

聲音速率測量的改進及聲音在固體中駐波現象之研究

國中組物理科第一名

高雄市立壽山國民中學

作者：李盈賢、蔡靚萱
洪志坤

指導教師：曾柏文、邱俊義

一、研究動機

在學聲音章節裡，老師提到在空氣中聲速是利用聲音在氣體中傳播使其產生駐波現象，再利用駐波原理計算出來（且只是粗略的估計），好奇心的驅使我們想再深入瞭解聲波較精確的速率及測量方法，平時愛玩電子科技小玩意的我們（像超聲波套件等）也就開始嚐試一些訊號（收、發）及計時器的裝配另外聲音在固體中駐波現象又如何呢？

二、研究目動

- (一)測量聲音在氣體中傳播速率及變因之探討。
- (二)測量聲音在固體中傳播速率及變因之探討。
- (三)探討聲音在固體中的駐波現象及利用駐波原理測量聲速。

三、儀器設計及工作原理（以下儀器裝備都是自行設計）

- (一)計數器（counter）：圖略
- (二)1MHZ石英晶體振盪器：圖略

(三)氣體儀器裝置：圖略

工作原理：（圖略）當重置後，發端、收端控制輸出皆為高電位（以下用1表示高電位，0表示低電位）所以此時A為1，B為0則振盪器訊號被鎖住，計數器無法計時，當按下B→1，E→1，計時器開始計時，當收端接收到訊號，收端控制輸出為0，此時E→0，計時停止。

