

看聲波的方法及其研究

國中組物理科特別獎第三名

高雄縣立阿蓮國民中學

作者：張剛鳴

指導教師：李 暄、石天財

一、研究動機

在做聲波實驗時，只聽見聲音，看不見聲波，俗語說：百聞不如一見，我想如果能用看的來配合聽的更能使我們容易瞭解聲波。

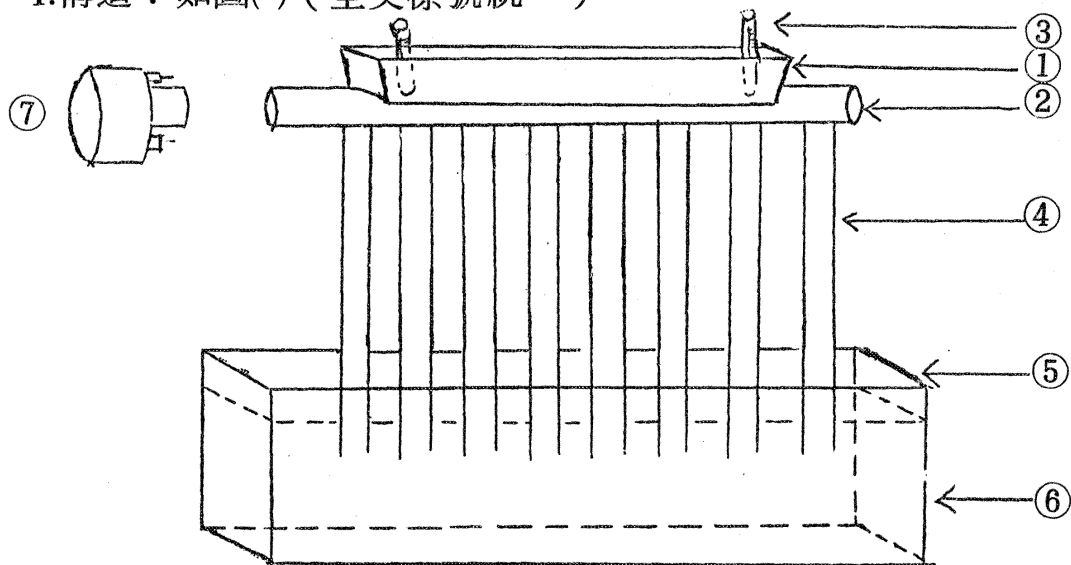
二、研究目的

- (一)能看見聲波，測量波長，決定聲波的速度，證明聲波是一種縱波，仍有反射及干涉的現象。
- (二)從波長的差異，驗證在不同溫度下有不同的聲波速度。
- (三)從波長的差異，推算氣體的分子量。

三、研究設備器材

(一)反射式主測管：

1.構造：如圖(一) (全文標號統一)



