均值(s)			5.3728×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			372.24		
速率理論值(經驗公式)(m/s)			372.45		
速率理論值(理論公式)(m/s)			372.33		
時間標準差			2.16148×10^{-5}		

圖二、

趨勢圖



1. 比對聲速經驗公式 $v=331.45+0.6t$ ，實驗數據之聲速為 $v=332.89+0.5596t$ ，兩者非常接近。此實驗同時驗證聲速經驗公式。



(圖三：綠線為理論公式作圖；紅線為經驗公式作圖；藍線為實驗數據作圖。)

2. 若用數學繪圖軟體(GeoGebra)，作出經驗公式與理論公式的圖形，再依趨勢圖畫上實驗之數據，可知我們實驗的溫度區間的數據有其準確度。

二、實驗二：壓電片測量頻率與聲速關係

表 10.

溫度 25°C，鋁管長度 3 公尺，頻率 1000HZ

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3040	845	2195	4.0×10^{-6}	8.7800×10^{-3}
2	3042	845	2197	4.0×10^{-6}	8.7880×10^{-3}
3	3040	847	2193	4.0×10^{-6}	8.7720×10^{-3}
4	3044	845	2199	4.0×10^{-6}	8.7960×10^{-3}
5	3038	845	2193	4.0×10^{-6}	8.7720×10^{-3}
時間平均值(s)			8.7816×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			341.62		
時間標準差			1.04307×10^{-5}		

表 11.

溫度 25°C，鋁管長度 3 公尺，頻率 2000HZ

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3008	827	2181	4.0×10^{-6}	8.7240×10^{-3}
2	3014	827	2187	4.0×10^{-6}	8.7480×10^{-3}
3	3013	827	2186	4.0×10^{-6}	8.7440×10^{-3}
4	3021	827	2194	4.0×10^{-6}	8.7760×10^{-3}
5	3016	827	2189	4.0×10^{-6}	8.7560×10^{-3}
時間平均值(s)			8.7496×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			342.87		
時間標準差			1.88892×10^{-5}		

表 12.

溫度 25°C，鋁管長度 3 公尺，頻率 3000HZ

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3058	879	2179	4.0×10^{-6}	8.7160×10^{-3}
2	3066	879	2187	4.0×10^{-6}	8.7480×10^{-3}
3	3066	878	2188	4.0×10^{-6}	8.7520×10^{-3}
4	3004	818	2186	4.0×10^{-6}	8.7440×10^{-3}
5	3009	818	2191	4.0×10^{-6}	8.7640×10^{-3}
時間平均值(s)			8.7448×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			343.06		
時間標準差			1.77539×10^{-5}		

表 13.

溫度 25°C，鋁管長度 3 公尺，頻率 4000HZ

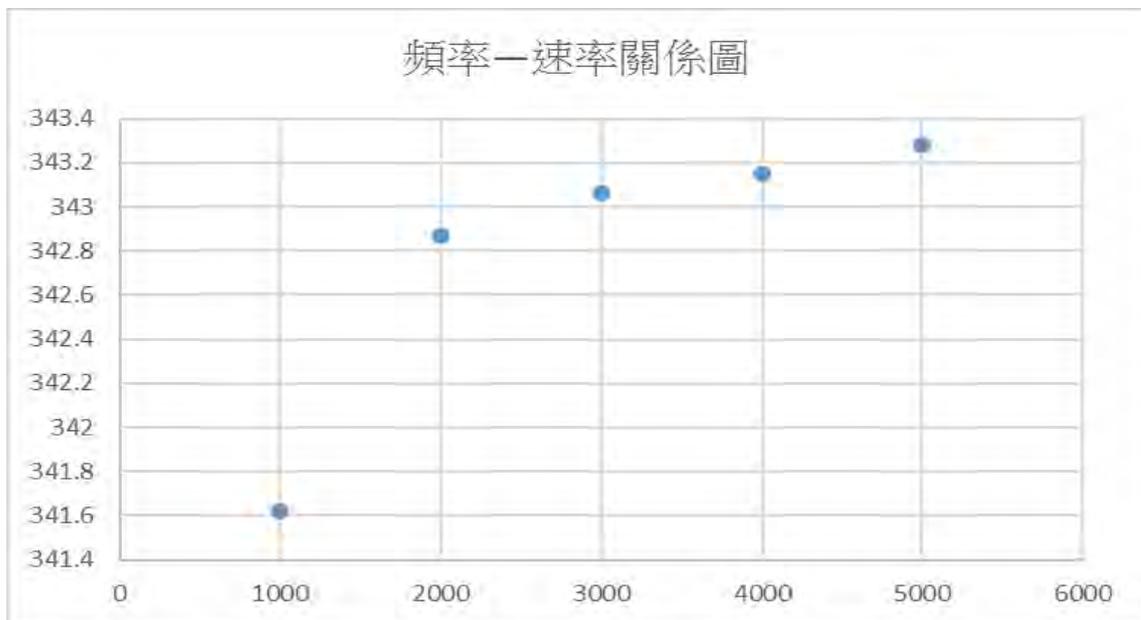
編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3031	839	2192	4.0×10^{-6}	8.7680×10^{-3}
2	3023	838	2185	4.0×10^{-6}	8.7400×10^{-3}
3	3023	839	2184	4.0×10^{-6}	8.7360×10^{-3}
4	3022	839	2183	4.0×10^{-6}	8.7320×10^{-3}
5	3023	839	2184	4.0×10^{-6}	8.7360×10^{-3}
時間平均值(s)			8.7424×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			343.15		
時間標準差			1.45877×10^{-5}		

表 14.

溫度 25°C，鋁管長度 3 公尺，頻率 5000HZ

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3003	821	2182	4.0×10^{-6}	8.7280×10^{-3}
2	3006	821	2185	4.0×10^{-6}	8.7400×10^{-3}
3	3007	820	2187	4.0×10^{-6}	8.7480×10^{-3}
4	3008	821	2187	4.0×10^{-6}	8.7780×10^{-3}
5	3004	821	2183	4.0×10^{-6}	8.7320×10^{-3}
時間平均值(s)			8.7392×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			343.28		
時間標準差			9.1214×10^{-6}		

圖三、



1. 頻率與聲速呈正相關，但頻率對聲速可能不是線性關係。

三、實驗三：輸入 3000Hz 的正弦波，以壓電片測量溫度與聲速關係

表 15.

溫度 32°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	3013	839	2174	4.0×10^{-6}	8.6960×10^{-3}
2	3013	839	2174	4.0×10^{-6}	8.6960×10^{-3}
3	3009	840	2169	4.0×10^{-6}	8.6760×10^{-3}
4	3015	840	2175	4.0×10^{-6}	8.7000×10^{-3}
5	3007	840	2167	4.0×10^{-6}	8.6680×10^{-3}
時間平均值(s)			8.6870×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			345.34		
時間標準差			1.2750×10^{-5}		

表 16.

