

數位化空氣波的共振實驗器

一、實驗目的

探討音波傳播進入氣柱共鳴管，在開管或閉管狀態下，產生共振引起共鳴時，利用氣柱共鳴管內保麗龍球的堆積，觀察管內的波腹與波節之成形。

二、實驗原理

利用音波產生器的聲音壓縮空氣產生震盪頻率，若能在共鳴管內引起巨大震盪，此現象為共振。當音波產生器音頻與共鳴管的頻率相同，又共鳴管口為駐波波腹時，便會引起共鳴現象，此時共鳴管末端若是封閉，則為駐波節點，也稱駐波波節。其振盪頻率與波長乘積必須等於在共鳴管中聲速，空氣中的聲速

$$V = f\lambda$$

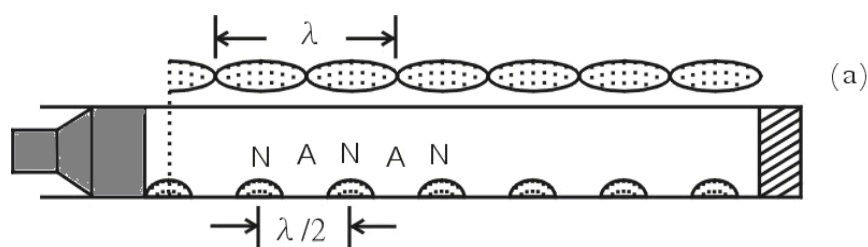
(f 代表聲音頻率， λ 代表聲音波長)

其空氣中的聲速 V 於室內溫度有關

$$V = V_T = 331.4 + 0.6T$$

(V_T (m/s) ， T 代表示內溫度 $^{\circ}\text{C}$)

，而共鳴管內的保麗龍球，會因空氣的壓縮疏密反應出駐波的特性，使得駐波的波長可以測量，如圖一所示，(λ 為波長、 N 代表駐波波腹、 A 代表駐波波節)。



圖(一)

聲波在空氣中傳播行進時，空氣之位移與壓力之變化情形，就如用活塞在管中規律左右來回移動，可以形成空氣的疏密波及壓力的壓縮膨脹變化，其運動狀態和聲波沿著管子行進相同。從波動學可知，在某一瞬間 t 時(假設 $t=0$)，空氣位移方程式

$$S_{(x)} = S_m \cos(kx)$$

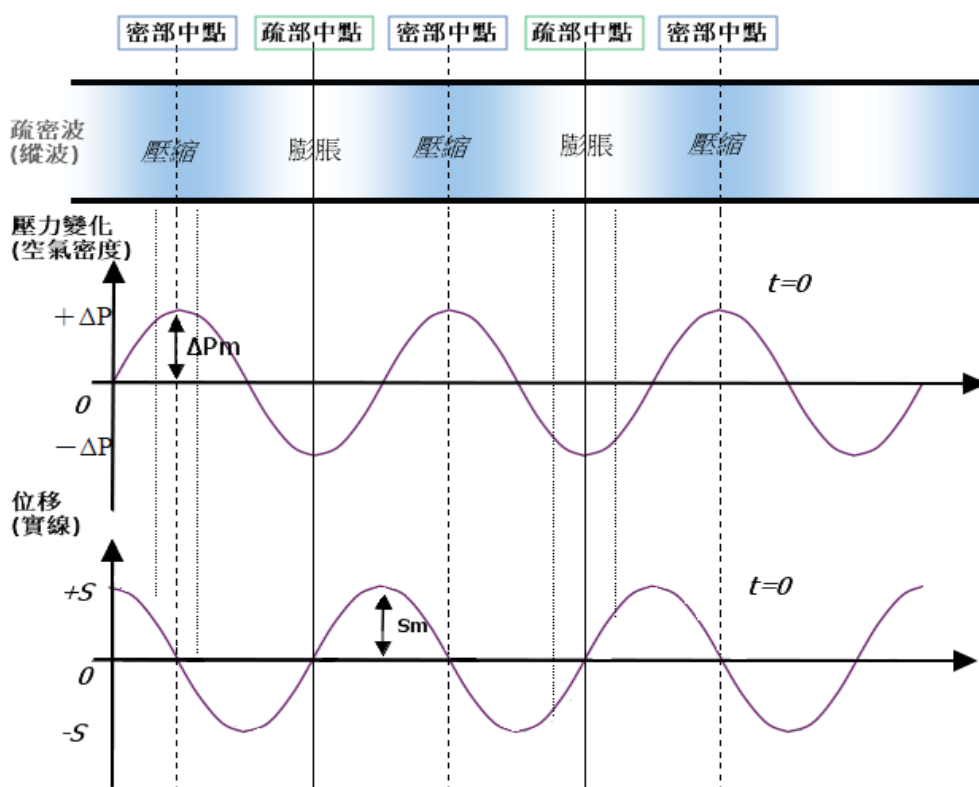
(S_m 代表位移振幅， k 代表角波數。)