(四)固體儀器裝置：圖略

工作原理：當鐵鎚敲擊金屬棒時，發出一聲波同時綫路接通，SSR被觸發輸出為0，此時開始計時，當收端收到訊號時，SSR被觸發，收端輸出為0，計時停止。

校正儀器：石英晶體振盪器（1MHZ），我們已用測頻器測試確為1MHZ。

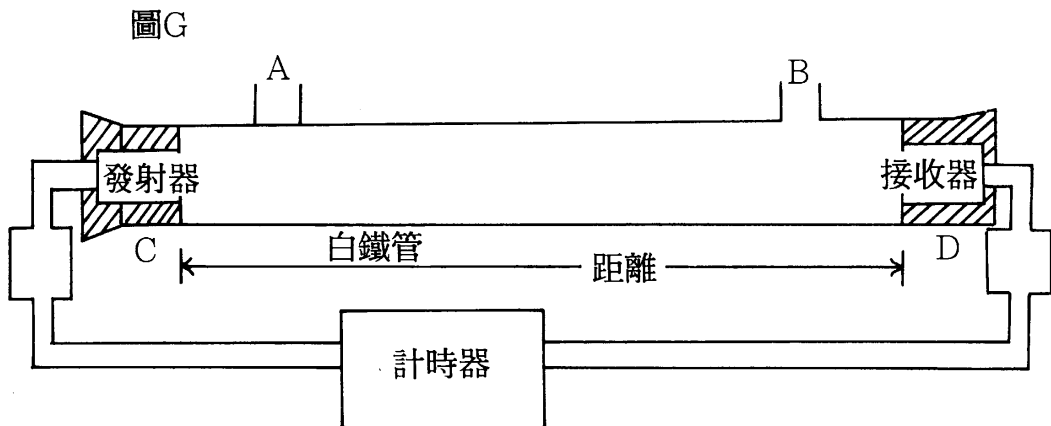
四、研究器材：略

五、實驗過程及討論

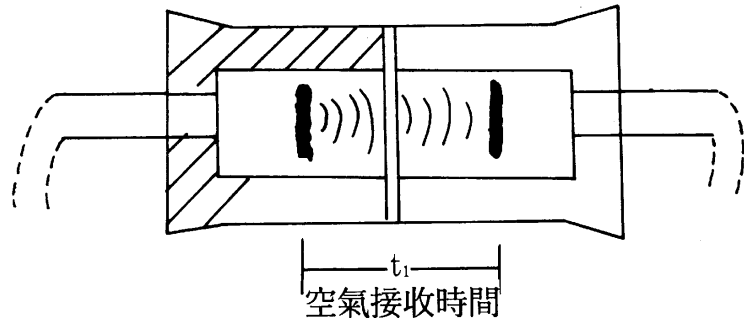
(一)實驗一：

1. 實驗目的：測量聲音在氣體中傳播速率及變因之探討。
2. 實驗設計：

(1)裝置：把圖ABCD和白鐵管裝配起來如下圖。



(2)先把橡皮塞取下，然後互相緊密接合如下圖：（發射器及接收器已經密接在橡皮塞內），測量發射接收時間為0.000122秒



所以 $t_1 + t_0 = 0.000122$ 秒（ t_1 為聲音由發射器發射點至接收點內之時間， t_0 為計時綫路延遲時間。若我們距離由橡皮塞C量至橡皮塞D，則我們每次測量所得時間減去0.000122秒，即可減少計時誤差）。

（注意：）以下時間測量至少十次，每次誤差都在秒下六位，甚至出現相同時間多次，我們選取出現較多次數三次。

3. 操作手續及實驗結果：

(1)管外：將發射器及接收器在管外取距離，測量時間。

(2)管內：取白鐵管編號1裝置如上圖，測量時間。

數據：（表一）

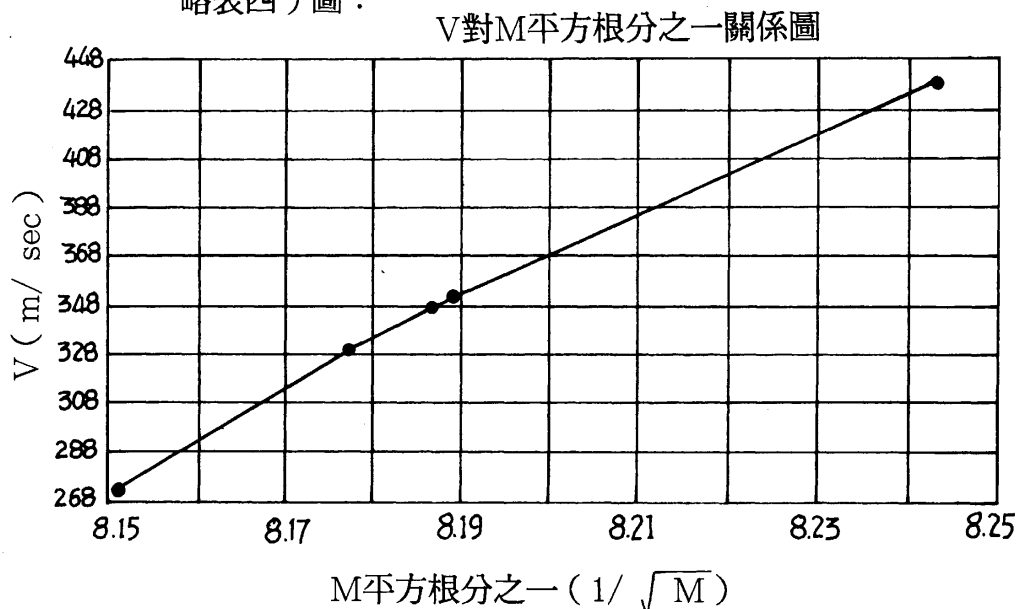
氣體種類：	空氣	T = 22 C	, P = 763mm-Hg
S = 0.846m	t = 測得時間 - 0.000122		, 相對濕度 = 82%
位 管	置 外	t(sec) 0.002466 0.002466 0.002465	t (平均值) 0.002466 V(m/sec) 343.06
管	內	0.002488 0.002487 0.002488	0.002488 340.03
管	(2.1 cm) 徑	0.002488	