溫度 35°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2985	850	2135	4.0×10^{-6}	8.5400×10^{-3}
2	2987	850	2137	4.0×10^{-6}	8.5480×10^{-3}
3	2983	850	2133	4.0×10^{-6}	8.5320×10^{-3}
4	2978	850	2128	4.0×10^{-6}	8.5120×10^{-3}
5	2983	850	2133	4.0×10^{-6}	8.5320×10^{-3}
時間平均值(s)			8.5330×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			351.58		
時間標準差			1.1973×10^{-5}		

表 17.

溫度 40°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2977	850	2127	4.0×10^{-6}	8.5080×10^{-3}
2	2978	850	2128	4.0×10^{-6}	8.5120×10^{-3}
3	2983	850	2133	4.0×10^{-6}	8.5320×10^{-3}
4	2986	850	2136	4.0×10^{-6}	8.5440×10^{-3}
5	2987	850	2137	4.0×10^{-6}	8.5480×10^{-3}
時間平均值(s)			8.5290×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			351.75		
時間標準差			1.6278×10^{-5}		

表 18.

溫度 48°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2955	850	2105	4.0×10^{-6}	8.4200×10^{-3}
2	2954	850	2104	4.0×10^{-6}	8.4160×10^{-3}
3	2952	850	2102	4.0×10^{-6}	8.4080×10^{-3}
4	2953	850	2103	4.0×10^{-6}	8.4120×10^{-3}
5	2955	850	2105	4.0×10^{-6}	8.4200×10^{-3}
時間平均值(s)			8.4150×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			356.50		
時間標準差			4.6648×10^{-6}		

表 19.

溫度 51.5°C，鋁管長度 3 公尺

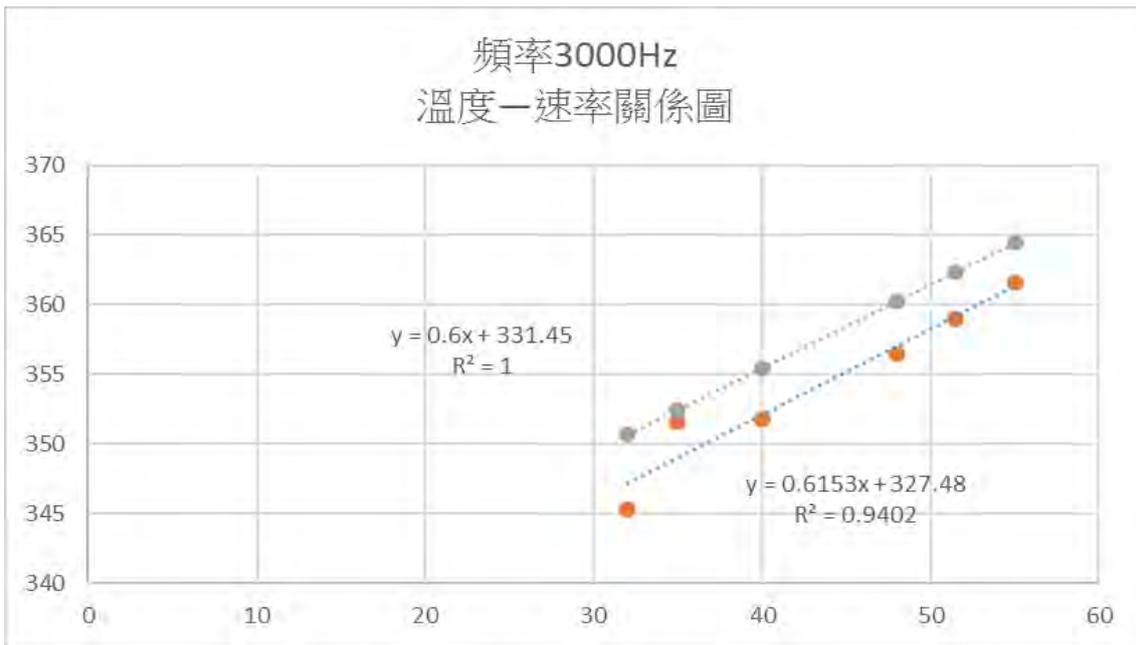
編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2938	850	2088	4.0×10^{-6}	8.3520×10^{-3}
2	2938	850	2088	4.0×10^{-6}	8.3520×10^{-3}
3	2938	850	2088	4.0×10^{-6}	8.3520×10^{-3}
4	2941	850	2091	4.0×10^{-6}	8.3640×10^{-3}
5	2940	850	2090	4.0×10^{-6}	8.3600×10^{-3}
時間平均值(s)			8.3560×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			359.02		
時間標準差			5.0596×10^{-6}		

表 20.

溫度 55°C，鋁管長度 3 公尺

編號	CH1	CH2	數據點距離	單位時間(s)	總時間(s)
1	2928	850	2078	4.0×10^{-6}	8.3120×10^{-3}
2	2924	850	2074	4.0×10^{-6}	8.2960×10^{-3}
3	2923	850	2073	4.0×10^{-6}	8.2920×10^{-3}
4	2923	850	2073	4.0×10^{-6}	8.2920×10^{-3}
5	2923	850	2073	4.0×10^{-6}	8.2920×10^{-3}
時間平均值(s)			8.2970×10^{-3}		
速率實驗值(m/s)			361.59		
時間標準差			7.7563×10^{-6}		

圖四、



1. 灰色部分趨勢線(上方)為經驗公式作圖，彩色部分趨勢線(下方)為實驗所得作圖。
2. 實驗值與理論值有差異，但其斜率相近，推測其可能為頻率影響。

陸、討論

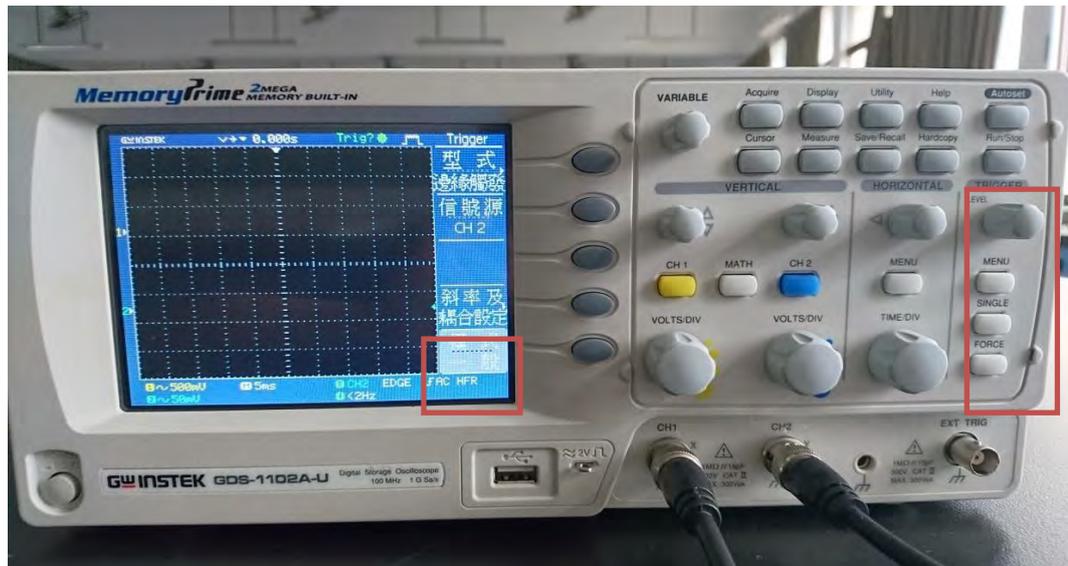
一、實驗一：

(一) 優點：

1. 以壓電材料與示波器測聲速，可以收到聲波訊號；並且聲波相對雜訊明顯較大，可以清楚分辨收到的訊號是聲波而不是雜訊。
2. 數據不論是比對經驗公式或理論公式算出來的值，皆相當接近，顯示其準確度。

