

嘉義市第二十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：Super! SuperSonic!—聲音在鐵管中的傳播速度

關鍵詞：聲速 彈簧波

編 號：



摘要

我們使用一個便宜又準確的方法來測量聲速在鐵管中的傳播速度，我們將鐵管懸掛起來，用鐵鎚敲擊，在另外一側用麥克風來接收，將訊號輸入電腦，利用示波器軟體 MacScope II 來記錄，並以此計算聲音在鐵管中的速度約為 5000 公尺/秒。

另一方面，為了模擬聲波在鐵管中的來回傳播情形，我們使用虎克定律實驗所用到的彈簧，測量其質量、虎克常數及長度，可推測其波速，實測結果和文獻相比，有相當一致的結果。

目錄

壹、研究動機.....	1
貳、研究目的.....	1
一、聲音在鐵管中傳播的速度.....	1
二、測量彈簧縱波速度.....	1
參、研究設備及器材.....	1
一、實驗一.....	1
二、實驗二.....	1
肆、研究過程及方法.....	2
一、聲音在鐵管中傳播的速度.....	2
(一)實驗步驟.....	2
(二)實驗裝置.....	2
二、測量彈簧縱波速度.....	3
(一)實驗步驟.....	3
(二)實驗裝置.....	4
(三)縱波公式推導.....	5
伍、研究結果.....	8
一、聲音在鐵管中傳播的速度.....	8
(一)示波器功能測試.....	8
(二)實際測量.....	10
(三)實驗結果與誤差.....	11
二、測量彈簧縱波速度.....	11
(一)虎克常數測量.....	11
(二)外力與伸長量函數圖.....	12
(三)實驗結果比較.....	13
陸、討論.....	14
柒、結論.....	14
捌、參考資料及其他.....	15

壹、研究動機

在某一次理化課，老師正教到「聲波」的課程，並且利用彈簧波示範縱波及橫波的產生方式。好奇的我們，看著彈簧波來回震動，便心想要如何求得波的速度，老師說聲波在不同的介質，傳播的速度不同，而且聲波是以一疏一密的方式，將波的能量傳遞出去，也就以「縱波」的方式。我看了一下課本的數據，發現聲音在鐵的速度約為 5000 公尺/秒。於是我們開始尋找文獻，企圖找出一個便宜又準確的方法，來測量聲波在鐵中的傳播速度。

從文獻中，有一些文章測量並討論聲音在鐵棒、鐵管及鐵絲中的傳播速度，有的利用微電腦，有的利用鐵棒經過線圈所產生的效應來偵測，有的利用濕的海綿來摩擦鐵絲，使其產生縱波來偵測。我們參考了其中一篇文獻，因為方法最簡單，而且也不需要花費太多昂貴設備，於是，在老師的指導下開始了我們的實驗。

貳、研究目的

一、聲音在鐵管中傳播的速度

利用身邊隨手可得的器材，不用昂貴的儀器設備，設法測量聲音在鐵管中的傳播速度，而且這個方法要有一定的準確度及再現性。

二、測量彈簧縱波速度

利用彈簧波來模擬聲音在鐵管中，來回傳遞的情形，以攝影機拍攝，彈簧波在不同長度之下，利用慢速度播放，計算來回一次的傳播時間，並進而算出波速。由我們的文獻參考資料發現，可以用測量彈簧的質量、虎克常數及彈簧長度，求得彈簧縱波的速度。我們測量這些數據，並且與真正拍攝的速度來作一個比對，驗證這個縱波速度公式的正確性。

參、研究設備及器材

一、實驗一

鐵管、電腦、鐵鎚、鐵架、麥克風、MacScope II 示波器軟體、繪聲繪影軟體

二、實驗二

彈簧、棉線、鐵環、彈簧秤、電子秤、攝影機

肆、研究過程及方法

一、聲音在鐵管中傳播的速度

(一)實驗步驟：

- 1.用漆包線綑綁鐵管兩端，懸吊於鐵架上。
- 2.將麥克風置於一端，並連接於電腦上，並以鐵鎚敲擊另一端。
- 3.使用示波器軟體 MacScope II，收集縱波在鐵管中傳遞的訊號，求出來回一次的時間，並算出聲音在鐵管中傳播的速度。