(3)觀察長度相同，但內徑不同（無開口AB部份）操作同。

（數據略：表二）

(4)觀察風向的變化：（數據略表三：）

(5)開口A接抽氣機，開口B充氣（變換各種氣體）（含壓力計）操作如上（充入管內氣體的壓力和管外相同）（數據略表四）圖：



(6)取白鐵管編號2將開口A，開口B換接上溫度計（測量管內氣體的溫度）並確實檢查裝置為密閉系（實驗前先行加熱管內空氣使成為乾燥空氣）

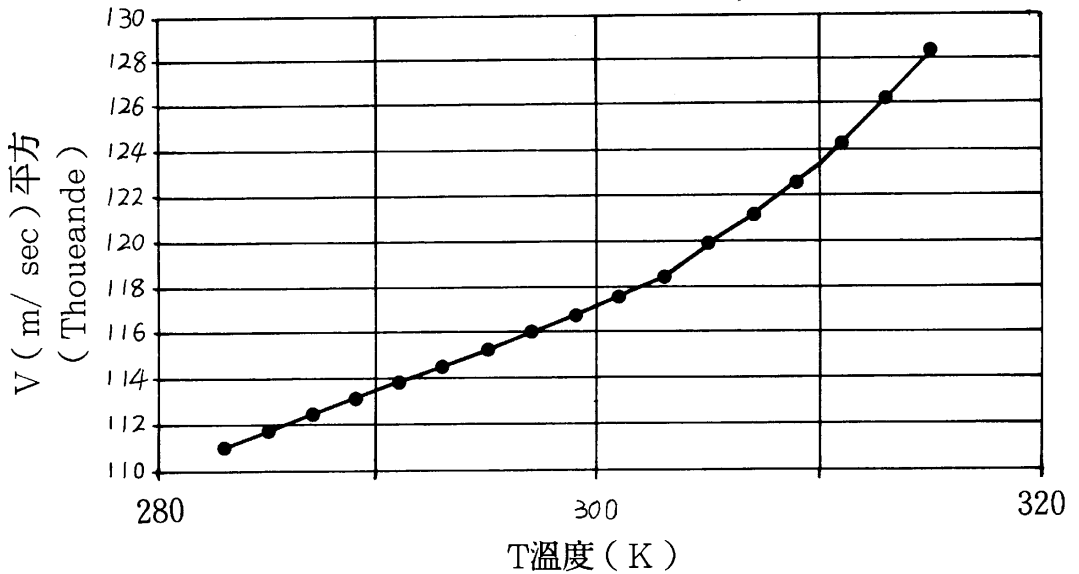
控制的變因：氣體的種類（空氣），體積及質量。

改變的變因：管內氣體的溫度（T）。

方法1：使用四個酒精灯一起加熱白鐵管2一段時間先行移開酒精灯，當管內氣體溫度不再上昇（達熱平衡）再從高溫度42°C依序每降低2°C，測量時間，直至降至22°C

方法2：再將白鐵管放入冷凍室內降低溫度一段時間後取出至熱平衡時為10°C再從10°C依序每升高2°C測量時間。（數據略：表五）圖：

V平方對T關係圖

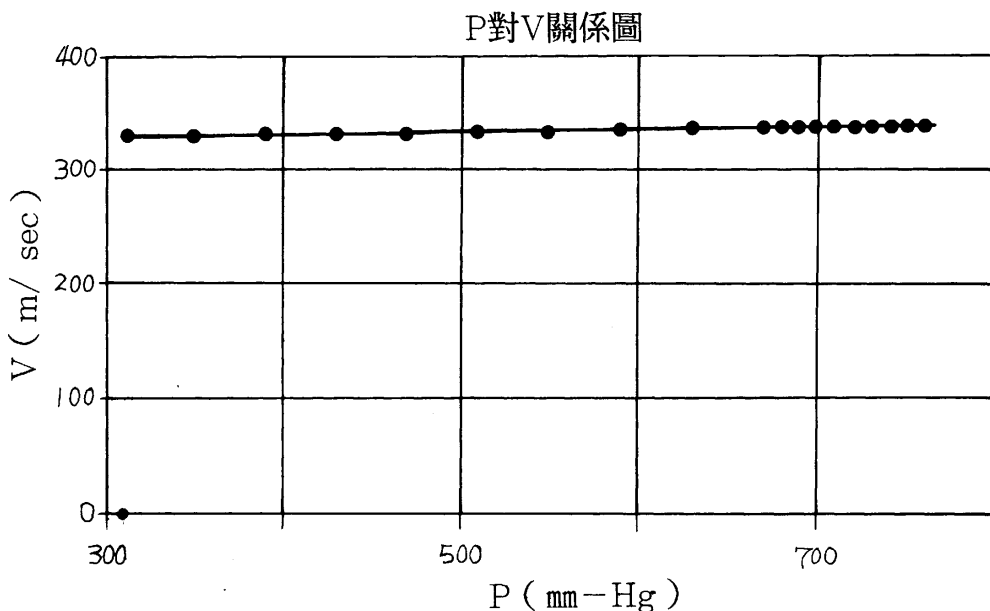


(7)取白鐵管編號1將開口A接抽氣機，開口B接溫度計和自制閉管壓力計，成為密閉系統。

控制的變因：氣體溫度 $T=20^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度70%，氣體的體積和種類。