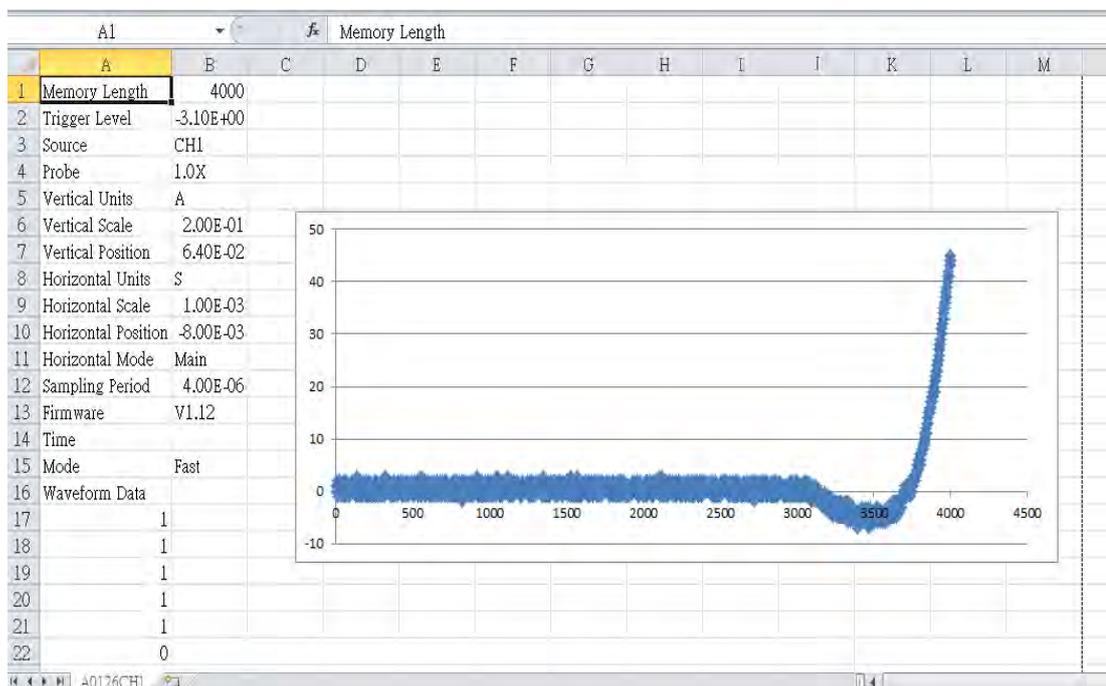
(二) 量測技巧：

1. 示波器有 trigger 功能，意即收到指定強度的訊號才顯示波形，如此可以避免雜訊干擾收訊，並可以看出是否在敲擊後才出現訊號而驗證是否為聲波訊號。

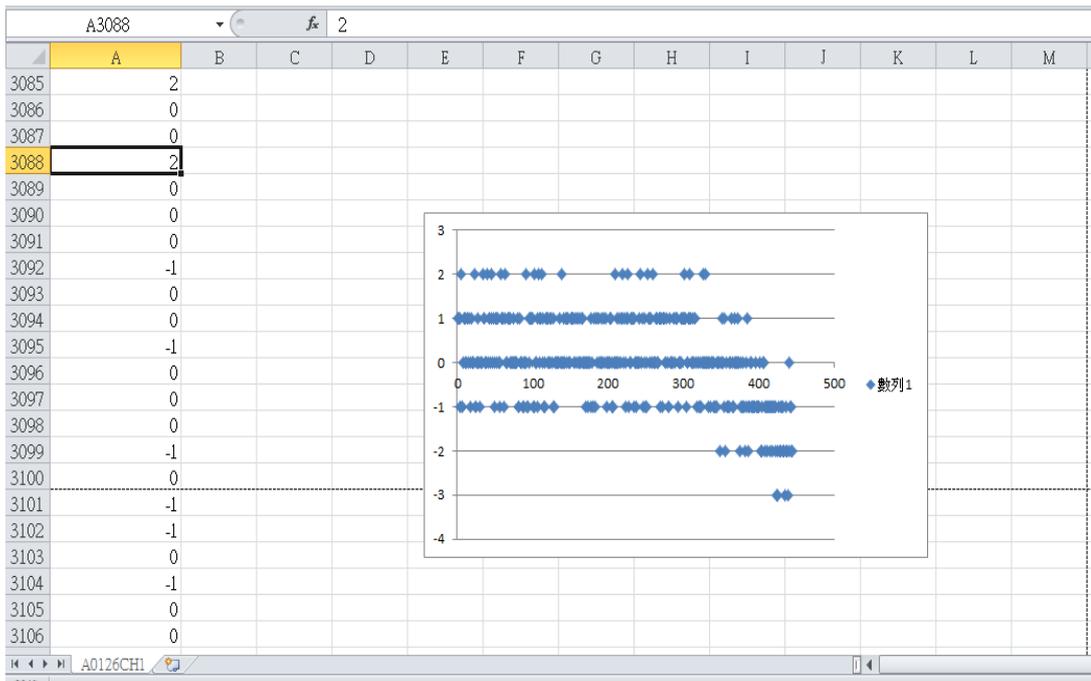


圖六、紅色框處為示波器 trigger 設定

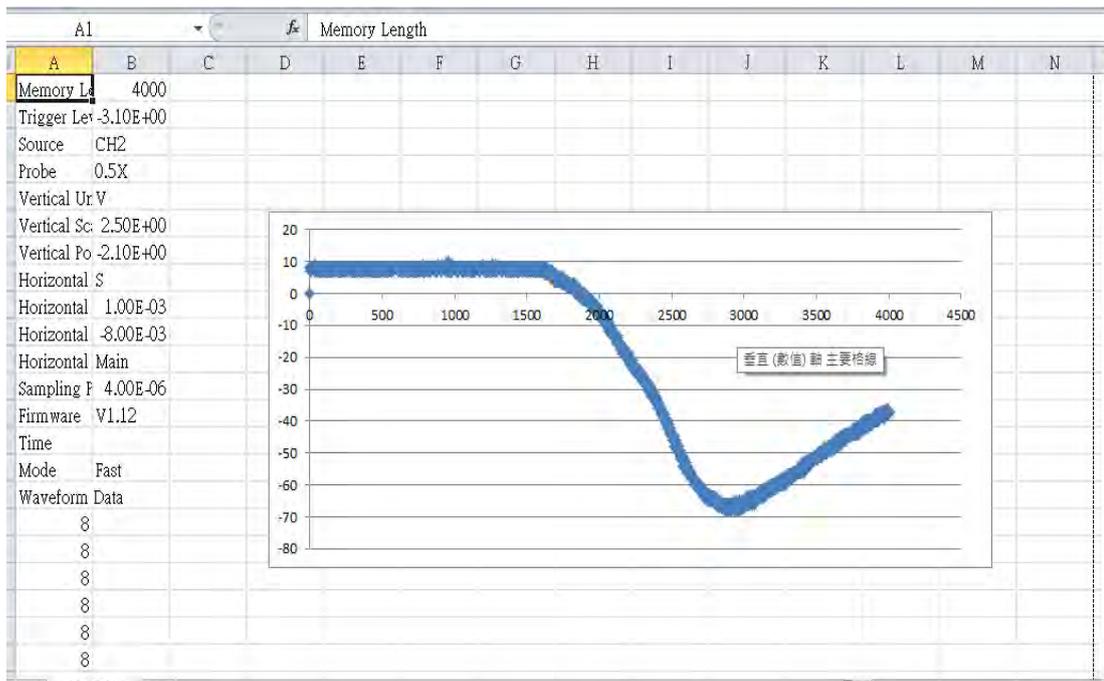
- 數據用 excel 的繪圖功能會成散佈圖後，受敲擊的壓電片一端顯示的波會有明顯訊號（波形陡升或陡降），另一端也會發現明顯波形起伏。各取明顯變化前的前一點，即是收到訊號處。



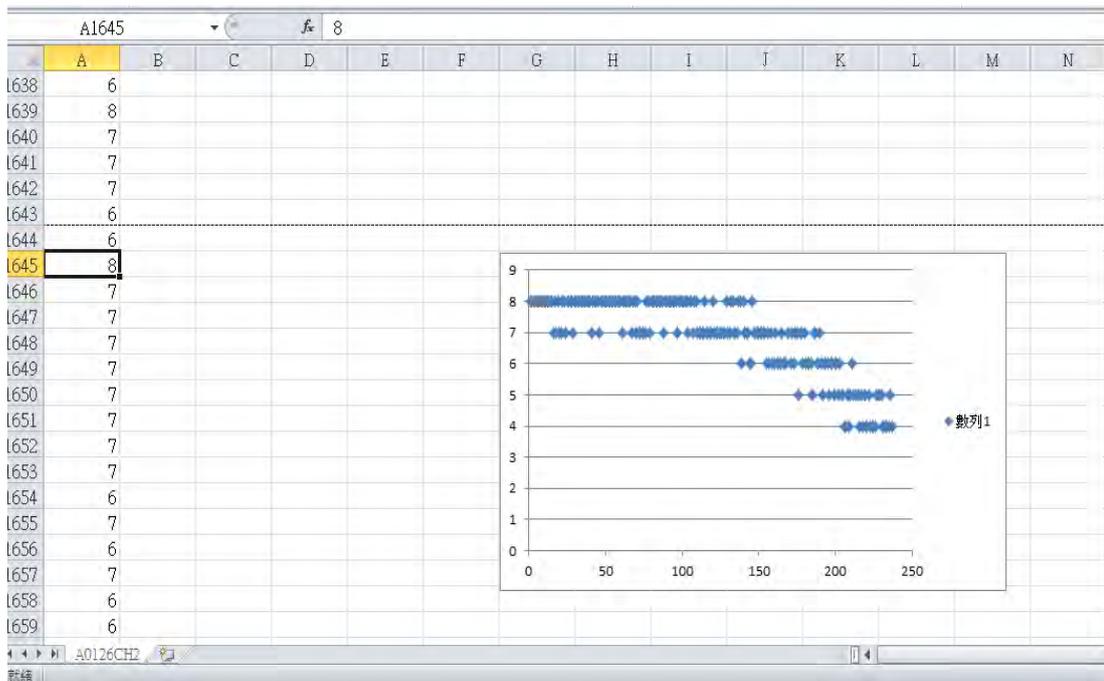
圖七.CH1



圖八、由圖七部分放大可得，放大後可看出波形恰改變處



圖九.CH2



圖十、由圖九部分放大可得，放大後可看出波形恰改變處

(三) 誤差來源與區間：

1. 雖然收到聲波後的訊號明顯，但是波形恰改變處依然小，而其可能與雜訊疊加，導致選取數據與真實數據相距數十個點。

(四) 頻率對聲速影響之討論：

1. 頻率與聲速呈正相關，但非線性關係，而類似於某種二次函數關係。

柒、結論

- 一、利用壓電片與示波器測量聲速，材料取得便宜且容易，裝置架設簡單，並且可以精準判讀。
- 二、我們可以確定聲速與溫度呈正相關，溫度越大，聲速也越大。
- 三、頻率越高，聲速有上升的趨勢。

捌、參考資料及其他

