

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第三名

040109

開洞駐波的探討

學校名稱：國立花蓮高級中學

作者： 高二 嚴光晨 高二 房曄宸 高二 吳明軒 高二 何佳霖	指導老師： 陳耿維
---	--------------

關鍵詞：駐波 空氣柱 共鳴點

摘要

關於管子鑽洞，目前的理論是：鑽洞後即可將洞的位置視為波腹。但是經過我們的實驗，我們認為這樣的理論有點並不正確。我們發現駐波共鳴點位置的變化量跟洞的位置、洞的大小、洞與管口的面積比值皆有關連，且已加深探討了開啓複數個洞、使用不同頻率時的情形。

壹、 研究動機

我們在專題研究課時上到了在管子內形成駐波的理論，有位同學發出了疑問，如果像直笛一般在管子上鑽洞會對駐波造成什麼樣的影響？而老師跟我們解釋，直笛是利用開洞來控制管子的長短來改變駐波的波長，當放開笛孔時，空氣柱就會被截斷，視同為管子變短，形成的駐波波長也就跟著變短，於是聲音變高。在後來我們查的資料中，理論也似乎是如此。但是我們忍不住好奇，洞的大小會不會有關呢？洞的位置呢？同時開多個洞呢？而此時，我們正好看到了物理課本中的實驗，發現可以利用水位來改變空氣柱的長短，來測量音叉的頻率，正好可以應用到我們的實驗之上。於是我們就以此實驗為基礎嘗試找出當空氣柱開洞時相關的物理性質。

貳、 研究目的

- 一、改良高中物理的實驗方式，使之能更準確的找出共鳴點的位置。
- 二、研究孔洞位置改變對共鳴點位置的影響。
- 三、研究孔洞的大小對共鳴點位置的影響。
- 四、研究空氣柱的管徑大小與孔洞大小的比值對共鳴點位置的關係。
- 五、找出開洞後共鳴點位置變化的數學式。

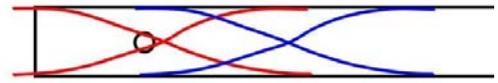
參、 研究器材

項目	器材名稱	數量	項目	器材名稱	數量
1	架子	3 個	10	鑽孔機	1 台
2	鐵夾	5 支	11	皮尺	2 條
3	電腦	1 台	12	音叉	1 個
4	音響	1 個	13	儲水桶	1 個
5	麥克風	1 個	14	管子	2 個
6	橡膠管	1 條	15	水管	3 個
7	Y 型橡膠管	1 條	16	攝影機	1 個
8	膠帶	數段	17	游標尺	1 個
9	凡士林	1 罐	18	熱熔槍	1 個

肆、 研究過程與方法

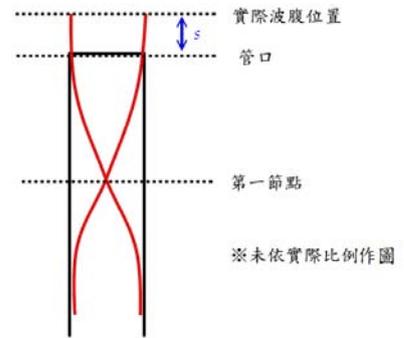
一、 相關資料：

(一) 我們所查詢到的資料中指出，管子一旦開洞，則開洞的位置會變成新的波腹位置，如左圖表示：

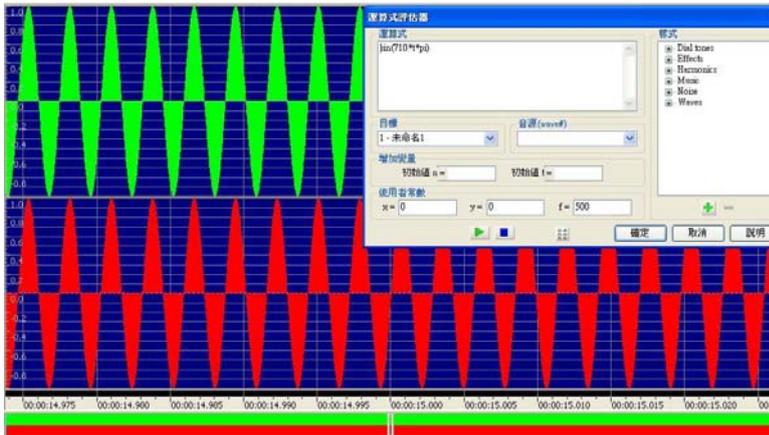


紅色：原先駐波
藍色：開洞後駐波

(二) 邊際效應：目前高中課本都敘述管子的管口就是開放端，也就是波腹的位置，但根據我們在物理馬戲團及一些相關資料中發現並非如此，實際上的波腹在管口更上面一點的地方，而位置相差量已有實驗公式可代， $s = 0.6 * (\text{管半徑})$ ，如左圖：