，及空氣壓力變化方程式

$$\Delta P_{(x)} = \Delta P_m \sin(kx)$$

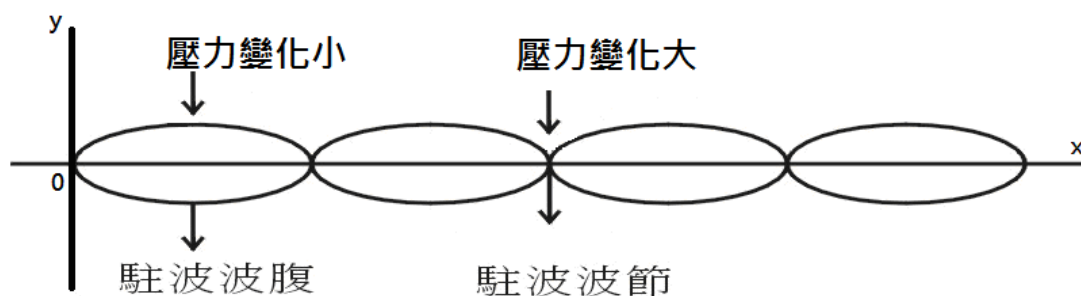
(ΔP_m 壓力振幅。)

，由上兩式得知 $S_{(x)}$ 以及 $\Delta P_{(x)}$ 兩波形相位差 $\frac{\pi}{2}$ ，表示位移量在最大時，壓力變化為零；反之，位移量為零時，壓力變化最大。兩方程式可表示成如圖(二)，要注意壓力振幅並不等於位移振幅。



圖(二)

所以圖(一)中共鳴管的保麗龍球高低可以顯示出，在駐波波腹保麗龍球位置最高，表示壓力變化小，在駐波波節壓力變化最大，則保麗龍球位置為最低。管中的駐波圖形與壓力變化表示如下圖所示

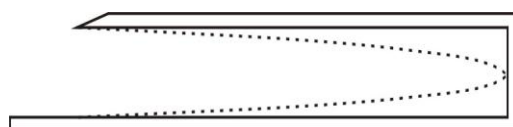


圖(一)之圖(a)細解

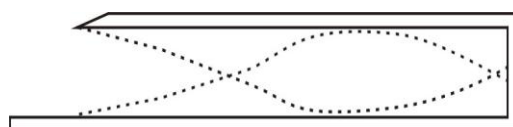
音波在空氣柱中，波長與管長的關係可分開管及閉管，如下圖(b)表示

閉管：

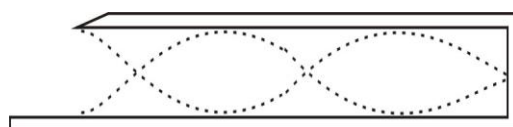
$$\text{管長 } l = \frac{2N-1}{4} \lambda \quad \text{波長 } \lambda = \frac{4}{2N-1} l \quad N = \text{波腹數 (} N=1, 2, 3, \dots \text{)}$$



$$\text{基音 } (l = \frac{1}{4} \lambda)$$



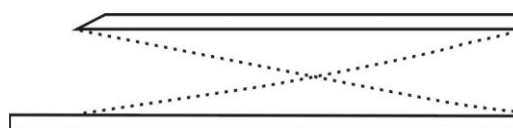
$$\text{第一泛音 } (l = \frac{3}{4} \lambda)$$