- 1.劉鎮宇(民 99)。壓電片結合薄片之傳聲研究與應用(臺北市 99 年度中等學校學生科學研究獎助)。取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/03/2010033109310013.pdf>
- 2.大學物理 Halliday Resnick
- 3.t1016d(民 101 年 5 月 23 日)。為什麼空氣中的溫度越高、聲速越快呢？(波動與聲音)【線上論壇】。
取自 <http://www.funlearn.tw/viewthread.php?tid=14187>
- 4.a16151910a(民 101 年 6 月 12 日)。聲速公式 (其他範圍)【線上論壇】。
取自 <http://www.funlearn.tw/viewthread.php?tid=14824>
- 5.smdspz(民 105 年 12 月 1 日)。頻度與聲速之間的關係【線上論壇】。
<https://zhidao.baidu.com/question/480929627.html?oldq=1>
- 6.郭思瑀、盧彥均、彭曉祺、劉幸芸(民 93 年)。聲音有多快!固體、液體中聲速的探討(中華民國第四十四屆中小學科學展覽會)。
取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040116.pdf>
- 7.羅素真(民 72 年)。濕度對聲速影響的研究 (中華民國第二十三屆中小學科學展覽會)。
取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/23/pdf/23m/257.pdf>
- 8.高中南一版選修物理上冊章節 1-6 氣體動力論。