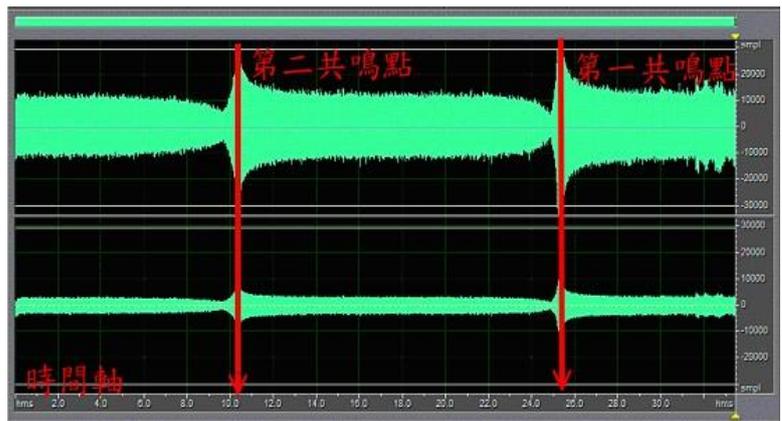


二、 我們的研究方法雛型來自高三物理實驗一，只是我們略做修正與改進，使用電腦軟體發出單頻率的音取代音叉，用麥克風接收聲音，並用軟體尋找音量的最大值，找出共鳴點，以之取代人耳。



使用 GoldWave
寫出 sin 函數的波

使用 CoolEdit
尋找聲音最大值所對應的時間

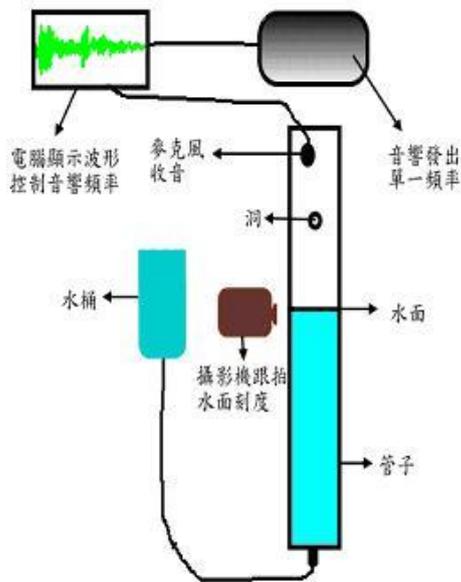




音響發音，而麥克風收音

三、實驗一到六的實驗裝置：

實驗裝置示意圖如下：



實驗裝置示意圖



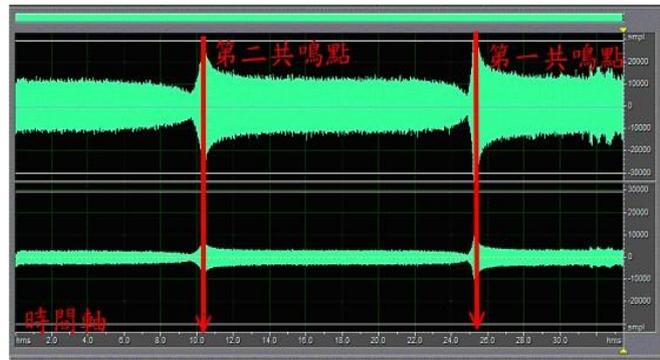
實驗裝置實際圖

我們運用電腦軟體 Gold Wave 發出單一頻率(355Hz，模擬音叉頻率)，由音響發出，在管子上放置一麥克風收音，在 Cool Edit 裡顯示其波形。實驗方式如下：

1. 先讓水面調整到管底。
2. 開始時，讓 Cool Edit 和攝影機同時啓動，移動水桶，利用連通管原理，使水面緩慢上升。
3. 實驗結束時，尋找在 Cool Edit 裡顯示的振幅的最大值所對應的時間，再對照攝影機在該時間的水位（攝影機跟著水面上升，故可直接讀取螢幕裡的皮尺刻度），即為我們實驗的共鳴點。



攝影機攝影水面的刻度



在 CoolEdit 中可找到聲音最大的時間點

四、實驗一：根據我們所查詢到的理論，鑽洞的位置會變成新的波腹（開口端），於是設計了以下實驗來探討是否正確。

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在距管口 2cm 的位置以電鑽，鑽一直徑為 0.5cm 的洞。
3. 運用上述方法量測共鳴點的位置。
4. 將之前鑽的洞封住，每次將洞的位置下移 2 公分，重複上述方法測得數據。
5. 接下來將洞的直徑更換成 0.3cm、0.45cm … 並紀錄結果。

五、實驗二：研究洞的面積對共鳴點位置的影響

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在距管口 12cm 的位置以電鑽，鑽一直徑為 0.5cm 的洞。
3. 運用上述方法量測共鳴點的位置。
4. 將原本的洞鑽大，依電鑽口徑依次鑽 1.0cm、1.5cm、2.5cm，重複上述步驟，並紀錄結果。

六、實驗三：洞的等面積實驗

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在距管口 12cm 的位置以電鑽，鑽一直徑為 0.6cm 的洞。
3. 運用上述方法量測共鳴點的位置。
4. 在距管口 12cm 的位置以電鑽，鑽四個直徑為 0.3cm 的洞，量測共鳴點位置。
5. 將四個 0.3cm 的洞換個相對位置，再測一次共鳴點位置。

七、實驗四：探討兩個洞同時開啓時的情形

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在距管口 10~20 公分處每隔一公分使用電鑽作出直徑為 0.4cm 的洞。
3. 10cm 和 11cm 處的洞開啓，測量共鳴點位置。
4. 將 11cm 處的洞封閉，開啓 12cm 處的洞，測量共鳴點位置。
5. 重複步驟 4，依次開啓 13cm、14cm、15cm...處的洞，量測共鳴點位置。