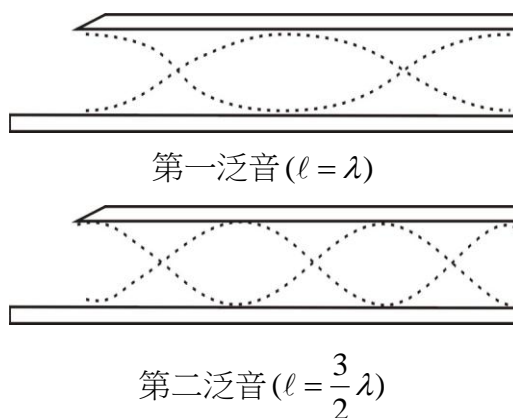
$$\text{第二泛音 } (l = \frac{5}{4} \lambda)$$

開管：

$$\text{管長 : } l = \frac{N}{2} \lambda \quad \text{波長 : } \lambda = \frac{2}{N} l \quad N = \text{波腹數 (} N=1, 2, 3, \dots \text{)}$$



$$\text{基音 } (l = \frac{1}{2} \lambda)$$









圖(b)

聲波在共鳴管中傳播，會發生聲波的反射，無論管子的末端是打開的或是封閉的。當共鳴管中駐波形成時，管末端若是封閉的，一定存在駐波波節；管末端若是打開的，因為空氣自由振動，則為駐波波腹。

三、實驗儀器

實驗儀器列表					
編號	名稱	數量	編號	名稱	數量
1	音波產生器	1	2	數位音頻擷取控制器	1
3	氣柱共鳴管	1	4	共鳴管尾端固定具	1
5	保麗龍球	1	6	連接導線	1