【評語】 051807

本件作品經由壓電片應用測量聲速，並討論溫度、頻率對聲速的影響。

1. 實驗結果的呈現不夠一致。例如：p5 照片顯示加熱方式使用噴燈，說明時卻以矽膠加熱帶為主；P9 表示受熱會不均勻，因此改成管長 2 公尺進行實驗，但 p15 及 p18 的實驗卻改成管長 3 公尺。
2. 實驗及數據取得尚稱完整，但創新概念不足。
3. 學理配合可以再加強，聲速不是經驗公式，可以理論推導。

作品海報

摘要

我們用壓電片、示波器，設計直接測量空氣中聲速的方法，並成功測量不同溫度、頻率下的聲速。
實驗一：讀取脈衝訊號，測量溫度對聲速的關係，並驗證經驗公式 $V=331.45+0.6t(^{\circ}\text{C})$ 。
實驗二：發送固定頻率**正弦波**，測量**溫度對聲速**關係，發現溫度與聲速成正相關，但各數據與理論值有等比例的差異。
實驗三：發送不同頻率**正弦波**，測量**頻率對聲速**關係，發現頻率越高聲速越快。

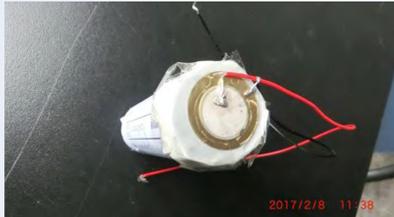
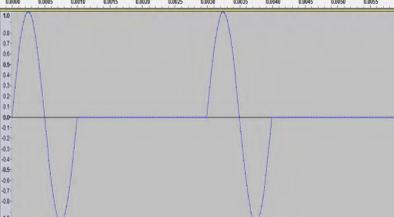
壹、實驗動機

老師在物理實驗課介紹聲音駐波的單元時，曾經提到聲速的測量在高中的實驗都是用共鳴空氣柱的駐波關係去間接推論，因此我們想要自己動手設計直接測量聲速的方法，希望可以更直觀的找出聲音受溫度與頻率影響的關係式，進而了解公式的來源和適用的條件。