八、實驗五：探討開三個洞以上時的情形

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在距管口 10、12、15、18、20 公分處用電鑽作出直徑為 0.4cm 的洞並封閉。
3. 先開啓 10、20 公分處的洞，量測共鳴點位置，作為對照組
4. 開啓 10、20、15 公分處的洞，量測共鳴點位置。
5. 換不同的組合方式，重複上述步驟。

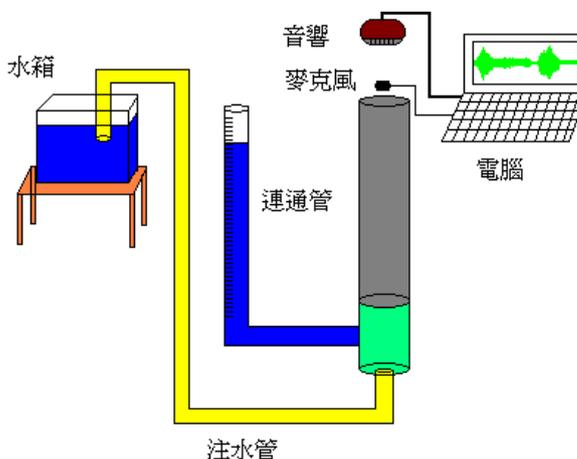
九、實驗六：改變電腦發出的頻率

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 選擇一種頻率先量測未開洞時的共鳴點位置。
3. 在距管口 2cm 處鑽一個直徑為 0.4cm 的洞，量測共鳴點位置。
4. 換另一種頻率的聲音，重複上述步驟。

十、實驗七的實驗裝置

我們想要更進一步探討洞的大小與管口大小的關係，於是使用了粗的水管，但由於水管是灰色的，無法直接讀取刻度，故更改了上述的裝置，參考圖如下：



實驗裝置示意圖



實驗裝置實際圖

我們這次實驗和上次一樣，運用電腦軟體 Gold Wave 模擬出音叉 355Hz 的頻率，由音響發出，在管子上放置一麥克風收音，在 Cool Edit 裡顯示其波形。實驗方式如下：

1. 取一灰色水管。
2. 在水管底部連出一條充滿水的水管(注水管)，前頭堵住，用以注水。
3. 再取一透明軟管(量測管)從水管底下連出，並在上貼上皮尺。(以便觀察水面高度)
4. 實驗開始時，電腦與攝影機同時啟動，同時將放入水箱的水管打通，利用水往低處流和虹吸原理的性質注水。
5. 實驗結束時，尋找在 Cool Edit 裡顯示的振幅的最大值所對應的時間，再對照攝影機在該時間的水位（攝影機跟著水面上升，故可直接讀取螢幕裡的皮尺刻度），即為我們實驗數據的共鳴點。

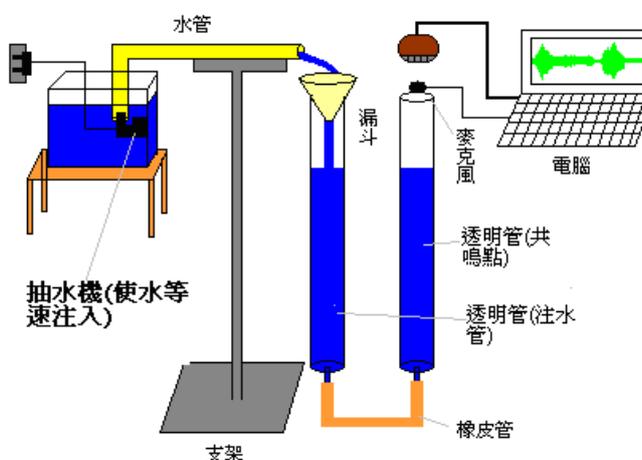
十一、實驗七：用不同的管口做與實驗一相同的實驗

實驗步驟：

1. 取一灰色水管(長 100cm，管口直徑 4.1cm)
2. 在距管口 2cm 的位置以電鑽，鑽一直徑為 0.35cm 的洞。
3. 運用上述方法量測共鳴點的位置。
4. 將之前鑽的洞封住，再鑽一 0.65cm 的洞，重複上述方法測得數據。
5. 每次將洞下移 2cm，重複上述方法測的數據。

十二、實驗八、九的實驗裝置：

我們想要更進一步研究在實驗一中由電腦所顯示的駐波圖形，於是使用抽水馬達使注水速率趨於等速。



實驗裝置示意圖



實驗裝置實際圖

我們這次實驗和上次一樣，運用電腦軟體 Gold Wave 模擬出音叉 355Hz 的頻率，由音響發出，在管子上放置一麥克風收音，在 Cool Edit 裡顯示其波形。