(二)實驗裝置：

1.鐵鎚



2.麥克風+電腦



3.實驗裝置全圖



二、測量彈簧縱波速度

(一)實驗步驟：

- 1.利用電子秤，秤得彈簧質量。
- 2.利用彈簧秤，各施水平拉力 50gw、100gw、150gw、200gw、250gw，測得伸長量，重複 3 次，測得虎克常數。
- 3.利用攝影器材，拍攝彈簧不同的長度，實際縱波的速度及來回一次的時間，每個長度重複三次，求其平均值。

274cm



170cm



220cm



120cm



(二)實驗裝置：利用鐵架架起鐵管，將鐵環穿過鐵管，取適當的彈簧間格，用等長的棉線綁於鐵環上（約綁 50 個），懸吊彈簧（如下）。



(三)縱波公式推導：

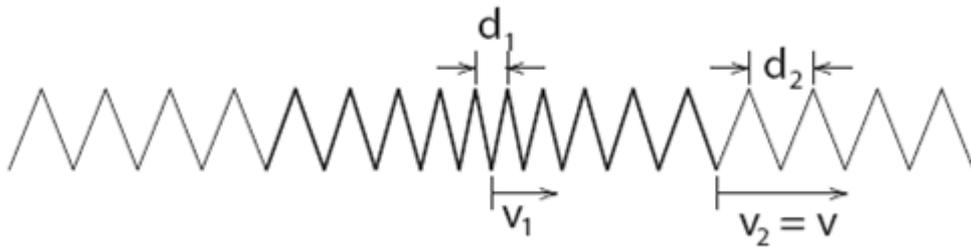
$$\text{相鄰兩線圈距離 } d_1, d_2 \text{ 的單位為：} (d_1, d_2) = \frac{\text{公尺}}{\text{線圈數}} \quad (\text{A-1})$$

波速 v_1 及 v_2 的單位為 $\frac{\text{公尺}}{\text{秒}}$ ，因此

$$\frac{v_1}{d_1} = \frac{\text{公尺/秒}}{\text{公尺/線圈數}} = \frac{\text{線圈數}}{\text{秒}} \quad (\text{A-2})$$

每秒通過的線圈數相同，因此

$$\frac{v_1}{d_1} = \frac{v_2}{d_2} \quad (\text{A-3})$$

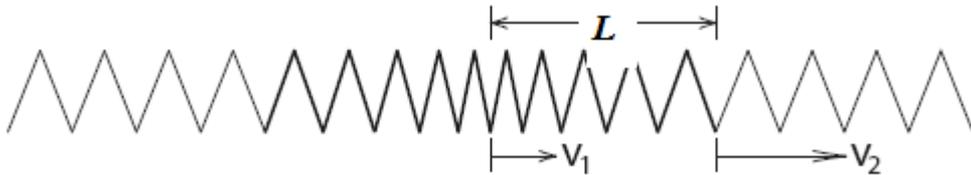


線圈由波速 v_1 加速至 v_2 的時間為 t ，其加速度為 a ，帶入直線運動公式得到：

$$v_2 = v_1 + at$$

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad (\text{A-4}) \text{ 平均速度 } V_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$t = \frac{L(\text{公尺})}{V_{av}(\text{公尺/秒})} = \frac{L}{V_{av}} \text{ 秒}$$



$$a = \frac{1}{t} (v_2 - v_1) = \frac{V_{av}}{L} (v_2 - v_1) \quad (\text{A-5})$$

假設波為弱波，亦即 v_1 並不比 v_2 小很多， $V_{av} \approx v_2$

$$a = \frac{V_{av}(V_2 - V_1)}{L} \approx \frac{V_2(V_2 - V_1)}{L} = \frac{V_2^2}{L} \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right) \quad (\text{A-6})$$

$$M \text{ 公斤} = \mu \frac{\text{公斤}}{\text{公尺}} \times L \text{ 公尺} = \mu L \text{ 公斤} \quad (\text{A-7})$$

$$M a = \mu L \times \frac{V_2^2}{L} \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)$$

$$M a = \mu V_2^2 \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right) \quad (\text{A-8})$$