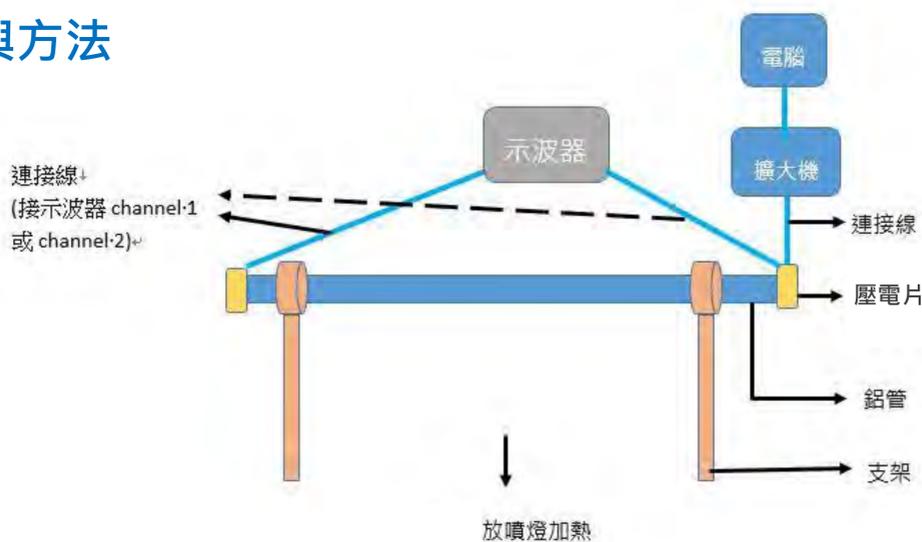
貳、研究目的

- 一、研究利用壓電材料測量聲速與溫度的變化關係。
- 二、與共鳴空氣柱的間接實驗做比較，找出符合理論公式的最佳方法。
- 三、觀察頻率對聲音速度的影響。

參、研究設備及器材

			
示波器GDS-1072-U	壓電片	空心鋁圓管	彈性膜
			
噴燈	鹵素燈10個	擴大機 PA-50W	電腦軟體Audacity
			
矽膠加熱帶	鋁箔紙	水銀溫度計	溫溼度計 TM-184

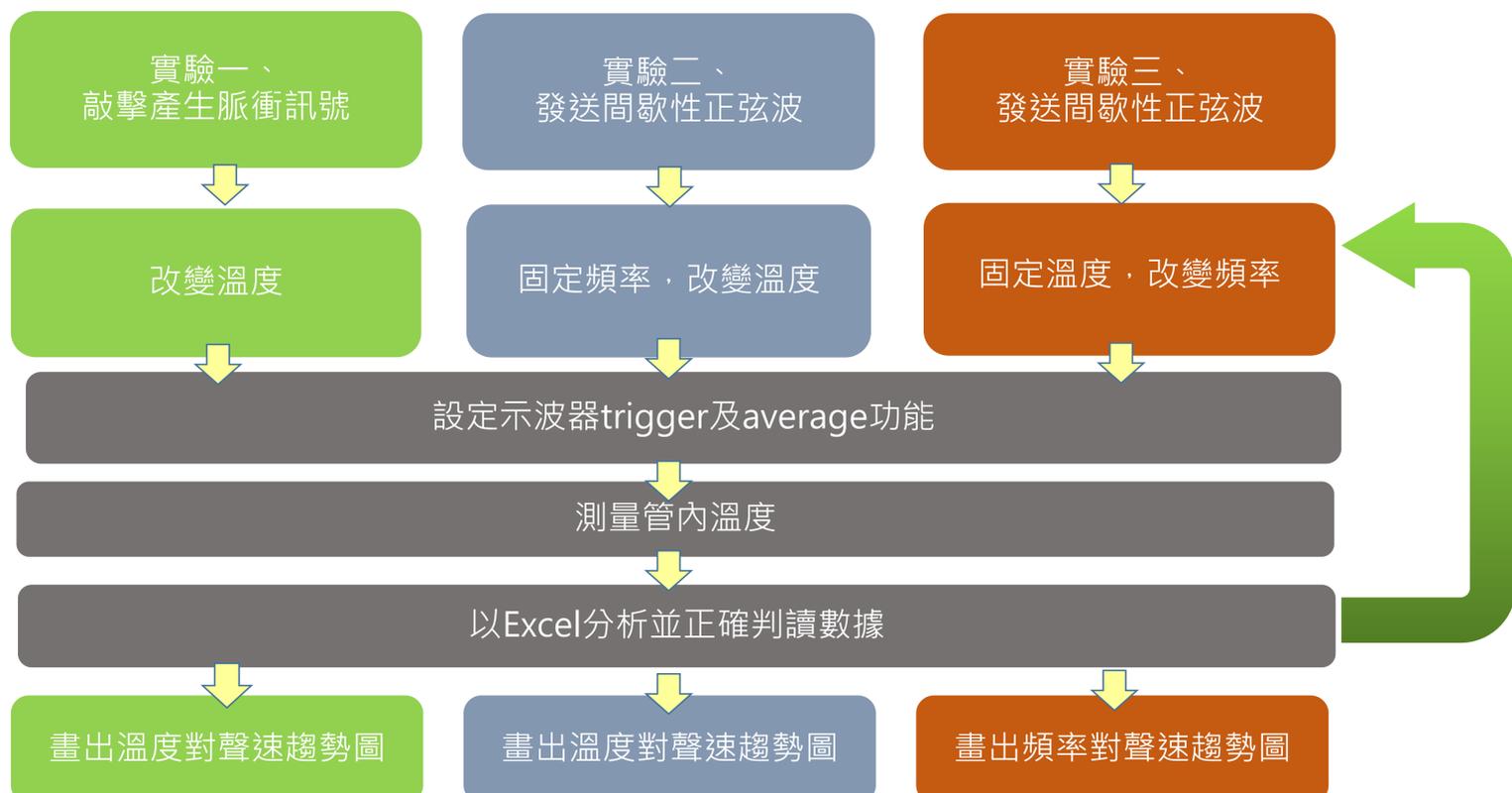
肆、研究過程與方法



(一)實驗原理

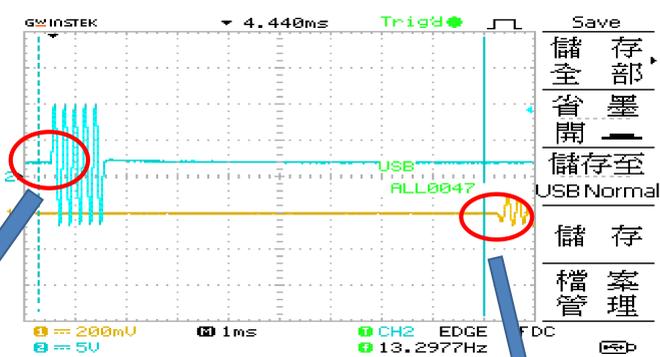
1. 管長為 L ，兩端壓電片訊號時間差為 T ，則測得聲速為 L/T 。
2. 壓電片收到的訊號顯示在示波器上，轉成電子檔分析。

(二)實驗步驟

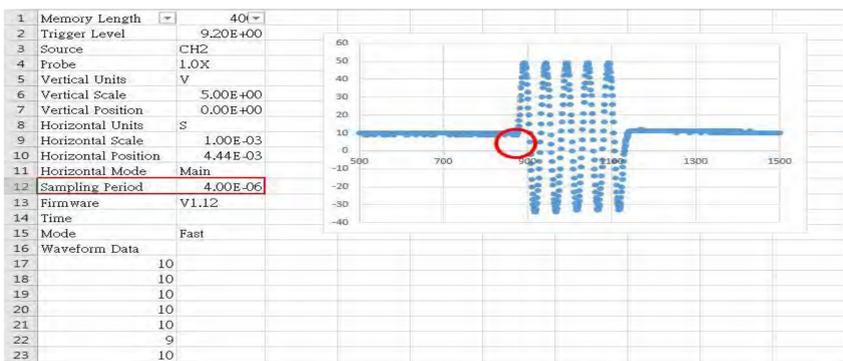


(三)數據分析方法：

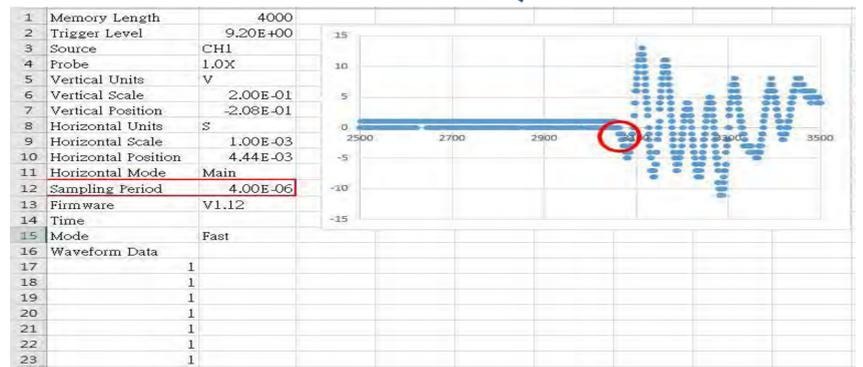
1. 由示波器儲存訊號並轉成Excel檔(如圖二~圖四)。
2. 記錄單位數據的時間差Sampling Period(如圖三、四方框內)。
3. 放大波形，選取恰變化處(如圖五、圖六)。
4. 數據點相減，再乘以單位數據時間差即為經過時間T(如圖五、圖六求得時間T為0.00872秒)。



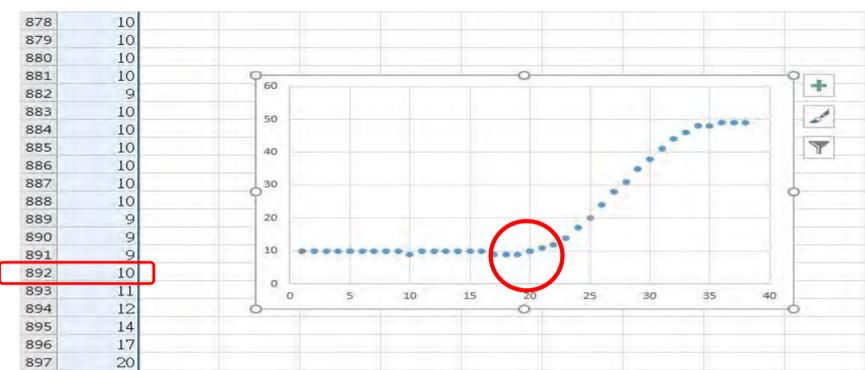
圖二、示波器上波形圖



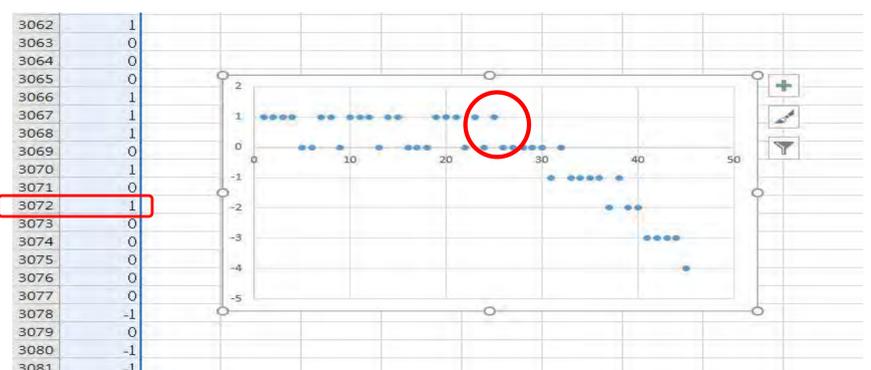
圖三、頻道二轉成Excel檔
(圖二藍線)



圖四、頻道一轉成Excel檔
(圖二黃線)