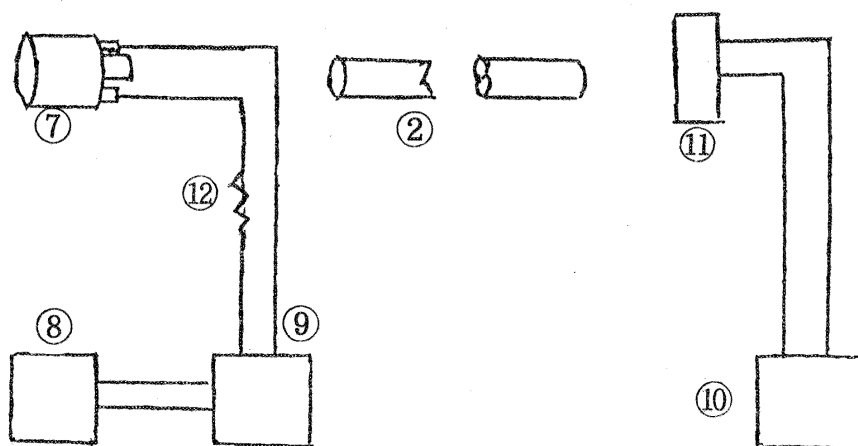
圖(一) 主測管構造圖

2.說明：

- ①冷熱水槽：鐵製與主測管②焊成一體，內可裝不同溫的水或冰加食鹽。
- ②主測管：鐵或PVC製，內直徑分爲 3.73 cm ， 2.73 cm ， 1.5 cm 等四組，長度分爲 58 cm ， 85 cm ， 100 cm ， 130 cm 下側每隔 1.5 cm 膠粘支管④。左側接電動喇叭，右側以橡皮塞封閉。
- ③溫度計： $50\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $110\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 兩支測定主測管內之氣體溫度。
- ④支管：透明吸管製，上端膠接於主測管，下端插入水中。
- ⑤下水槽：透明壓克力製，長 50.1 cm ，寬 10 cm ，高 10 cm 。
- ⑥水：以透明爲佳。
- ⑦電動喇叭： $16\ \Omega$ ， 35 W （或 $16\ \Omega$ ， 60 W ）。

(二) 電路：

1. 電路方塊示意圖：如圖(二)



圖(二) 電路方塊示意圖

2.說明：

- ⑧振盪器：其頻率可從 $0\sim 200\text{ KHZ}$ 內中自 $20\sim 3500\text{ HZ}$ 部份即爲時常所聽見的聲頻，可發出正弦波及方形波。
- ⑨放大器： 100 W 電力放大器，由於輸出太大，所以必須把喇叭串聯適當的電阻線⑫，以保護喇叭。
- ⑩示波器：可以顯示從 **MiC** ⑪傳來的聲波情形。
- ⑪ **MiC**：可以測知主測管內聲波的情形。

⑫電阻線：100 w 電爐線改裝。

(≡)改裝喇叭(略)。

四、實驗過程

(一)實驗一：

1.實驗目的：用我們設計的反射式主測管②是否可以看見聲波？而實驗結果的波速、頻率、波長的關係是否和理論相符合？

2.實驗設計：

(1)設備：把圖(一)，圖(二)的設備組合起來。

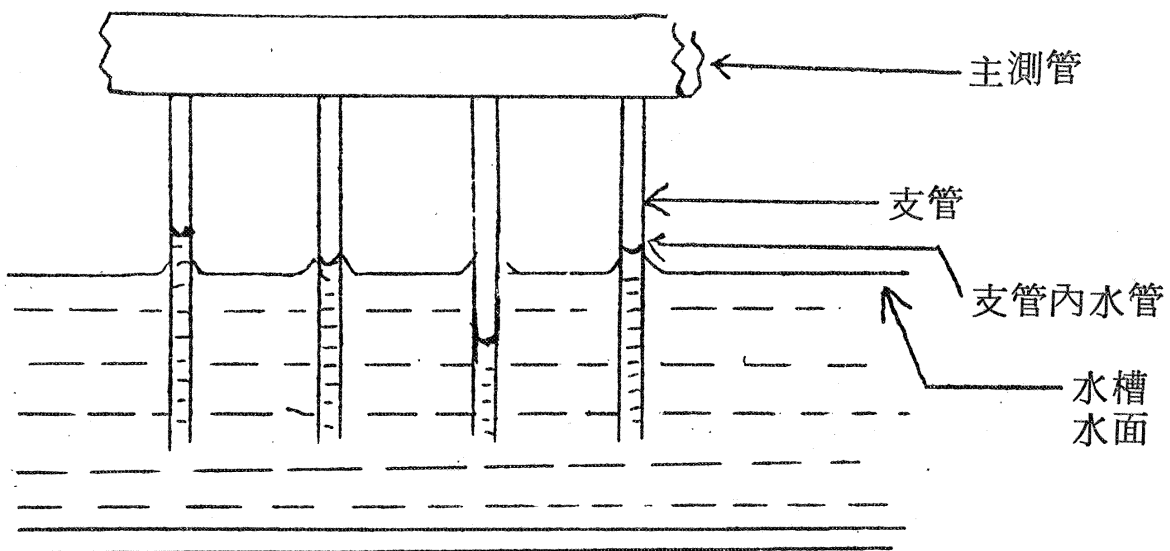
(2)控制變因：反射式主測管②，閉管，內徑 3.73 cm，長58 cm，室溫

(3)改變變因：改變管內的氣體溫度，觀察並記錄支管內外水面的變化，進而計算之。

3.操作手續：按照設計把儀器裝接妥當後，就可開動振盪器，調整頻率，觀察各支管內的水面變化。

4.實驗結果：

(1)支管內水面的變化，如圖(三)