改變的變因：氣體的密度 P （用抽氣機抽氣）我們先用抽氣機抽至低壓，然後再從 $P=309\text{mm-Hg}$ 依序每增加 40mm-Hg 測量一次時間至 $P=629\text{mm-Hg}$ ，然後發覺 P 在 $669\text{mm-Hg}\sim 763\text{mm-Hg}$ 聲速相同，所以在這壓力範圍內我們改用每增加 10mm-Hg ，測量時間，以求正確。

（數據略：表六）



(以上實驗是在低於一大氣壓下求得的)

4. 實驗討論：

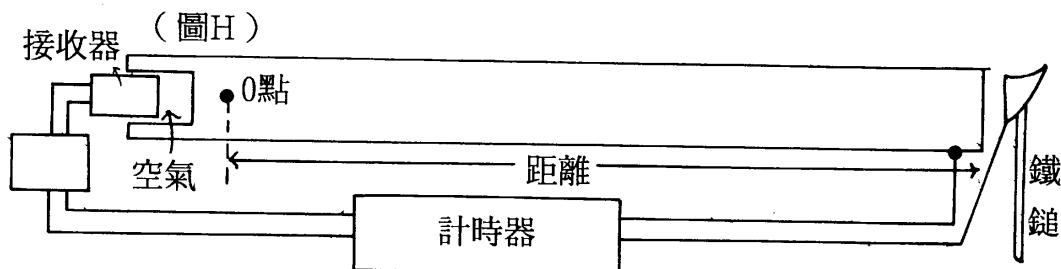
- (1)由數據得知當 $T=22^{\circ}\text{C}$ ，聲速在管外 343.06m/sec （理想氣體理論值為 344.2m/sec ），在地球科學中學到大氣環流，每一個地方的大地環境皆不同，即使P和T相同，測出的聲速也不盡相同。
- (2) $343.06 - 342.59 \cong 0.47$ （ m/sec ），乃為傳輸作用，若在管內因內摩擦力而造成管內速度較管外（即空曠處）為小。
 $343.06 - 340.03 \cong 3.03$ （ m/sec ），乃為此管有開口A、B當聲音傳至AB處會出現旋性（如同水流）及內摩擦力所造成的，所以速度較管外小 3.03m/sec ，由此可知管內旋性影響較大。
- (3)長度相同，但內徑不同，聲音在管徑較大處傳聲速度較快。
- (4)順風時，聲速較快，逆風時聲速較慢。
- (5)聲速和氣體分子量平方根成反比（討論略）
- (6)（討論略），我們在密閉系中當溫度T增加時，壓力P即