圖五、頻道二波形放大圖

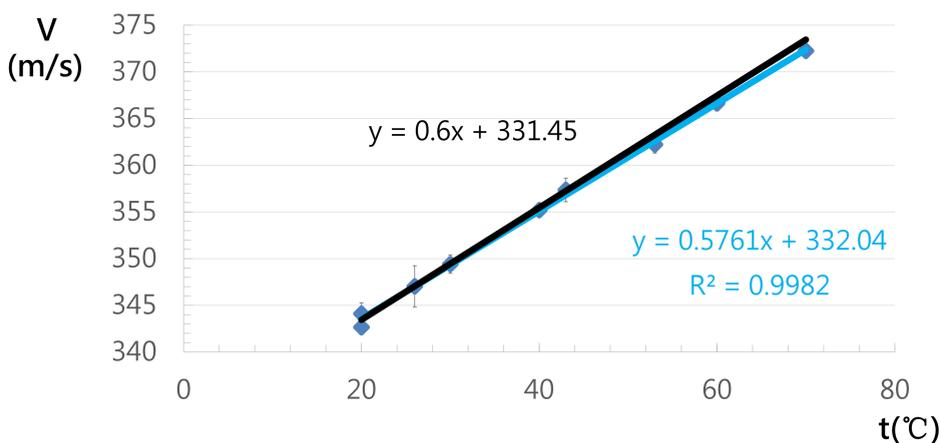


圖六、頻道一波形放大圖

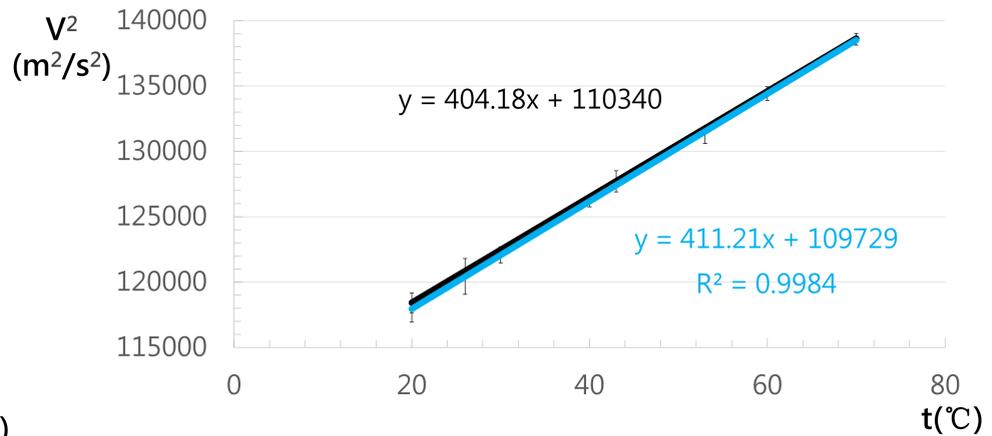
伍、研究結果

(一)溫度對聲速的影響

實驗一：以敲擊方式產生訊號，改變溫度實驗



圖七、管長2m 聲速-溫度關係圖
黑線為經驗公式作圖
藍線為實驗數據作圖

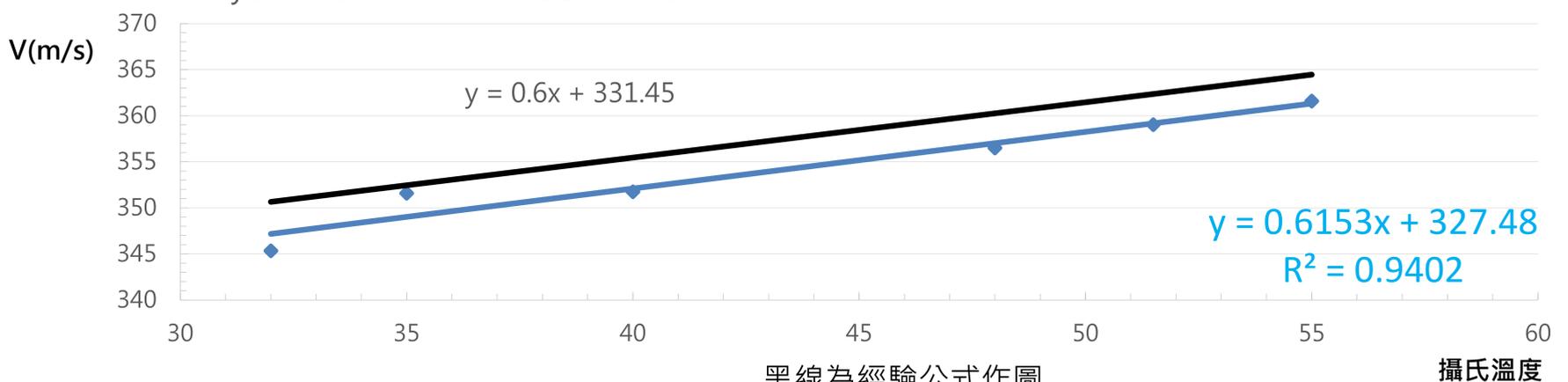


圖八、管長2m 聲速平方-溫度關係圖
黑線為理論公式作圖
藍線為實驗數據作圖

1. 藉由熱力學第一定律與牛頓第二運動定律可求聲速理論公式： $V = \sqrt{\frac{\gamma R(273+t)}{M}}$
理論公式說明： γ 為定壓比熱與定容比熱比值，空氣常溫下約為1.4
 R 為氣體常數，約為8.314 (kg · m²/mol · k · s²)
 M 為分子量，空氣等效分子量約28.8(g/mol)
 t 為攝氏溫度(°C)
2. 在室溫下理論公式可由一階泰勒展開得經驗公式： $V = 331 + 0.6t$

3. 圖七中實驗數據在40°C以下符合經驗公式，但在40°C到70°C的數據有偏差。顯示溫度超過經驗公式的近似範圍。
4. 圖八為將速率取平方後對攝氏溫度作圖，趨勢符合理論公式平方後 $V^2 = \frac{\gamma R(273+t)}{M}$ 的線性關係。
5. 實際比對理論值，速率的百分誤差皆在0.4%之內，顯示實驗方法的可行性。