圖(三) 支管內水面變化說明圖

ㄅ、支管內的水面和水槽水面，在不同的頻率下，有三種現象即可能高於，可能低於，可能就在水槽水平面的上下，由此可證聲波可以改變主測管內空氣的壓力，也足以證明在空氣中的聲波，的確是以機械波中的疏密波形態而傳播的。至於為何因頻率不同而使內外水面可能高可能低的現象，則完全是因為電動喇叭振動片的機械諧振的結果。又在某一個頻率下，在固定的管長中，原波與反射波恰能干涉，形成駐波，而使支管內的水面因壓力不同而有高低的現象。

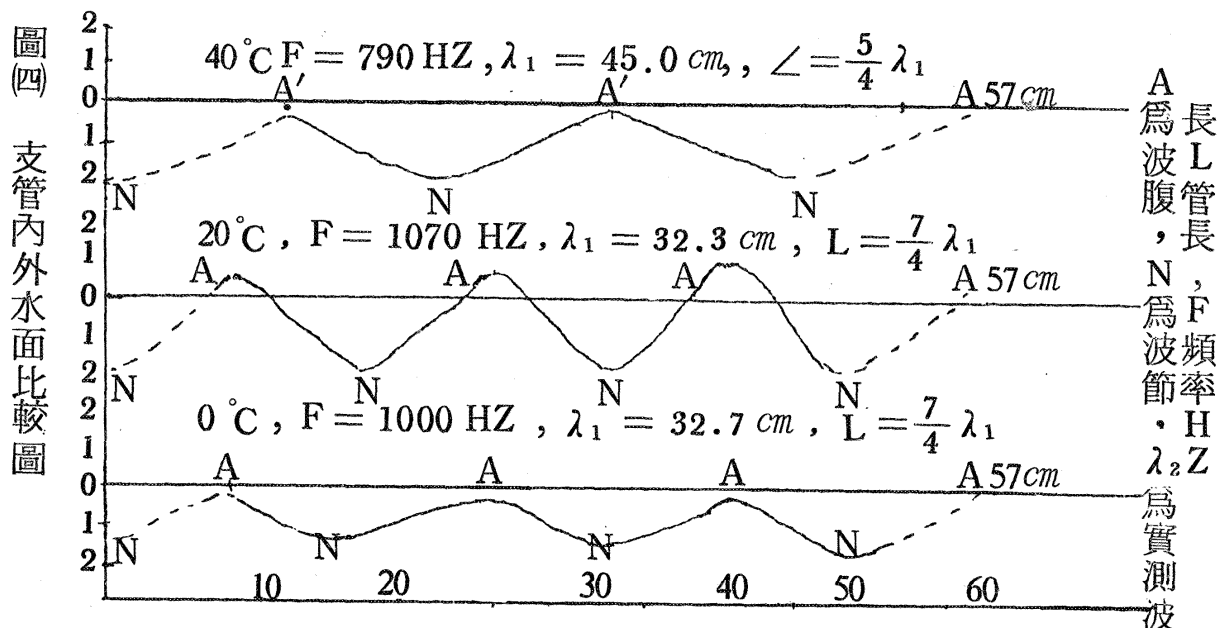
ㄆ、支管內外與水接觸部份，不論內外高低如何？其邊緣都比中心水面高；且當沒有聲波輸入時，支管內外的水面幾乎相同，足證圖(ㄅ)的現象是由聲波所引起，而非毛細現象。

ㄏ、如果換用有色水代無色水，就會減少支管內外的水面高低差，但在單純的毛細管實驗中，其高低差並無顯著的改變。再說聲波在分散的情形下，能量變小，有色水的比重雖然只改變了少許，分散的能量却無力表現出來。再者有色水會阻擋視線，不易看清支管水面下降時的情形，所以仍以無色的水來實驗比較好。

(2)支管內水面的比較，如圖(四)