十三、實驗八：運用等速裝置測量洞位置不同時的駐波的音量變化

實驗步驟：

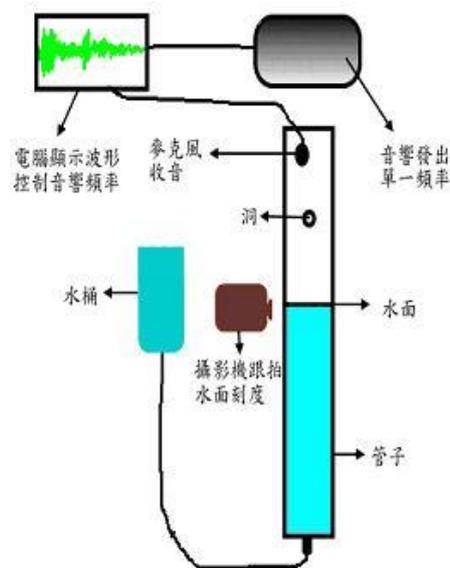
1. 取兩個透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 啓動抽水馬達，一開始注水時便按下電腦錄音鍵開始錄音。
3. 待其水面升至最高即停止錄音，記錄圖形。
4. 由於使用抽水馬達，故錄音的時間長短幾乎不變，且水面上升速度幾乎爲等速。
5. 在距管口 2cm、4cm、6cm…處用電鑽鑽一直徑爲 0.5cm 的洞，重複上述步驟，記錄圖形。

十四：實驗九：運用等速裝置測量洞的大小所造成的音量變化

實驗步驟：

1. 取兩個透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 啓動抽水馬達，一開始注水時便按下電腦錄音鍵開始錄音。
3. 待其水面升至最高即停止錄音，記錄圖形。
4. 由於使用抽水馬達，故錄音的時間長短幾乎不變，且水面上升速度幾乎爲等速。
5. 在距管口 12cm 處用電鑽鑽不同大小的洞，重複上述步驟，記錄圖形。

十三、實驗十的實驗裝置



實驗裝置示意圖

爲了進一步探討麥克風位置的差異，於是我們進一步做了實驗九與十。與實驗一的實驗裝置做比較，差別只是在於麥克風的移動。

十四、實驗十：探討麥克風的位置對測量節點位置的影響

實驗步驟：

1. 取一透明壓克力管(長：100cm、管口直徑：2.58cm)
2. 在管口處放置一麥克風，調整水位測量節點位置。
3. 改變麥克風的位置，每次將麥克風的位置下移 5 公分，重複上述方法測得數據。

伍、研究結果

一、實驗一：

(一)實驗數據：

1.洞直徑=0.5cm

(1) 第一共鳴點位置(單位：cm)

洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均	洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均
0	23.86	23.54	23.58	23.66	20	33.94	33.62	33.66	33.74
2	24.49	24.79	24.73	24.67	22	34.84	34.95	34.79	34.86
4	25.72	25.49	25.77	25.66	24	35.46	35.76	35.7	35.64
6	26.88	26.56	26.6	26.68	26	36.01	36.12	35.96	36.03
8	27.48	27.78	27.72	27.66	28	37.32	37.09	37.37	37.26
10	28.87	28.55	28.59	28.67	30	36.43	36.11	36.15	36.23
12	29.7	29.47	29.75	29.64	32	34.34	34.11	34.39	34.28
14	30.62	30.39	30.67	30.56	34	36.24	36.35	36.19	36.26
16	31.74	31.85	31.69	31.76	36	38.08	38.38	38.32	38.26
18	32.95	32.63	32.67	32.75					

(2) 平均值(單位：cm)

項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$	項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$
0	0	23.66		10	20	33.74	10.08
1	2	24.67	1.01	11	22	34.86	11.2
2	4	25.66	2	12	24	35.64	11.98
3	6	26.68	3.02	13	26	36.03	12.37

4	8	27.66	4	14	28	37.26	13.6
5	10	28.67	5.01	15	30	36.23	12.57
6	12	29.64	5.98	16	32	34.28	10.62
7	14	30.56	6.9	17	34	36.26	12.6
8	16	31.76	8.1	18	36	38.26	14.6
9	18	32.75	9.09				

2.洞直徑=0.45cm

(1) 第一共鳴點位置(單位：cm)

洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均	洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均
0	23.86	23.60	23.52	23.66	16	29.93	29.87	30.08	29.96
2	24.42	24.36	24.57	24.45	18	31.85	31.59	31.51	31.65
4	25.2	25.01	25.21	25.14	20	33.20	33.01	33.21	33.14
6	26.16	25.90	25.82	25.96	22	34.22	34.16	34.37	34.25
8	26.83	26.77	26.98	26.86	24	33.21	33.02	33.22	33.15
10	27.77	27.51	27.43	27.57	26	34.04	33.78	33.7	33.84
12	28.39	28.20	28.4	28.33	28	34.32	34.13	34.33	34.26
14	29.04	28.98	29.19	29.07	30	35.40	35.34	35.55	35.43

(2)平均值(單位：cm)

項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$	項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$
0	0	23.66		8	16	29.96	6.3
1	2	24.45	0.79	9	18	31.65	7.99
2	4	25.14	1.48	10	20	33.14	9.48
3	6	25.96	2.3	11	22	34.25	10.59
4	8	26.86	3.2	12	24	33.15	9.49
5	10	27.57	3.91	13	26	33.84	10.18
6	12	28.33	4.67	14	28	34.26	10.6
7	14	29.07	5.41	15	30	35.43	11.77

3.洞直徑=0.3cm

(1) 第一共鳴點位置(單位：cm)

洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均	洞距管口	第一次	第二次	第三次	平均
0	23.80	23.62	23.56	23.66	16	27.77	27.84	27.61	27.75
2	24.21	24.28	24.05	24.19	18	28.23	28.20	28.35	28.26
4	24.62	24.59	24.74	24.65	20	29.37	29.44	29.21	29.35
6	25.20	25.02	24.96	25.06	22	28.63	28.60	28.75	28.66
8	25.68	25.75	25.52	25.66	24	28.38	28.20	28.14	28.24
10	26.37	26.19	26.13	26.23	26	29.75	29.82	29.59	29.73
12	26.70	26.67	26.82	26.73	28	29.80	29.62	29.56	29.66
14	27.21	27.18	27.33	27.24	30	31.62	31.59	31.74	31.65

(2) 平均值(單位：cm)

項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$	項目 (n)	洞距管口	第一共鳴點位置 (X_{2n})	$X_{2n} - X_0$
0	0	23.66		8	16	27.75	4.09
1	2	24.19	0.53	9	18	28.26	4.6
2	4	24.65	0.99	10	20	29.35	5.69
3	6	25.06	1.4	11	22	28.66	5
4	8	25.66	2	12	24	28.24	4.58
5	10	26.23	2.57	13	26	29.73	6.07
6	12	26.73	3.07	14	28	29.66	6
7	14	27.24	3.58	15	30	31.65	7.99

二、實驗二：

(一) 實驗數據：

1.第一共鳴點位置(單位：cm)

洞直徑	第一次	第二次	第三次	平均
0	23.81	23.63	23.55	23.66
0.5	26.98	26.84	27.03	26.95
1	30.66	30.52	30.71	30.63
1.5	32.59	32.41	32.33	32.44
2	34.53	34.71	34.74	34.66
2.5	35.29	35.11	35.03	35.14

2.第二共鳴點位置(單位：cm)

洞直徑	第一次	第二次	第三次	平均
0	73.47	73.42	73.31	73.40
0.5	76.74	76.57	76.70	76.67
1	80.46	80.41	80.30	80.39
1.5	81.93	81.79	81.81	81.91
2	83.97	83.92	83.81	83.90
2.5	84.66	84.49	84.62	84.59

3.平均值(單位：cm)

洞直徑	洞面積	洞徑/管徑	洞面積/管面積	第一共鳴點位置	共鳴點位置變化量(1)	第二共鳴點位置	共鳴點位置變化量(2)
0	0	0	0	23.66		73.4	
0.5	0.196	0.185185	0.034233	26.95	3.29	76.67	3.27
1	0.785	0.37037	0.137105	30.63	6.97	80.39	6.99
1.5	1.77	0.555556	0.309141	32.44	8.78	81.91	8.51
2	3.142	0.740741	0.548768	34.66	11	83.9	10.5
2.5	4.906	0.925926	0.856861	35.14	11.48	84.59	11.19

三、實驗三：

(一) 實驗數據

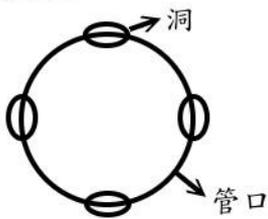
1. 第一共鳴點位置(單位：cm)

鑽洞方式	第一次	第二次	第三次	平均值
無洞	23.66	23.85	23.47	23.66
4個0.3cm的洞 (排列方式1)	29.74	29.68	29.55	29.66
4個0.3cm的洞 (排列方式2)	29.80	29.66	29.65	29.70
4個0.3cm的洞 (排列方式3)	29.58	29.77	29.70	29.68
1個0.6cm的洞	28.46	28.48	28.67	28.54

2.平均值(單位：cm)

鑽洞方式	第一共鳴點位置
無洞	23.66
4個0.3cm的洞 (排列方式1)	29.66
4個0.3cm的洞 (排列方式2)	29.70
4個0.3cm的洞 (排列方式3)	29.68
1個0.6cm的洞	28.54

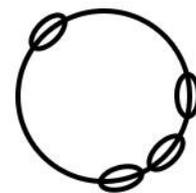
排列方式1



排列方式2



排列方式3



四、實驗四：

(一) 實驗數據：

1. 第一共鳴點位置：(單位：cm)

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	23.52	23.61	23.85	23.66
10,11cm	29.47	29.49	29.48	29.48
10,12cm	29.87	29.90	29.81	29.86
10,13cm	30.68	30.11	30.95	30.58
10,14cm	30.69	32.18	30.91	31.26
10,15cm	31.18	31.67	31.22	31.36
10,16cm	31.38	31.40	31.63	31.47
10,17cm	31.58	31.99	31.47	31.68
10,18cm	31.87	31.78	31.93	31.86

2. 平均值(單位：cm)

洞的位置	平均值
無洞	23.66
10,11cm	29.48
10,12cm	29.86
10,13cm	30.58

10,14cm	31.26
10,15cm	31.49
10,16cm	31.47
10,17cm	31.68
10,18cm	31.86

五、實驗五：

(一) 實驗數據：

1. 第一共鳴點位置：(單位：cm)

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	23.64	24.23	23.11	23.66
10,20cm	32.98	33.70	33.19	33.29
10,20,15cm	35.72	34.84	35.19	35.25
10,20,18cm	35.35	35.90	36.06	35.77
10,20,15,18cm	37.66	37.00	37.18	37.28
10,20,12,15,18cm	37.09	37.59	37.13	37.27

