

看聲波的新方法及其研究

國中組物理科第一名

高雄縣立阿蓮國民中學

作者：張剛鳴·廖正吉
陳順發

指導教師：趙元賓·李暄

一、研究動機

在學校裡做聲波實驗的時候，只聽見聲音，而看不見聲波，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得我們容易瞭解聲波。

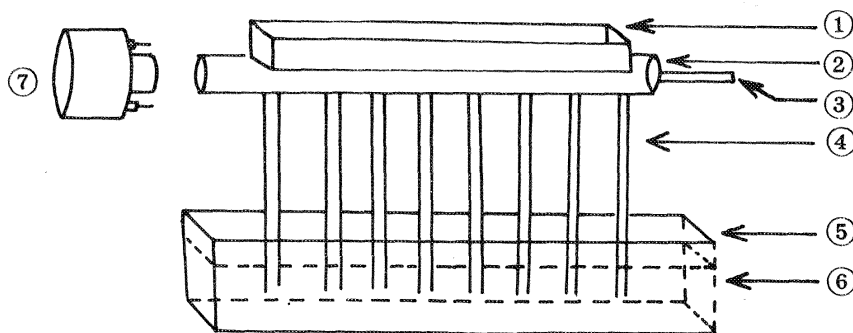
二、研究目的

- (一)能看見聲波，測量波長，決定聲波的速度，證明聲波仍有反射及干涉現象。
- (二)從波長的差異，推定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、儀器設計及理由

(一)反射式主測管：

1.構造：如圖(一)(全部標號統一)



圖(一)主測管構造圖

2.說明：

(1)熱水槽：壓克力製，與主測管②膠粘成一體，內可裝入不同溫度的水。

(2)主測管：一般PVC水管製，內直徑分別為3.73 cm，2.73 cm，2.15 cm，1.5 cm等四組，長度分別為80 cm，90 cm，100 cm，120 cm等四組。下側每隔1 cm（或2 cm）膠粘支管④。左側接電動喇叭，右側以橡皮塞封閉，橡皮塞之中心裝溫度計③。

(3)溫度：110 °C ~ - 10 °C，測定主測管內之空氣溫度。

(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120 cm，寬10 cm，高10 cm

(6)水：以透明為佳。

(7)電動喇叭：16 Ω，35 W（或16 Ω，60 W）。

(二)電路：

1.電路方塊示意圖：如圖(二)(略)

2.說明：

(8)振盪器：其頻率可從0 ~ 200 KHZ 內中自20 ~ 3500 HZ 部份，即為可聽見的聲頻，可發生正弦波及方形波。可惜頻率的刻度不夠精密。

(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傳來的聲波的情形。

(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。

(三)改裝喇叭：(略)

(四)干涉式主測管：

1.構造(略)

2.說明(略)

四、實驗過程

(一)實驗一：

1. 實驗的目：用我們設計的反射式主測管②，是否可以看見聲波？如果可以，實驗結果的波速、頻率、波長的關係是否與理論相符合。

2. 實驗設計：

(1) 設備：把圖(一)、圖(二)的設備組合起來。

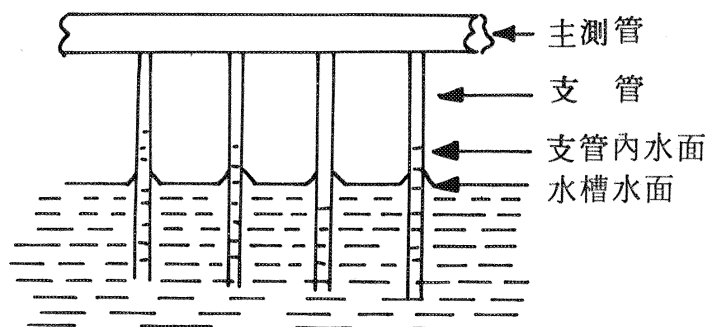
(2) 控制變因：反射式主測管②，閉管，內徑 2.15 cm 長度 125 cm。室溫。

(3) 改變變因：用不同的聲波頻率輸入，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. 實驗結果及討論：

(1) 支管內外水面的變化，如圖(三)