依據虎克定律 $F = K(\Delta X)$

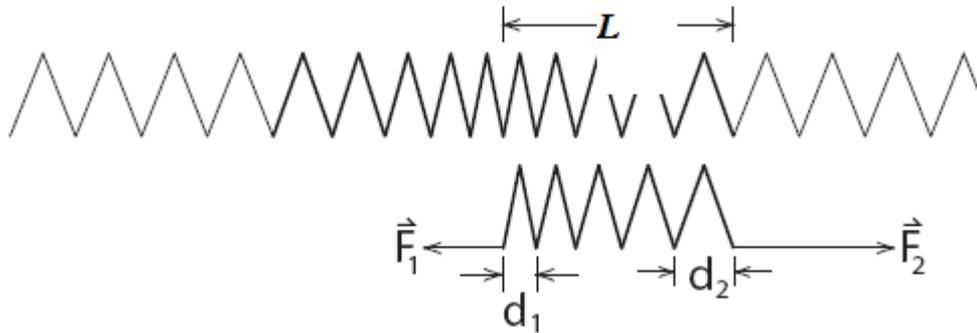
$$F_1 = K(L_1 - L_0)$$

$$F_2 = K(L_2 - L_0)$$

$$(F_2 - F_1) = (KL_2 - KL_0) - (KL_1 - KL_0) \\ = K(L_2 - L_1) - KL_0 + KL_0$$

$$(F_2 - F_1) = K(L_2 - L_1) \quad (\text{A-9})$$

$$F_{net} = (F_2 - F_1) = KL_2 \left(1 - \frac{L_1}{L_2}\right) \quad (\text{A-9a})$$



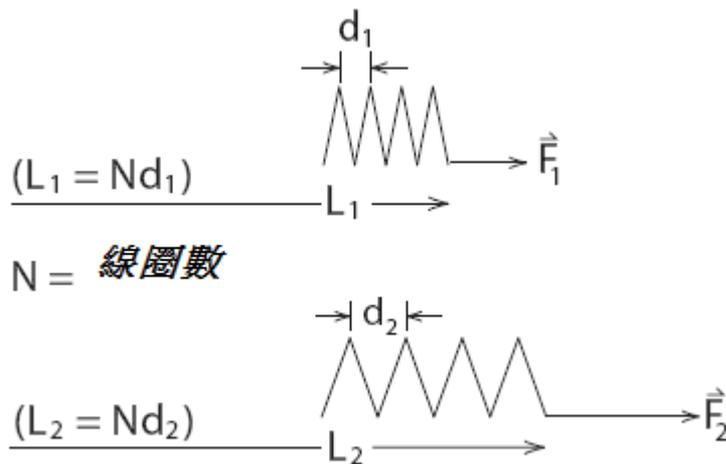
假設共有 N 個線圈數，則

$$L_1 = Nd_1; d_1 = L_1/N \quad (\text{A-10a})$$

$$L_2 = Nd_2; d_2 = L_2/N \quad (\text{A-10b})$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{L_1/N}{L_2/N} = \frac{L_1}{L_2} \quad (\text{A-11})$$

$$F_{net} = KL_2 \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right) \quad (\text{A-12})$$



L_2 幾乎就是 L ，因此

$$F_{net} = KL\left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right) \quad (\text{A-13})$$

帶入牛頓第二運動定律

$$F_{net} = M a$$

$$KL\left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right) = \mu V_2^2 \left(1 - \frac{d_1}{d_2}\right)$$