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	23.64	24.23	23.11	23.66
10,18cm	32.54	32.06	32.21	32.27
10,18,15cm	33.17	33.56	33.14	33.29
10,18,12cm	32.04	32.03	32.57	32.28
10,18,15,12cm	34.43	34.38	34.09	34.30

2. 第二共鳴點位置：(單位：cm)

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	71.20	72.60	72.80	72.20
10,20cm	82.00	82.90	82.30	82.40
10,20,15cm	83.10	83.40	83.40	83.30
10,20,18cm	86.10	85.50	85.20	85.60
10,20,15,18cm	88.10	88.50	88.00	88.50
10,20,12,15,18cm	86.10	86.50	86.30	86.30

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	71.20	72.60	72.80	72.20
10,18cm	81.20	81.50	81.50	81.40
10,18,15cm	83.90	83.40	83.20	83.50
10,18,12	82.10	81.40	81.00	81.50
10,18,15,12cm	83.70	83.50	83.00	83.40

3. 平均值：(單位：cm)

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	23.66	72.20
10,20cm	33.29	82.40
10,20,15cm	35.25	83.30
10,20,18cm	35.77	85.60
10,20,15,18cm	37.28	88.50
10,20,12,15,18cm	37.27	86.30

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	23.66	72.20
10,18cm	32.27	81.40
10,18,15cm	33.29	83.50
10,18,12	32.28	81.50
10,18,15,12cm	34.30	83.40

六、實驗六：

(一) 實驗數據：

1. 無洞時的第一共鳴點位置(單位：cm)

頻率	第一次測量	第二次測量	第三次測量	無洞時第一共鳴點位置(平均值)
355	24.07	23.37	23.53	23.66
450	18.6	18.73	18.9	18.71
550	15.6	15.36	15.33	15.43
710	12.29	11.93	12.08	12.10

2. 鑽洞後的第一共鳴點位置(單位：cm)

頻率	第一次測量	第二次測量	第三次測量	鑽洞後第一共鳴點位置(平均值)
355	24.52	24.33	24.98	24.61
450	19.5	19.85	19.6	19.52
550	15.89	16.25	16.17	16.12
710	12.9	12.11	12.85	12.62

3. 平均值(單位：cm)

頻率	無洞時第一共鳴點位置	鑽洞後第一共鳴點位置	共鳴點位置變化量
355	23.66	24.61	0.95
450	18.71	19.52	0.81
550	15.43	16.12	0.69
710	12.10	12.62	0.52

七、實驗七：

(一) 實驗數據：

1. 第一共鳴點位置：(單位：cm)

(1) 洞直徑=0.35cm

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	22.02	22.00	21.89	21.97
2cm	23.09	22.97	22.97	23.01
4cm	23.37	23.07	23.07	23.17
6cm	23.37	23.37	23.52	23.42
8cm	25.57	25.27	25.69	25.51
10cm	27.40	27.47	27.60	27.49
12cm	26.17	26.27	26.49	26.31
14cm	26.47	26.67	26.72	26.62
16cm	23.77	23.67	23.90	23.78
18cm	23.27	23.37	23.26	23.3
20cm	24.68	24.77	24.98	24.81

(2) 洞直徑=0.65cm

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	22.02	22.00	21.89	21.97
2cm	23.22	23.42	23.59	23.41
4cm	23.67	23.61	24.03	23.77

6cm	24.28	24.23	24.03	24.18
8cm	26.22	26.37	26.28	26.29
10cm	28.13	28.17	28.21	28.17
12cm	28.47	28.27	28.22	28.32
14cm	25.61	25.75	25.74	25.70
16cm	25.71	25.60	25.73	25.68
18cm	25.27	25.38	24.98	25.21
20cm	26.62	26.67	26.90	26.73

2. 第二共鳴點位置：(單位：cm)

(1) 洞直徑=0.35cm

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	73.46	73.4	73.34	73.4
2cm	74.65	74.53	74.53	74.57
4cm	74.93	74.63	74.63	74.73
6cm	74.93	74.93	75.08	74.98
8cm	77.13	76.83	77.25	77.07
10cm	78.96	79.03	79.16	79.05
12cm	77.73	77.83	78.05	77.87
14cm	78.03	78.23	78.28	78.18
16cm	75.33	75.23	75.46	75.34
18cm	74.83	74.93	74.82	74.86
20cm	76.24	76.33	76.54	76.37

(2) 洞直徑=0.65cm

洞的位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
無洞	73.46	73.4	73.34	73.4
2cm	73.86	74.08	74.03	73.99
4cm	74.25	74.53	74.27	74.35
6cm	74.67	74.74	74.87	74.76
8cm	77.04	76.66	76.91	76.87
10cm	78.77	78.84	78.64	78.75
12cm	78.95	78.83	78.92	78.9
14cm	76.05	76.19	76.6	76.28
16cm	76.18	76.33	76.27	76.26
18cm	75.93	75.53	75.91	75.79
20cm	77.07	77.33	77.53	77.31

3. 平均值(單位：cm)