實驗儀器列表對照圖				
				
1	2	3	4	5
				
6				

四、實驗方法

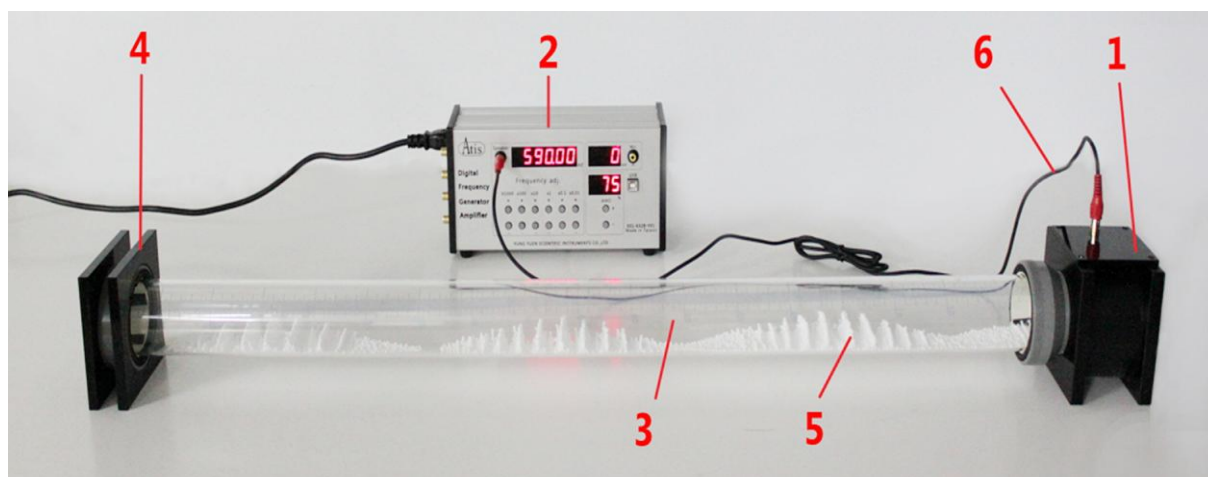


圖 1 實驗組裝對照實驗儀器列表

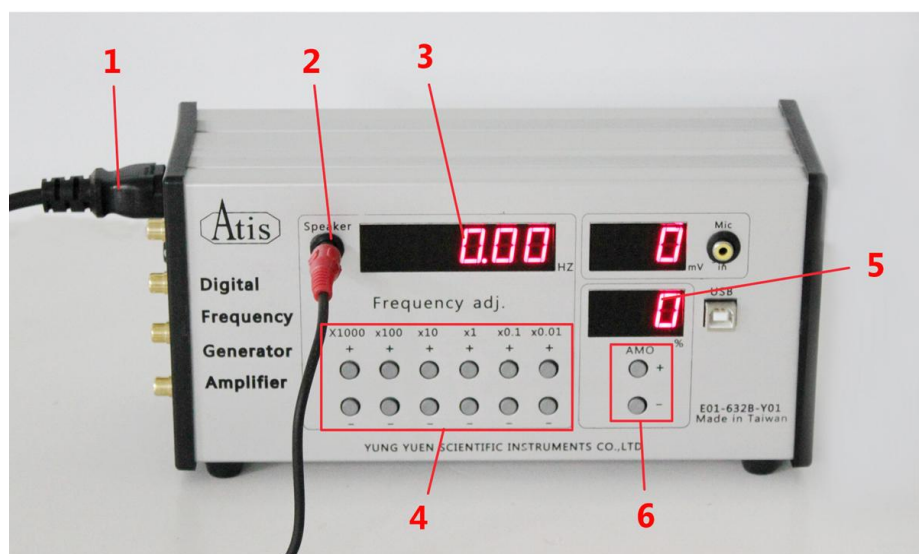


圖 2 對照頻率實驗數據擷取器列表

數位音頻擷取控制器列表			
編號	名稱	編號	名稱
1	電源端	2	音波連接孔
3	頻率顯示器	4	頻率調整按鈕列(十進位)
5	振幅顯示器	6	振幅調整鈕

1. 實驗儀器裝置如圖 1 所示，將音波產生器和氣柱共鳴管接合，並取適量保麗龍球倒入氣柱共鳴管，在開始實驗前先將搖曳平均分散，並裝上共鳴管尾端固定具，再將音波產生器以 AV 導線連接。
注意：把氣柱共鳴管上的刻度朝上。
2. 音波產生器接上電源後，根據圖 2 所標示，振幅高度調至約 40%~50%(再依觀察需求做調整)，再把頻率依序加大；則共鳴管內保麗龍球會產生如圖 1 中的共振駐波。
3. 持續加大頻率，依序找出、第一泛音、第二泛音...等的駐波數，觀察出波數並在紀錄表(一)紀錄下頻率及平均量測半波長。
4. 依氣柱共鳴管上的刻度，保麗龍球堆中以最高峰為中心讀計出平均值。
讀數方法範例：若取十二個讀數，則取第七與第一讀數之差(R_7-R_1)，第八與第二讀數之差(R_8-R_2)，依此類推，直至第十二與第六讀數之差($R_{12}-R_6$)，其平均值即為六堆保麗龍球堆間距離的平均值。將此值除以六，即為兩連續保麗龍球堆間的距離，亦即等於平均量測半波長($\lambda/2$)。
5. 將氣柱共鳴管尾端改為網狀邊蓋，重覆實驗。

五、注意安全

1. 實驗時請注意玻璃管和喇叭間是否密合，若沒有密合會導致聲波外漏導致實驗效果不佳。
2. 可適度增減管內保麗龍球數量，找出波形最佳的狀態。
3. 音波產生器請勿長時間播放，以免造成耳膜不適。

六、實驗數據

紀錄表(一) 共鳴管尾端封開管					
室溫_____ (°C)					
室溫下聲速_____ (m/s)					
第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					
第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					
第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					

紀錄表(二) 共鳴管尾端封閉管

室溫_____ (°C)

室溫下聲速_____ (m/s)

第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					
第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					
第____泛音 量測次數	實驗頻率	波數	平均量測 波長	計算波速	實驗誤差
1					
2					
3					
4					
5					
平均值					

七、問題討論

1. 請簡易解釋波速、頻率以及波長關係。
 2. 觀察第一泛音、第二泛音聲波圖形與實驗圖形是否有相同處，為什麼？
 3. 請簡易描述，實驗中氣柱共鳴管內波堆中，為什麼還有其他的波峰波谷。
-