$$KL = \mu V_2^2 \quad (\text{A-14})$$

v_2 即是彈簧波的波速 v

$$KL = \mu V^2 \quad (\text{A-15})$$

$$V = \sqrt{\frac{KL}{\mu}} \quad (\text{A-16})$$

$$V = L \sqrt{\frac{K}{M}} \quad (\text{A-17})$$

來回一次的時間 T

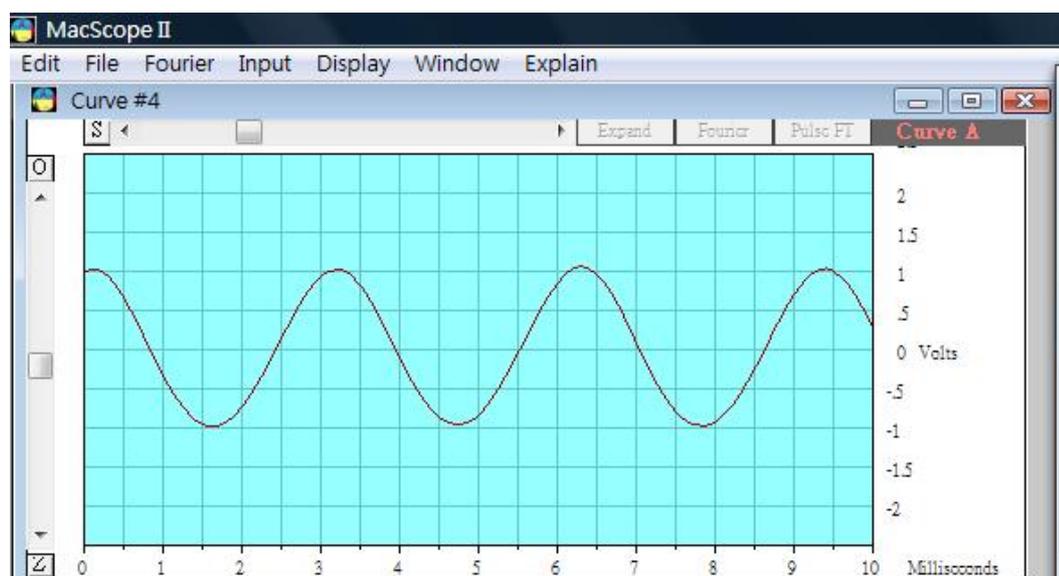
$$T = \frac{2L}{V_c} = 2 \sqrt{\frac{M}{K}} \quad (\text{A-18})$$

伍、研究結果

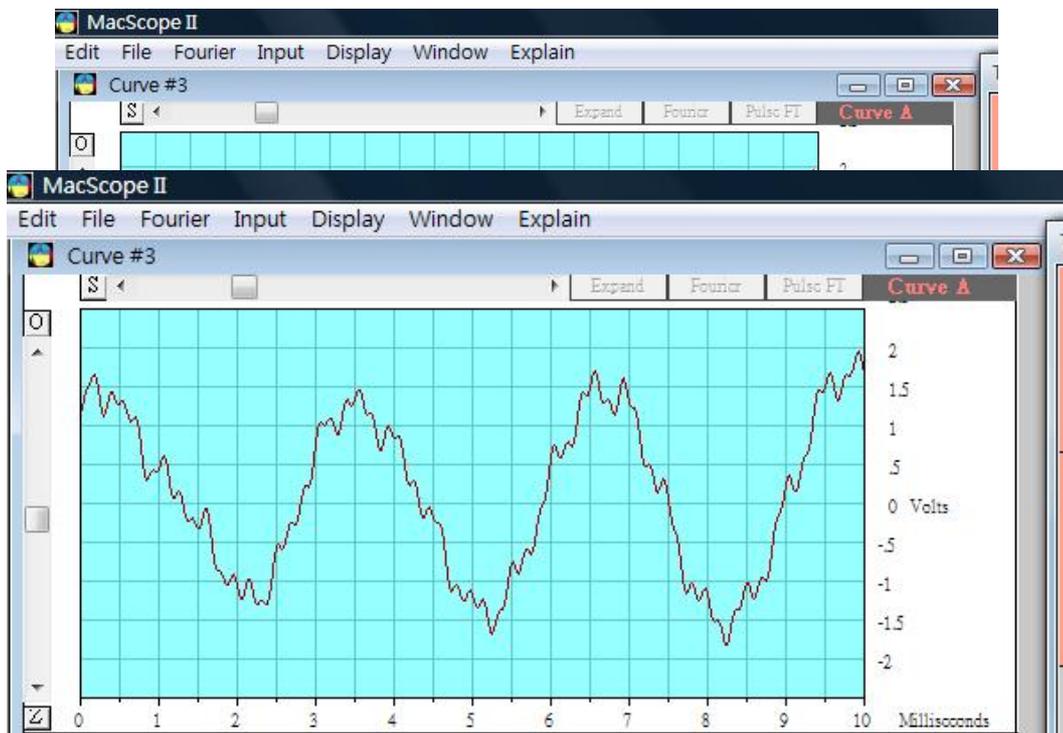
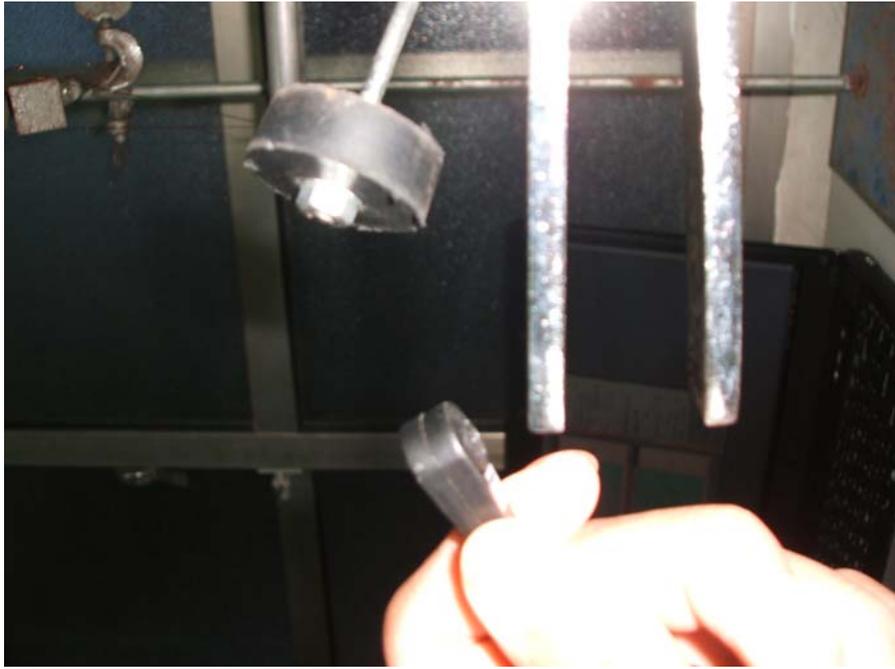
一、聲音在鐵管中傳播的速度