(1) 洞直徑=0.35cm

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	21.97	73.4
2cm	23.01	74.57
4cm	23.17	74.73
6cm	23.42	74.98
8cm	25.51	77.07
10cm	27.49	79.05
12cm	26.31	77.87
14cm	26.62	78.18
16cm	23.78	75.34
18cm	23.3	74.86
20cm	24.81	73.4

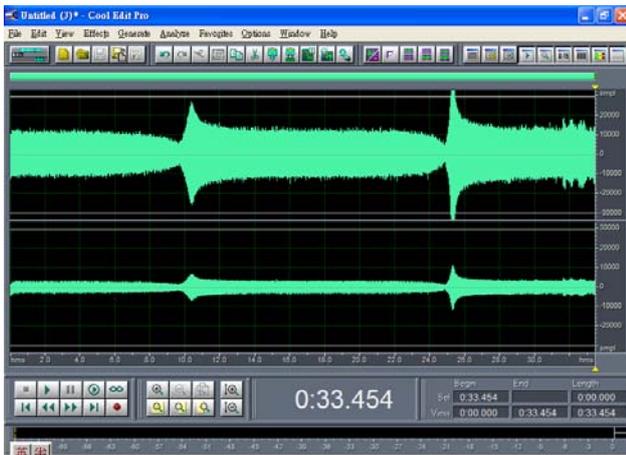
(2) 洞直徑=0.65cm

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	21.97	73.4
2cm	23.41	73.99
4cm	23.77	74.35
6cm	24.18	74.76
8cm	26.29	76.87
10cm	28.17	78.75
12cm	28.32	78.9
14cm	25.70	76.28
16cm	25.68	76.26
18cm	25.21	75.79
20cm	26.73	77.31