5.討論：

(1)從我們的課本和參考書的有關原理公式：

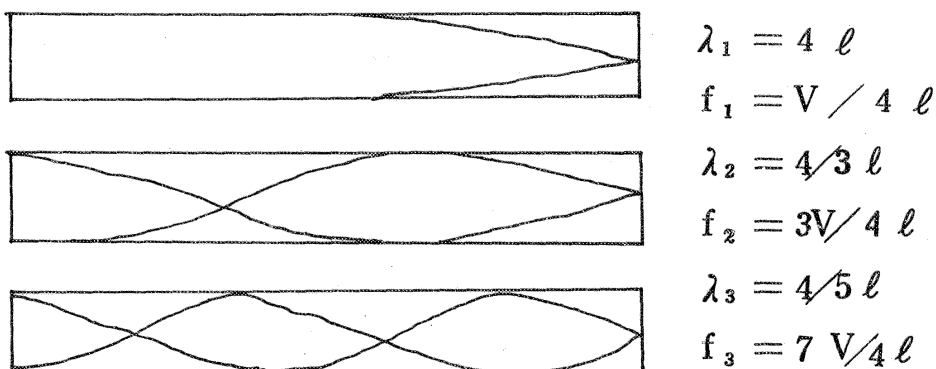


4、波速

$$V_1 (cm/sec) = (33.13 \pm 0.6^\circ C) \times 100 \dots \text{式一}$$

$$V_2 (cm/sec) = f (\text{次/sec}) \times \lambda (cm/\text{次}) \dots \text{式二}$$

5、閉管中的聲波如圖(五)駐波原理。



圖(五) 閉管中的聲波情形

6、因為閉管端為反射，沒有振動，所以為 N，聲源端為振動端，所以為 A。所以可以得到一通式：

$$\lambda = \frac{4\ell}{X}, f = \frac{XV}{4\ell} \quad (X \text{ 為奇數})$$

更簡單地說，凡相鄰兩波節 N，或相鄰兩波腹 A 的距離的 2 倍，就等於一個波長 λ ，圖(四)的實驗結果完全符合課本的原理。

(2)從圖(四)封閉端(左側)皆為節點，且都在波谷，為何駐波的波谷是節點呢？這個問題，可以用白努利原理來解釋。因為實際上空氣分子的振動速率，當原來聲波的密部(或疏部)與反射波的密部(或疏部)重疊時，空氣分子是處於同相的加強運動，在相同的時間內，所運動的距離較大，速率較快，則壓力較小，所以形成駐波的波峰現象，也就是腹點 A 的來源。而當原聲波的密部(或疏部)與反射波的疏部(或密部)重疊時，空氣分子是處於兩個反相運動下，以致相互抵消而停止振動，速率也就最小，則壓力相對變大，形成駐波中的波谷現象。

(3)波長與管長 L 的關係，如表(一)

溫度 °C	實驗頻率 HZ	實測波長 λ_1 cm	理論波長 λ_2 cm	λ_1 和 L 的關係
40	790	45.0	44.9	$L = \frac{5}{4} \lambda_1 = 56.3$
20	1070	32.3	32.1	$L = \frac{7}{4} \lambda_1 = 56.5$
0	1000	32.7	33.1	$L = \frac{7}{4} \lambda_1 = 57.2$

表(一)實測波長 λ_1 和管長 L 的關係

就表(一)中的 L 而言，與實際管長 57cm 都有少量的誤差，此誤差的原因可能是：

ㄅ、喇叭振動膜在振動時的確實位置無法測定，影響管長 L 的認定。

ㄆ、支管的間隔為 1.5 cm，所以對波長 λ_1 的認定，都是有估計成份存在的。

(二)實驗二：

1. 實驗目的：觀察內徑相同長度不同的管內駐波情形（以下從略）。

(三)實驗三：

1. 實驗目的：觀察長度很接近內徑不同的管內駐波情形（以下從略）。

(四)實驗四：

1. 實驗目的：利用本儀器測量氣體的分子量。

2. 實驗設計：

- (1) 測量 CO_2 和二氟二氯甲烷 (CCL_2F_2) 的分子量。因為氮、氧的分子量與空氣的平均分子量很接近，不易作比較。但 CO_2 和二氟二氯甲烷都無毒，不助燃，不可燃，無臭，無味，是一種很好的實驗樣品。