圖(三) 支管內水面變化說明圖

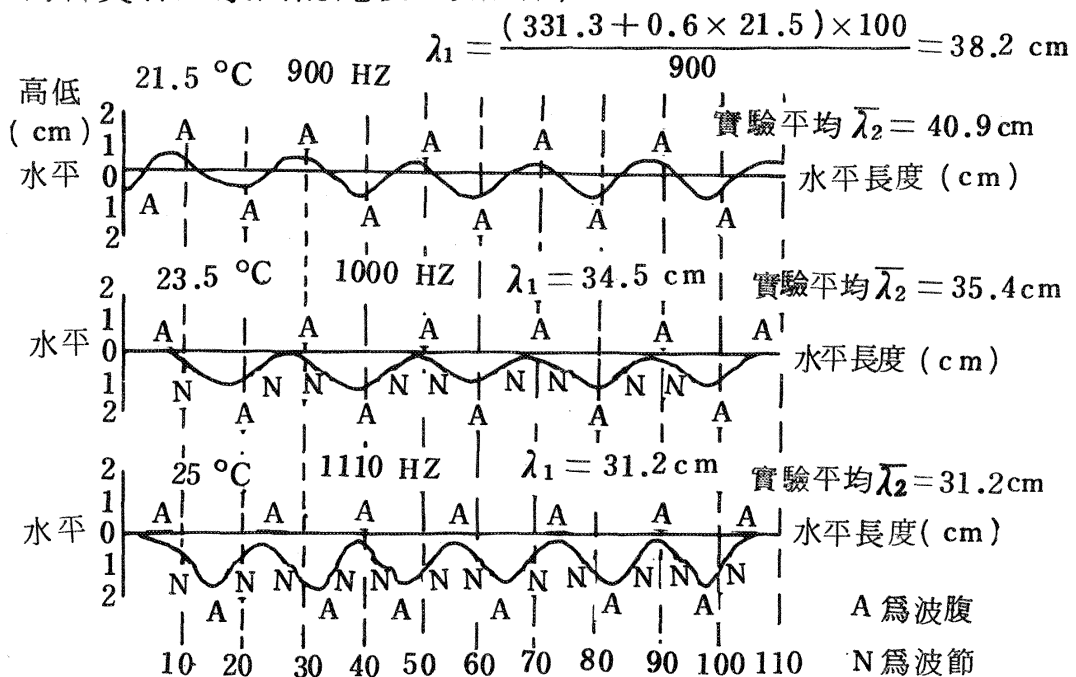
① 支管內的水面與水槽水面，在不同的頻率下，有三種現象，即可能高於，可能低於，可能就在水槽水平面的上下，由此可證聲波可以改變主測管內空氣的壓力，也足以證明在空氣中的聲波，的確是以機械波中的疏密波形態而傳播的。至於為何因頻率不同而使內外水面可能高可能低的現象，則完全是因為電動喇叭振動片的機械諧振的結果；在不同的頻率下，振動片的機械諧振形成駐波，而使其停留在某一位置所致。

② 支管內與水接觸部份，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(三)的現象是由聲波所引起，而不是毛細現象。

③如果換用有色水代替無色的水，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。可見聲波在分散情形下，能量變小，有色水的比重雖然只改變了少許，分散的聲波能量卻無力表現出來。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)各支管內水面的比較，如圖(四)



圖(四) 各支管內水面高度比較圖 (主管內徑 2.15cm, 長 125cm)

①從我們的課本和參考書的有關原理公式：

(A)聲波的波速 V

$$\text{波速 } V_1 \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right) = (331.3 \pm 0.6 \times C^\circ) \times 100 \dots\dots\dots (\text{式 1})$$

$$\text{波速 } V_2 \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right) = \text{頻率 } f \left(\frac{\text{次}}{\text{sec}} \right) \times \text{波長 } \lambda \left(\frac{\text{cm}}{\text{次}} \right) \dots\dots\dots (\text{式 2})$$

(B)閉管中的聲波情形如圖(五)駐波原理

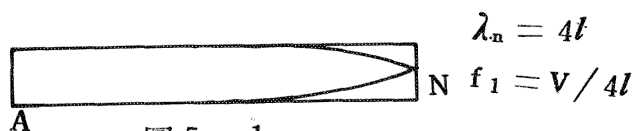
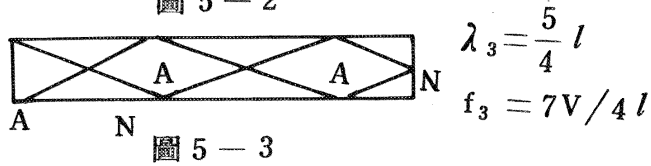
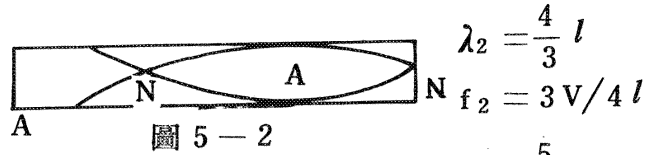