(一)示波器功能測試：

1.角度一(互相垂直)

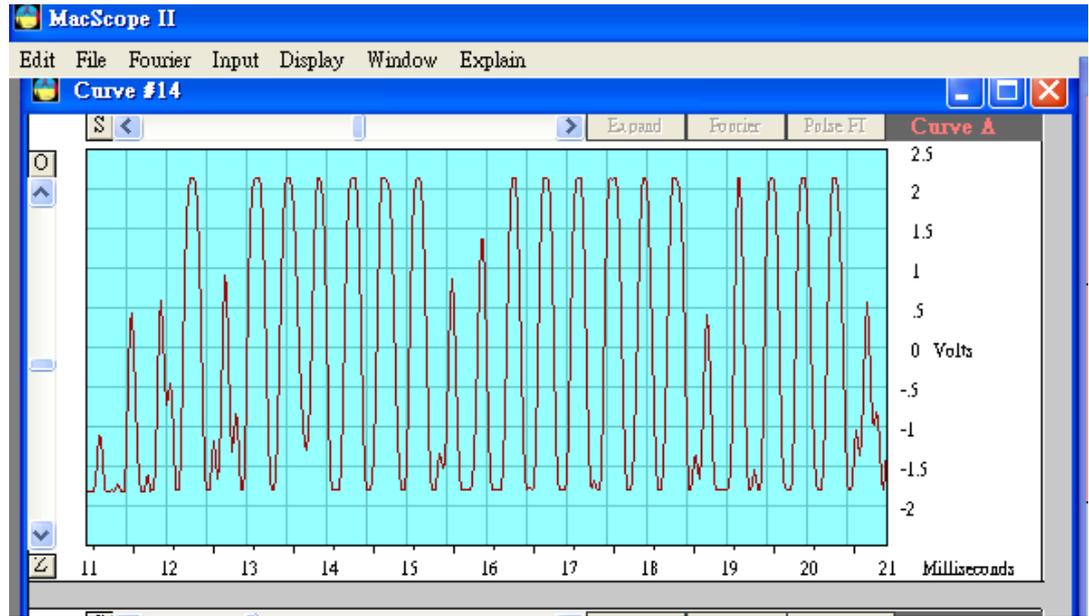


2.角度二(不垂直)