實驗二：以Audacity發送訊號，固定頻率改變溫度實驗

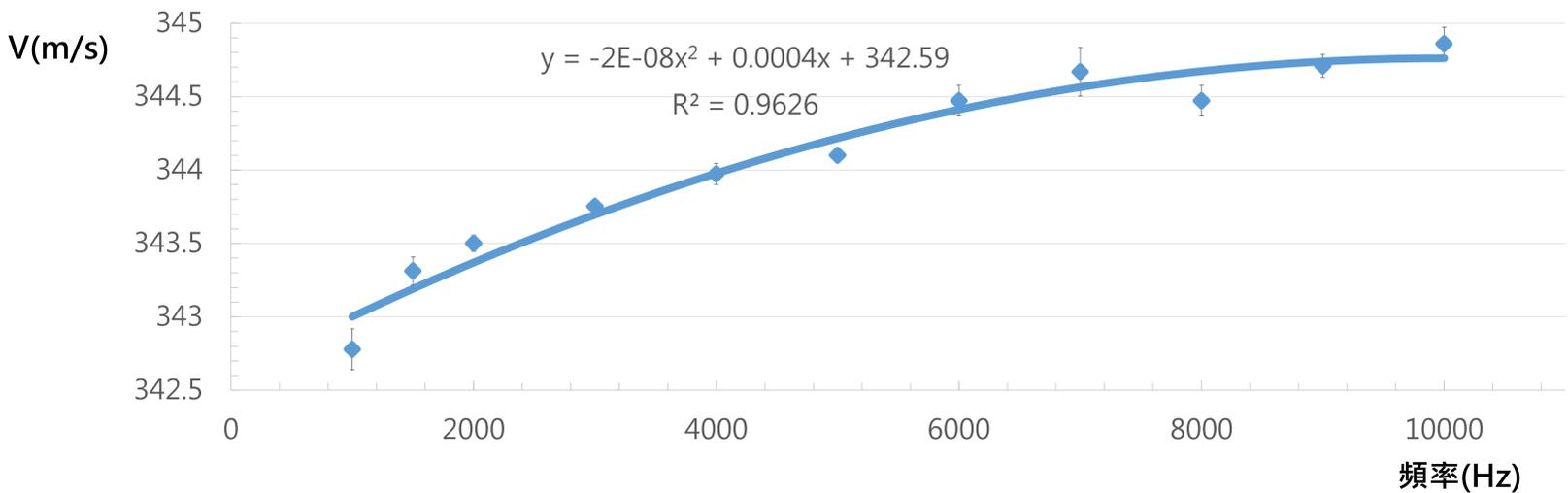


圖九、管長3m、3000Hz 聲速-溫度關係圖

黑線為經驗公式作圖
藍線為實驗數據作圖
各點時間標準差皆在2x10⁻⁵(秒)之內
速率標準誤差在0.4(m/s)以內

(二) 頻率對聲速的影響

實驗三：以Audacity發送訊號，固定溫度改變頻率實驗



圖十、管長3m、28°C
聲速-頻率關係圖

時間標準差皆在 10^{-5} (秒)之內
速率標準誤差皆在0.17(m/s)之內

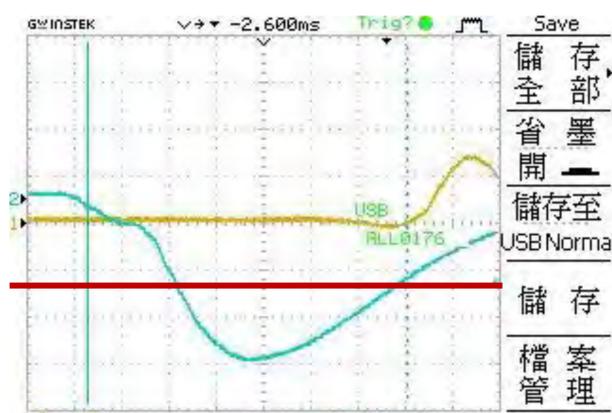
陸、討論

一、優點：

1. 以壓電材料與示波器測量聲速，可收到聲波訊號；且聲波相對雜訊明顯較大，可以清楚分辨收到的訊號是聲波訊號而不是雜訊。
2. 在準確度方面，聲速實驗值比對理論值，百分誤差皆在0.4%之內。
3. 在精確度方面時間平均值在 $5.3 \times 10^{-3} \sim 5.8 \times 10^{-3}$ (秒)之間；時間標準差在 8×10^{-5} (秒)之內。

二、量測技巧：

1. **壓電片**：利用壓電片受力形變而產生電壓來接收訊號；抑或是輸入電壓使壓電片產生形變輸出聲波訊號。
2. **示波器trigger**：設定接收訊號的強度門檻，可以看出是否在敲擊後才出現訊號而判斷是否為聲波訊號。
3. **示波器average**：採取間歇性的正弦波輸入訊號時，此功能可以平均每次波形，並可設置平均數量(2次、4次、8次.....)，可將雜訊消去。
4. **Excel分析**：訊號強弱反映在數據點上，取波形恰變化處。



圖十一、示波器 trigger 設定強度門檻才會顯示波形(紅線為當次實驗設定強度)。

三、固定頻率，改變溫度實驗討論

1. 各組聲速皆低於經驗公式之值，推測是頻率影響聲速所致。
2. 由趨勢線斜率可推測，雖然數值不同，但上升的趨勢相同：溫度每上升 1°C ，聲速增加約 0.6m/s 。

四、固定溫度，改變頻率實驗討論

1. 頻率改變而影響聲速變化，此現象被稱為頻散。查資料推測其與分子的弛豫時間有關。
2. 接近 1000Hz 處的數據有類似曲線的關係，而更高頻處的聲速變化趨於平緩。
3. 每組實驗需在同一時段完成，避免受每日溼度不同而影響結果。

柒、結論

- 一、利用壓電片與示波器測量聲速，材料便宜且取得容易，裝置架設簡單，並且可以精準判讀。
- 二、聲速不只受溫度影響；頻率越高，聲速有上升的趨勢，可看出聲波有頻散現象。
- 三、用加熱帶纏繞鋁管，並以鋁箔紙包覆，可以穩定加熱並控溫，可仔細探討溫度變因。
- 四、使用示波器功能trigger與average，可以使波形穩定、過濾雜訊。
- 五、未來可測量雙原子的氮氣和單原子的氫氣，比較其對不同頻率的聲速變化。

捌、參考資料及其他

1. 劉鎮宇(民 99)。壓電片結合薄片之傳聲研究與應用(臺北市 99 年度中等學校學生科學研究獎助)。取自 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2010/03/2010033109310013.pdf>
2. 大學物理 Halliday Resnick
3. t1016d(民 101 年 5 月 23 日)。為什麼空氣中的溫度越高、聲速越快呢？(波動與聲音)【線上論壇】。取自 <http://www.funlearn.tw/viewthread.php?tid=14187>
4. a16151910a(民 101 年 6 月 12 日)。聲速公式(其他範圍)【線上論壇】。取自 <http://www.funlearn.tw/viewthread.php?tid=14824>
5. smdspz(民 105 年 12 月 1 日)。頻度與聲速之間的關係【線上論壇】。取自 <https://zhidao.baidu.com/question/480929627.html?oldq=1>
6. 郭思瑀、盧彥均、彭曉祺、劉幸芸(民 93 年)。聲音有多快! 固體、液體中聲速的探討(中華民國第四十四屆中小學科學展覽會)。取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/44/E/040116.pdf>
7. 羅素真(民 72 年)。濕度對聲速影響的研究(中華民國第二十三屆中小學科學展覽會)。取自 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/23/pdf/23m/257.pdf>