圖 5 - 1



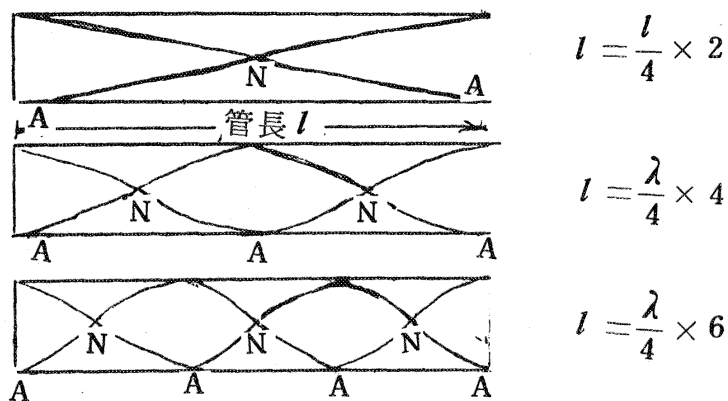
(C)因爲閉管端爲反射，沒有振動，所以爲N，聲源端爲振動端，所以爲A。所以可以得到一通式 $\lambda = \frac{4l}{x}$ ， $f = \frac{xV}{4l}$ （x 爲奇數），更簡單的說，凡相鄰兩波節N，或相鄰兩波腹A的距離的2倍，就等於1個波長 λ 。但依據圖(四)的實驗結果，發現(2)圖(四)兩端的振幅不顯著，這是因爲原波經過反射波，再反射波…的干涉，擾亂兩端的疏密關係，所以要測量波長，必須以中間的波峰波谷（本實驗已把聲波的疏密情形用水面的高低情形表示出來），即波腹A的距離作爲計算依據。但波腹A有兩種，由密部與密部干涉時，因爲壓力大，支管中的水面向下，形成波谷，反之形成波峰，所以不論波谷或波峰，都可稱爲波腹A。再者如果是密部與疏部干涉，互相抵消形成波節N。

②依據圖(四)及以上討論，可分析實驗結果如表(一)

頻率 (HZ)	溫度 (°C)	(理論值)	$\bar{\lambda}_2$ 實驗值 =2×波峰距 =2×波谷距	波長比較 $\bar{\lambda}_2 - \bar{\lambda}_1$ (cm)	$l = \frac{\bar{\lambda}_2 x}{4}$ (x 爲正 整數)
		$\frac{(331.3 + 0.6t) \times 100}{f}$ (cm)			
900	21.5°C	38.2	40.9	2.7	x = 12 122.7
1000	23.5°C	34.5	35.4	0.9	x = 14 123.9
1110	25 °C	31.2	31.2	0	x = 16 124.8

表(一) 內徑 2.15cm，長 125cm，主測管駐波分析表

- (A)從表(一)，當 $f = 1110 \text{ HZ}$ 時，實驗值 $\lambda_2 =$ 理論值 λ_1 ，且 $l = 124.8 \approx 125$ ，所以本作品在實驗時頻率愈高愈準確。
- (B)但 $\lambda_2 = 2 \times$ 波峰距平均值 $= 2 \times$ 波谷距平均值，且波峰或波谷都是腹點，於是在一個波長內就有四個腹點 A 和四個節點 N，此現象與圖(五)的理論不符，究其原因是因為入射波和反射波同時在相同的介質中，其速率相等而方向相反，所以其相對速度為原速度的 2 倍，以致在一個波長中，會出現二次密部干涉，也有二次疏部干涉，也就是在一個波長中有 4 個波腹 A；同理有 4 個節點 N。這是本研究的新發現與事實。
- (C)又 $\frac{\lambda_2}{4} \times x$ ，且 x 為偶數時很接近管長 l ，此現象也和(五)的理論不符，究其原因是因為聲波是疏密波，當密部到達反射端被反射時，示必以密部的形式把能量反射回去，而反射面卻沒有振動的必要，換言之 l 的長度必為半波的整數倍，也就是 $\frac{\lambda_2}{4} \times$ 偶數時，即表(一)中的 12，14，16。這個事實，我們可以用圖(六)來解釋此現象與開管駐波相似。



圖(六) 主測管中入射波與反射波密部(或疏部)干涉的現象

(二)實驗二：

1. 實驗目的：用我們所設計的干涉式主測管⑱，觀察聲波的干涉現象。
2. 實驗討論：兩次實驗的 bac 雖然分別等於 1λ 和 $\frac{\lambda}{2}$ 但其餘的弧都無法解釋，這是因為主測管為圓形管，在順時針方向前進的

波中，有原入射波，也有經過一圈、二圈、三圈……的波，同時在逆時針方向上也有很多波在前進，於是形成很複雜的干涉現象，實非理想儀器，故放棄研究。

(三)實驗三：

1. 實驗目的：觀察內徑相等長度不等的主測管內聲波的駐波情形
2. 實驗設計：
 - (1)控制變因：主測管的內徑都是 2.15 cm。
 - (2)改變變因：管長分別為 78 cm、106 cm、125 cm。
3. 實驗討論：
 - (1)實驗波長 $\bar{\lambda}_2$ 很接近理論波長 $\bar{\lambda}_1$ ，可見在一定頻率下管長的不同並不影響波長。
 - (2)逆算管長 $l = \bar{\lambda}_2 / 4 \times x$ (x 為正整數)，仍然成立，且仍然是偶數 10、14、16。可證圖(六)是準確的。