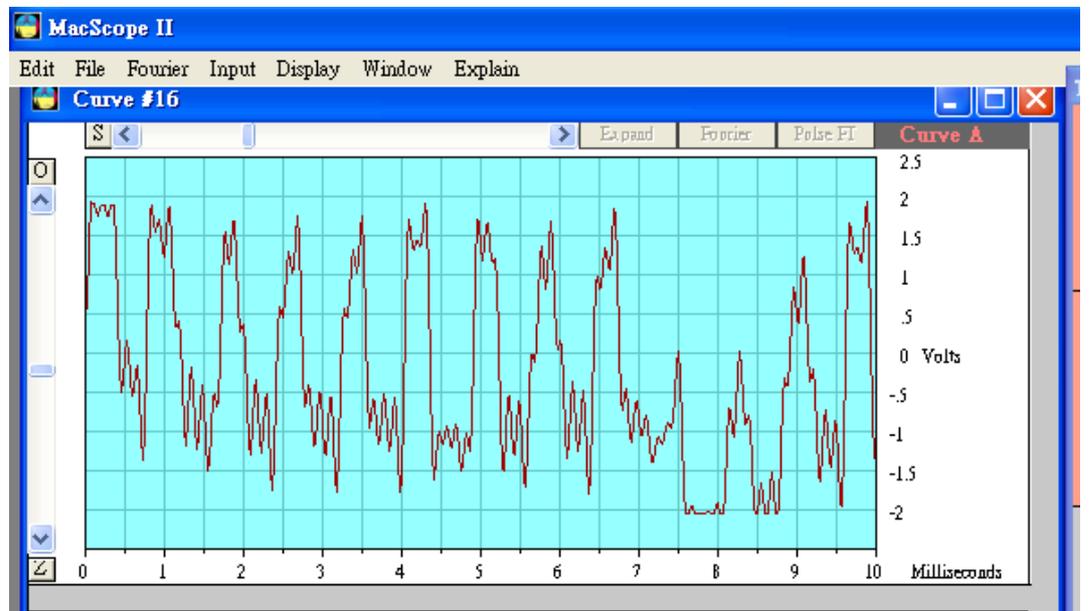
(二)實際測量

1.一公尺鐵管



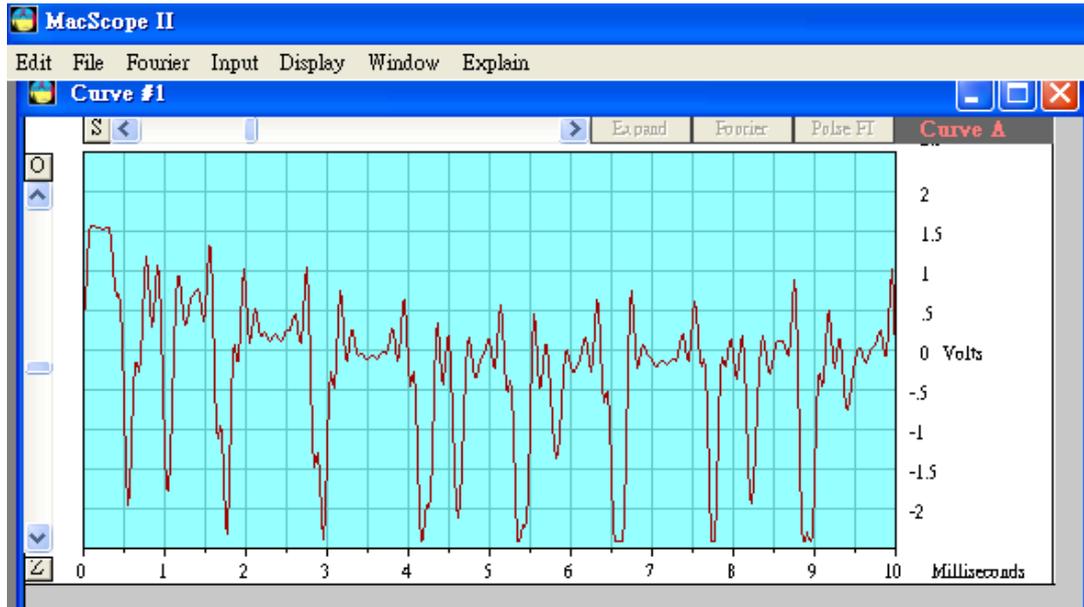
來回一次的時間 = 0.40 毫秒 聲速 = 4984.4 公尺/秒

2.二公尺鐵管



來回一次的時間 = 0.81 毫秒 聲速 = 4966.1 公尺/秒

3.三公尺鐵管



來回一次的時間 = 1.20 毫秒 聲速 = 5000.0 公尺/秒

(三)實驗結果與誤差

長度 \ 速度	速度(m/sec)	誤差(%)
1 公尺	4984.4	0.95
2 公尺	4966.1	1.32
3 公尺	5000.0	0.64

註：參考文獻中聲速在鐵的傳播速度為 5032m/s

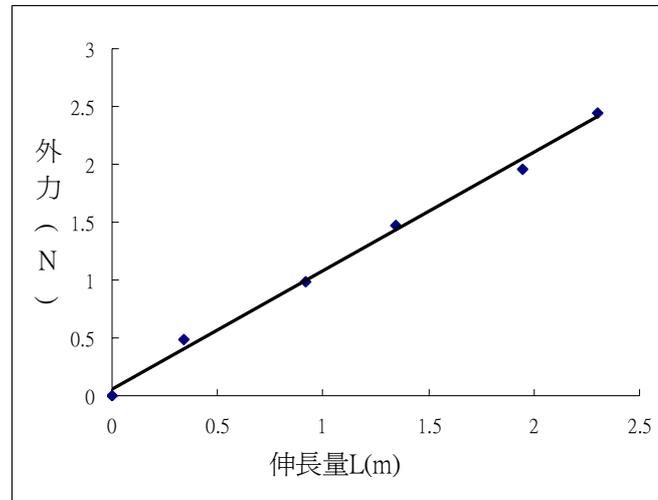
二、測量彈簧縱波速度

(一)虎克常數測量：

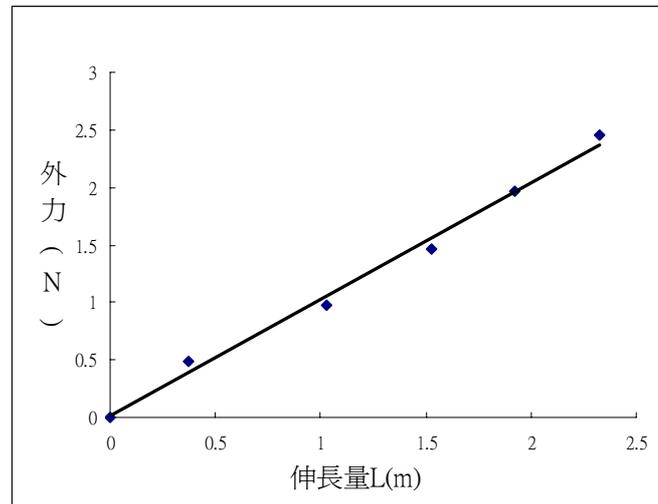
質量克數 (g)	1.0178	1.0168	彈簧原長 : 10.50cm