- (2) 利用參考資料所示， $V = \sqrt{r \frac{P}{d}}$ (V 波速， $r = \frac{C_p}{C_v}$ ，P = 壓力，d = 密度) 則 $V^2 = r \frac{P}{d}$ 。

今設空氣為 V_1, r_1, d_1, p_1 ，而二氟二氯甲烷為 V_2, r_2, d_2 ，

P_2 查閱參考資料 $r_1=1.40$, $r_2=1.13$ 。 $P_1=P_2$, 因為支管內的水柱高度相差很少。

$$d_1 = \frac{\text{空氣平均分子量}}{22.4} \qquad d_2 = \frac{\text{二氟二氯甲烷的分子量}}{22.4}$$

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{r_1 \frac{P_1}{d_1}}{r_2 \frac{P_2}{d_2}}$$

化簡之，

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{r_1 \times M_2}{r_2 \times M_1} = \frac{1.4 M_2}{1.13 M_1}$$

$$\therefore M_2 = \frac{1.13 \times M_1 \times V_1^2}{1.4 V_2^2} \dots\dots\dots \text{式四}$$

(3)控制變因：管內徑 $R = 3.73 \text{ cm}$, 管長 = 57 cm , 溫度相近。

(4)改變變因：分別測驗空氣、 CO_2 , 及二氟二氯甲烷。

(5)主測管兩端側面加裝氣體進出口，以便更換管內的氣體。

3.操作手續：

(1)先按實驗(一)的手續，測定聲波在空氣中的聲速 V_1 。

(2)通入二氟二氯甲烷，待全部支管皆有氣泡冒出時，就表示換氣完成，即可進行實驗。

4.實驗結果與討論：

(1)主測管內駐波的波形與圖(一)相似，記錄有關數值如表(二)

氣體名稱	頻率 HZ	溫度 °C	實驗波長 λ_1 cm	實驗速度 m/sec	$r = \frac{C_P}{C_V}$
空(一)氣	840	25	41.6	349.44	1.40
二氧化碳	1270	25	21.2	269.24	1.285
空(二)氣	1080	20.5	32.2	347.76	1.40
二氟二氯 甲烷	480	21.5	32.0	153.60	1.13

表(二)不同氣體的駐波分析表 (內徑 3.73 cm , 長 57 cm)

(2)由表(二)及式(四) (二氟二氯甲烷的分子量 M_2) 空氣分子 M_1 大約等於

$$32 \times 1/5 + 28 \times 4/5 = 28.8$$

且不會在室溫與壓力下有很大的差異。

$$\therefore M_2 = \frac{1.13 \times 28.8 \times 347.76^2}{1.4 \times 153.6^2} = 119.157$$

二氟二氯甲烷的化學式 CCl_2F_2 ，所以理論分子量為 $12 + 2 \times 35.5 + 2 \times 19 = 121$ 所以本實驗是很準確的。

同理 CO_2 的分子量實驗值為 44.528 也很準確。

(3)不同的氣體以接近的溫度，由同一個放大器喇叭推動，則其動能的差異很少，其所推算的分子量應屬準確。

(4)不同的氣體在同溫同壓下進行實驗，則其推算之結果亦較準確。

五、結 論

(一)聲音在空氣中確實是疏密波，可由本實驗的駐波情形看見聲波疏密的情形。

(二)由本實驗可以看見聲波的波長以及反射、干涉等波動的性質。

(三)本實驗可以證明聲波的速度確與溫度有關，且證明 $V = 331.3 \pm 0.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 為正確。

(四)利用本實驗可以大約求得較大氣體的分子量。

六、參考資料

書 名	編 著 者	出 版 者	章 節	頁 數
國中理化第二冊	國立編譯館	國立編譯館	10.11.12.14章	
國中理化第三冊	國立編譯館	國立編譯館	17 章	
熱 工 學	正中書局	正中書局	3~10	P55
大 學 物 理	張 桐 生	中華書局	第19~23章	P316 ~407
專科物理實驗	陳 世 棋	大行出版社	實驗 22.23.	P136 ~146

評 語

本件作品為去年研究作品的延伸，對基本解釋有改進，具澄清作用，其中尤以引進伯努力定律部份使得實驗現象獲得更具體明確的解釋。