(四)實驗四：

1. 實驗目的：觀察長度很接近內徑不同的管內駐波的情形。
2. 實驗設計：
 - (1)控制變因：主測管長度很接近，81 cm 兩支，78 cm 1 支。
 - (2)改變變因： $r = 1.5$ cm、2.15 cm、3.73 cm。
3. 實驗討論：(略)

(五)實驗五：

1. 實驗目的：測量聲波在不同的溫度下的波速。
2. 實驗設計：
 - (1)控制變因：主測管內徑 2.15 cm 管長 78 cm。
 - (2)改變變因：改變主測管內的空氣溫度。
3. 操作手續：(略)
4. 實驗結果與討論：

由表(二)當溫度變化差距 $\Delta^\circ\text{C}$ 相等時，其頻率變化之差距 Δf 也相等，且波長的變化差距 $\Delta \lambda$ 也相等，如果用 $\frac{\Delta f \times \Delta \lambda_2}{\Delta c}$ 則等於 0.6 此與公式 $V = 331.3 \pm 0.6 \times ^\circ\text{C}$ 中的 0.6 相符合，表示本實驗已相當準確。

溫度 °C	頻 率 (HZ)	實驗波長 = 2 × 波峰谷 = 2 × 波谷距	實驗波速 = $f \lambda_2 \div 100$	理論波速 = $331.3 + 0.6 \times ^\circ\text{C}$	理論波長 = $\frac{V_1}{f} \times 100$
21°C	750	45.3 cm	339.75 m/ sec	343.90 m/ sec	45.85 cm
31°C	770	45.0 cm	346.50 m/ sec	349.90 m/ sec	45.44 cm
41°C	790	44.7 cm	353.13 m/ sec	355.90 m/ sec	45.01 cm

表(二) 不同溫度時管內駐波現象分析表

(六)實驗六：

1. 實驗目的：利用本實驗儀器測量氣體的分子量。

2. 實驗設計：

(1) 測量二氟二氯甲烷的分子量。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。且二氟二氯甲烷無毒，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, P_1, d_1 而二氟二氯甲烷為 V_2, r_2, P_2, d_2 。查閱參考資料 $r_1 = 1.40$ ， $r_2 = 1.13$ 。 $P_1 = P_2$ ，因為支管中的水柱高度相差很少。 $d_1 = \frac{M_1}{22.4}$ ， $d_2 = \frac{M_2}{22.4}$

$$\therefore \frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{r_1 \frac{P_1}{d_1}}{r_2 \frac{P_2}{d_2}} \text{化簡之} \frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{r_1 \times M_2}{r_2 \times M_1} = \frac{1.4 M_2}{1.13 M_1}$$

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

(3) 控制變因：頻率盡量相等，管內徑 $r = 2.15$ cm 管長 106 cm 溫度 15 °C。

(4)改變變因：分別測驗空氣與二氟二氯甲烷。

(5)主測管兩端測面加裝氣體進出口，以便更換管內的氣體。

3.實驗結果與討論：

氣體名稱	頻率 (HZ)	溫度 °C	實驗波長 $\bar{\lambda}$ $\lambda = 2 \times \text{波峰距}$ $= 2 \times \text{波谷距}$	實驗波速 $V = f \times \bar{\lambda}$ $\div 100$	$r = \frac{C_p}{C_v}$
空 氣	1250	15°C	27.0 cm	337.5 m	1.40
二氟二氯甲烷	1300	15°C	11.5 cm	149.5 m	1.15

表(三) 不同氣體的駐波分析表 (內徑 2.15cm, 長 106cm)

(1)由表(三)及式四，(二氟二氯甲烷的分子量 M_2)，空氣分子量 M_1 ，大約等於 $32 \times \frac{1}{5} + 28 \times \frac{4}{5} = 28.8$ ，且不會在室溫與壓力下有很大的差異。

$$\therefore M_2 = \frac{1.13 \times 28.8 \times 337.5^2}{1.4 \times 149.5^2} = 118.5$$

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

(2)不同的氣體以接近頻率，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。

(3)不同的氣體在同溫同壓下之實驗結果亦較準確。

五、結 論

(一)由本實驗的駐波情形可看見聲波在空氣中的疏密情形。

(二)在本實驗可看見聲波的波長，以及反射，干涉等波動的性質。

(三)本實驗可證音速確與溫度有關，且證 $V = 331.6 \pm 0.6 \times ^\circ C$ 為正確。

(四)利用本實驗可大約求得較大氣體的分子量。

評 語

設計生動，考慮周詳完整，思考程序亦頗合理。惜對結果與理論不相符之處，缺乏深入探討。