伸長量 (m)	第一次	第二次	第三次
外力 (gw)			
50gw	0.4960	0.5000	0.5300
100gw	1.0700	0.1030	0.1180
150gw	1.500	0.1500	0.1680
200gw	2.100	0.1950	0.2080
250gw	2.460	0.2550	0.2480

(二)外力與伸長量函數圖

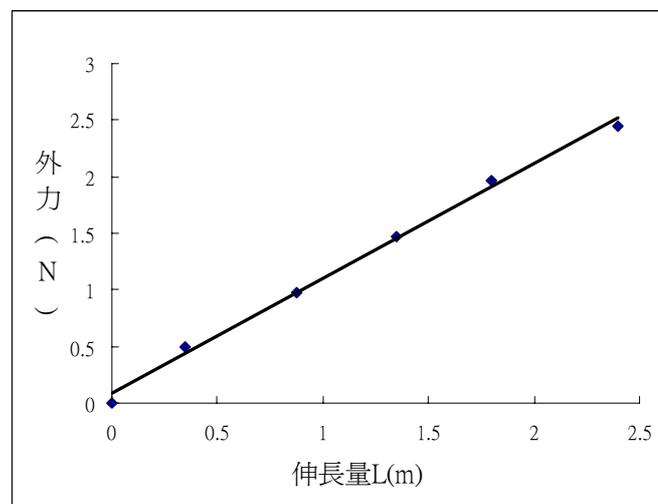
1.第一次



2.第二次



3.第三次



(三)實驗結果比較：

1. 以縱波公式(A-16)，計算不同長度下彈簧縱波的速度：

波速(m/s) 長度(cm)	第一次	第二次	第三次	平均值
	K=1.0178N/m	K=1.0168N/m	1.0153N/m	
274.00	4.4707	4.4685	4.4652	4.4682
220.00	3.5896	3.5879	3.5852	3.5876
170.00	2.7738	2.7725	2.7704	2.7722
120.00	1.9580	1.9570	1.9556	1.9569