增大當溫度愈高時，密閉系內氣體壓力增愈大，也就愈不接近理想氣體（使用乾燥空氣，乃當溫度 T 變化時，濕度為定值即不考慮）

(7) (討論略)，當 P 在629mm-Hg以下時，音速不再是定值，而是隨壓力 P 的降低而減小。我們推測乃因為：若溫度一定時 P/ρ 在此壓力下還是定值的話，則是因為 r 隨 p 壓力的降低而減小。從徐氏基金會熱力學這本書page 118頁，我們找到了 r 隨壓力所作變化的經驗公式 ($r = a + bp + cp^2$)

(二)實驗二：

1. 實驗目的：測量聲音在固體中傳播速率及變因之探討。
2. 實驗設計：(1)裝置：把圖A.B.F和金屬棒裝置起來如下圖：



(2)敲擊0點聲音至接收點（之間含空氣）的時間為 t_1 ，再加上綫路延遲時間 t_0 （0點並不固定，敲點在那裡，距離就量取到0點如上圖），則測量所得的時間減去（ $t_1 + t_0$ ），即可減少計時誤差。

銅為 $(t_1 + t_0) = 0.000123$ 秒

鋁為 $(t_1 + t_0) = 0.000113$ 秒

鐵為 $(t_1 + t_0) = 0.000122$ 秒

（※上列時間隨敲擊位置不同，而不同）

3. 操作手續及實驗結果：（以下敲擊方法是鐵鎚敲擊切面截面積）

(1)依序敲擊銅、鋁、鐵條得：（數據略）

(2)選取鋁條，棒上 $1/3$ 及 $2/3$ 處鑽二小孔（深度至可插入溫

度計)，孔內滴入重油（齒輪機油）以便測量鋁金屬溫度。

控制的變因：金屬鋁。

改變的變因：金屬溫度T。

方法：使用十幾個酒精燈一起加熱一段時間後，移開酒精燈當金屬溫度T不再上昇（熱平衡），再從高溫64°C依序每降低2°C，測量時間。得（數據略：表八）

4. 實驗討論：

(1)由數據表七得知 $T=22^{\circ}\text{C}$ 聲音在銅（含雜質）中速度約為3762.1m/sec，鋁（含90%的鋁）中速度為5210.96m/sec，在鐵（含雜質）中速度為5287.71m/sec（參考值如下表（略））

(2)由數據表八得知鋁在溫度64°C至22°C範圍內，傳聲速度因溫度的升高，聲速有微降的現象，尤其在溫度60°C以上時更形明顯。參考資料：綫及棒中的縱波： $V=\sqrt{E/\rho}$ （式中E為體積彈性係數），我們推測聲速在鋁棒中會隨溫度的升高而降低，是因為E體彈係數是隨溫度的升高而降低，在64°C~22°C， ρ 的變化很小視為定值。下表是我們在徐氏基金會熱力學此書中找到銅的熱性質（表略）K壓縮係數隨溫度的升高而增加。（後略）

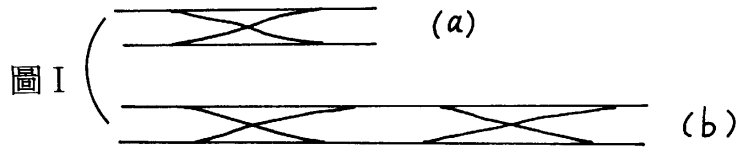
(3)我們也嚐試由上往下敲擊（圓柱面），但所得到的聲速相同（數據略）由此可以証實：用鐵鎚敲擊應該同時產生縱波及橫波，因縱波速度大於橫波速度，所以我們都是先收到縱波的訊號。因此本實驗所得的棒中速度應該都是棒中縱波速度。

(三)實驗三：

1. 實驗目的：瞭解聲音在固體中的駐波現象及利用其產生的駐波來測量聲速。

2. 實驗原理：金屬棒如同兩端開口的空氣柱，既然空氣柱有駐波，則金屬棒也應該會有駐波。

推論：兩端開口的前二種振動如下示意圖：（若頻率固定）



3. 實驗過程：

(1)由以上的推論我們決定金屬棒的駐波要尋找a振動較容易因為如圖I→a振動中波節在中央點（因為我們敲擊時剛好可以手握中央點以平衡金屬棒），不影響駐波振動而且a振動長度比b振動長度短。

(2)選取鋁條一根，敲擊後用電子調音計測出音調是大約在1.2.3.4……那個位置，再對照樂理書本即可查出鋁金屬棒頻率f約多少？

(3)再由參考值鋁金屬波速 $V=5100\text{m/sec}$ ，利用 $V=f\lambda$ ，即可推出約略波長 λ ， $\lambda/2$ 即是承(1)圖I→a振動的長度。

(4)推出a振動的長度後，選取鋁金屬棒一根稍大於a長度，再用鋸子每次鋸掉1公分就敲擊一次（手握中央點），聽聽是否有駐波發生，依序……直至漸漸出現駐波聲音。

(5)將駐波聲音輸入到示波器內，觀察波形。

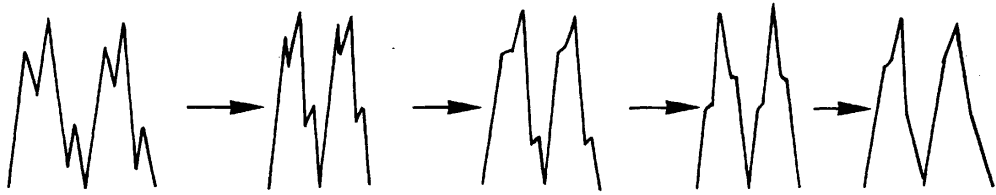
(6)利用聲音在固體中的駐波現象測量出其聲速。

4. 實驗結果及討論：

(1)當長度 $\ell = 2.02\text{m}$ 時，駐波現象出現 $\therefore \lambda = 2\ell$ 。

(2)從示波器顯示波形情形如下：（手握中央點波節處）

（ \surd ）剛開始敲擊時，出現複音波形（不是單一頻率）
如下圖



短時間內複音波形的泛音頻率（小振動）一個個衰減而消失（從示波器上可以很清楚的看出複音波形因泛音頻率的消失而產生連續性的變化。）敲擊時用鐵材料製成的鐵鎚敲擊鋁棒複音波形更形明顯。

（ㄨ）短時間即出現單一頻率波形，因為手握中央點是主振動（基音頻率）的波節處，而小振動的波節不在中央點，所以短時間內迅速減弱而停止，只剩下主振動而形成駐波，示波器顯示如下圖：圖略

(3)利用產生的駐波輸入示波器推算頻率 f 再乘以 λ 波長，則可測出聲音在固體中的速度。

（ㄣ）先校正示波器上的頻率：（以下校正方法略）

由以上的校正實驗得知：示波器上時間刻度 0.5×10^{-3} 秒應修正為 0.5625×10^{-3} 秒才是正確。得知 $V = 1300.813 \times 4.04 = 5255.28 \text{m/sec}$ （部份略）

六、結論（部份省略）

- (一)本實驗測量方法的改進，時間的測量至 10^{-6} 秒，對於溫度變化量很小（如 2°C ）時，也可以很明顯地測量出聲速的變化。且可以做為教學教具，在任何地點皆可以精確地做聲速的測量。
- (二)本實驗二可以在短距離內測量出聲音在固體中的波速。
- (三)本實驗三利用聲音在固體中形成駐波現象，來測量出聲速。
- (四)由於以上的實驗，讓我們更瞭解聲音，獲益匪淺。

七、參考資料

- (一)物理學（李怡巖） (二)國中理化第三冊 (三)科學大辭典
(四)科學圖書大庫（熱與熱力學）（徐氏基金會） (五)微電子學。

評語

本作品為設計精確的時間測量工具測量空氣中，及波導管內在各種物質情況下之行波速度，實驗設計頗佳。

本實驗並以駐波方式顯示金屬棒各調諧波的衰減及主要振動頻率，從而測量聲速，頗富創意。