2.以攝影機拍攝，不同長度下彈簧縱波的來回時間：

來回時間(秒) 長度(cm)	第一次	第二次	第三次	平均值
	274.00	1.21	1.19	
220.00	1.20	1.21	1.21	1.21
170.00	1.21	1.22	1.21	1.21
120.00	1.21	1.20	1.20	1.20

3.以攝影機拍攝，不同長度下彈簧縱波的來回速度：

波速(m/s) 長度(cm)	第一次	第二次	第三次	平均值
	274.00	4.5289	4.6050	
220.00	3.6667	3.6364	3.6364	3.6465
170.00	2.8099	2.7869	2.8099	2.8022
120.00	1.9835	2.0000	2.0000	1.9945

4.縱波公式與攝影速度的比較

波速(m/s) 長度(cm)	縱波公式(A-16)	攝影(m/s)	誤差%
	274.00	4.4682	
220.00	3.5876	3.6465	-1.64
170.00	2.7722	2.8022	-1.08
120.00	1.9569	1.9945	-1.92

陸、討論

- 一、MacScope II 是一個免費的軟體，可從參考資料的網站下載並使用，MacScope II 可提供作為一個示波器軟體，直接將麥克風接於電腦音效卡的輸入端，即可將麥克風所接受的訊號錄下，顯示於螢幕上。
- 二、剛開始實驗時，經由示波器所傳來的訊號並沒有週期性，像是雜亂的波，於是我們以音叉來測試，發現角度會影響到麥克風接收的訊號，因此經過測試後，我們決定將麥克風直接與鐵管底部接觸，效果較佳。
- 三、一公尺鐵管所得示波器的圖形較為單純，我們挑選幾個較規律的波形，計算來回一次的時間，算出波速。與已知的值來比較，誤差在 1% 以內。
- 四、二公尺鐵管的示波器圖形雜訊較多，波峰處呈現雙峰的現象，可能是鐵管的表面有凹凸不平，鐵鎚敲擊時，有時間差造成的，在波峰與波峰之間的雜訊，可能來自敲擊後，鐵鎚的來回振動被麥克風接收所導致。
- 五、三公尺鐵管的示波器圖形更複雜，規律性較差，但仍可判斷有週期約 1.2 毫秒的波在鐵管來回振盪。
- 六、由三種不同長度鐵管的確認，我們可以用這一個方法，快速而且不需花費很多金錢，就測量出聲速在鐵管中的傳播速度，約為 5000 公尺/秒。
- 七、彈簧波的縱波波速所得的虎克常數，有很好的再現性，依此數據，再加上彈簧質量及長度所計算出來的波，與攝影機所拍攝的波速，兩者相比較，誤差可以控制在 3% 以內（1.08%~2.50%），縱波公式的推導似乎相當符合實際結果。
- 八、將不同的彈簧常數 K 值代入(A-18)式，求得彈簧縱波來回一次的時間，其結果落於 1.226 至 1.227 秒之間，與拍攝結果落於 1.206 至 1.214 秒間，有很好的準確性。

柒、結論

一、聲速在鐵管中的傳播速度為 5000 公尺/秒。

二、經由彈簧波的驗證，可得知彈簧波的縱波速度可用 $v = \sqrt{\frac{KL}{\mu}}$ 來表示。

捌、參考資料及其他

- 一、E. R. Huggins.(2008, Jan). Speed of Sound in Metal Pipes: An Inexpensive Lab. *The Physics Teacher*, 46, 13-14.
- 二、E. R. Huggins. (2007) Using Fourier Analysis in Introductory Physics. Dartmouth College. Moose Mountain Digital Press.
- 三、E. R. Huggins. (2007) Using Fourier Analysis in Introductory Physics. Retrieved February 13, 2009 from World Wild Web:
<http://www.physics2000.com/Pages/MacScope.html>
- 四、Potter D. (2002, Jan). The speed of sound in an iron rod. *The Physics Teacher*, 46, 56–57.
- 五、康軒文教事業(2004)。自然與生活科技二上。台北縣：作者。