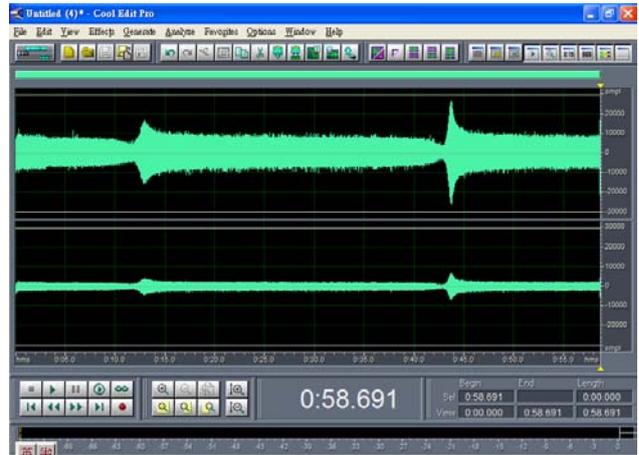
八、實驗八：

(一)實驗圖形：

無洞



2cm



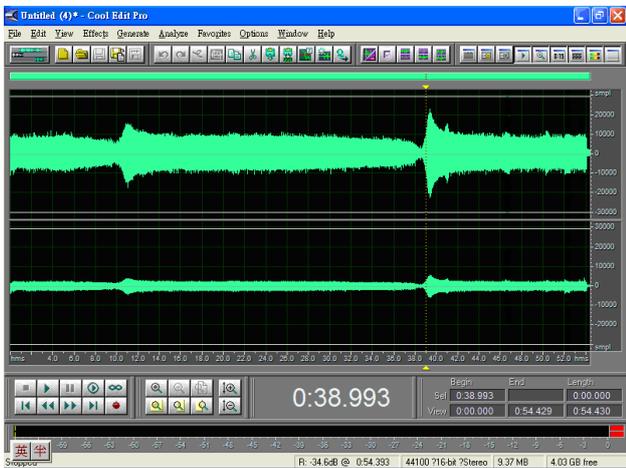
4cm



6cm



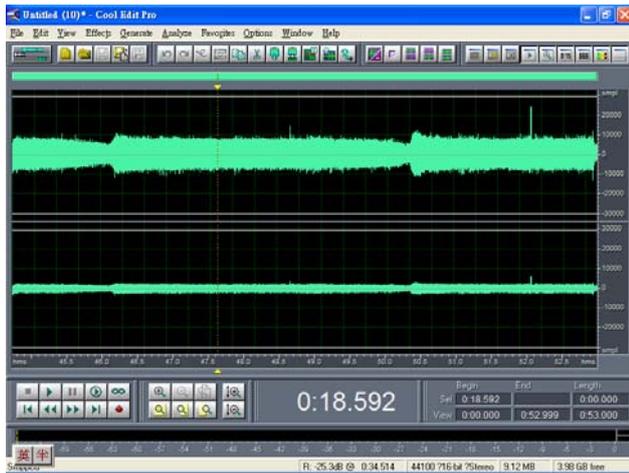
8cm



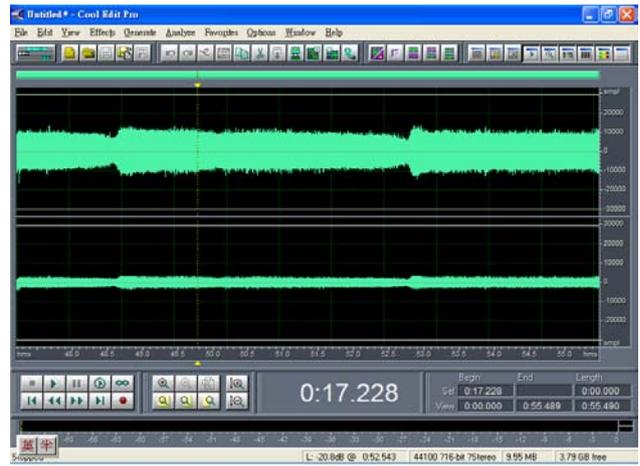
10cm



12cm



14cm



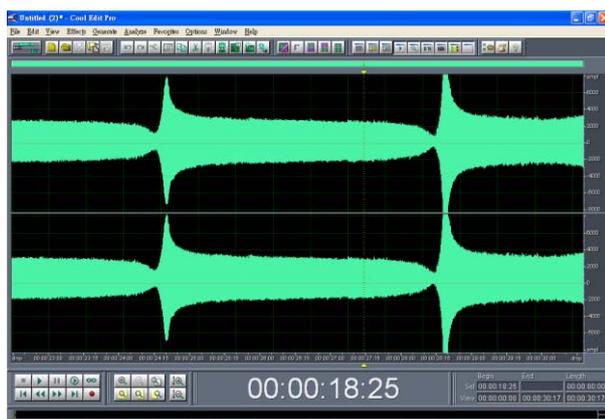
16cm



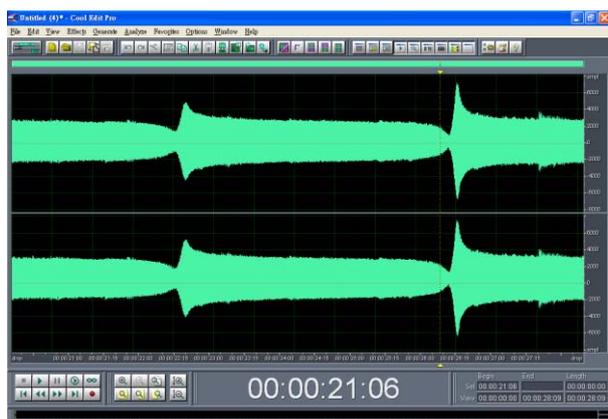
九、實驗九：

(一) 實驗圖形

無洞



0.5cm



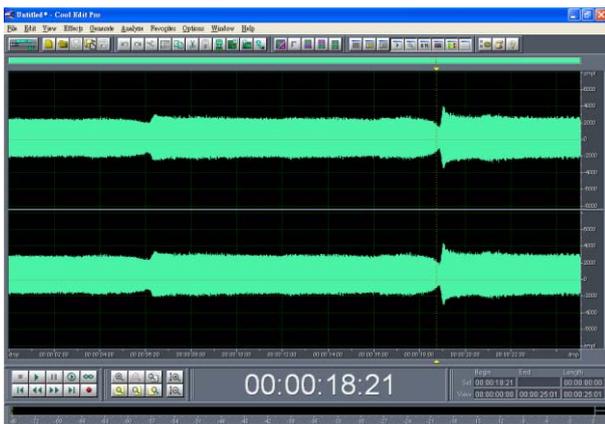
0.7cm



1.0cm



1.8cm

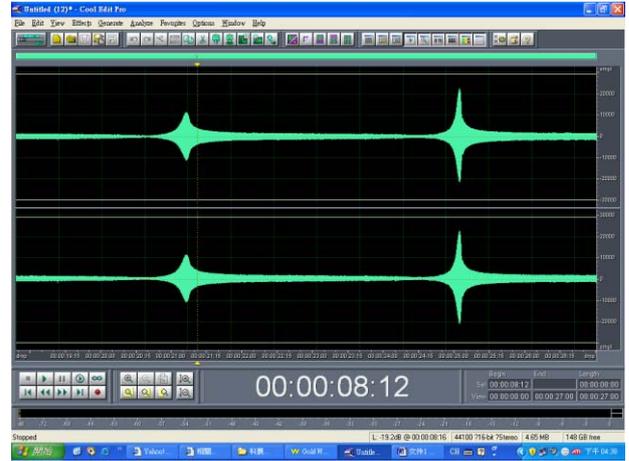


十、實驗十：

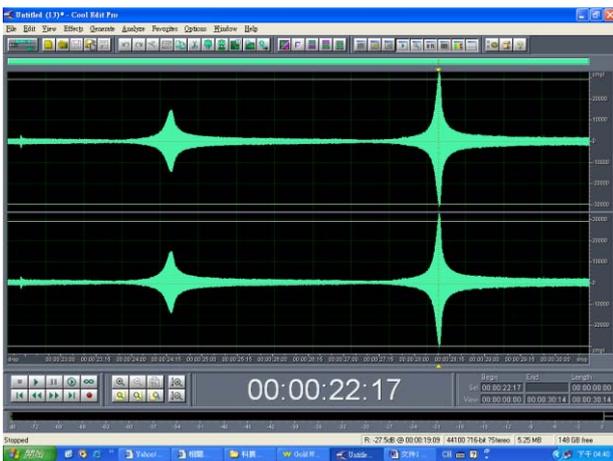
麥克風距 管口位置	第一次測量	第二次測量	第三次測量	平均值
0	23.42	23.21	22.9	23.18
5	23.22	23.32	23.1	23.21
10	23.54	23.41	23.21	23.39
15	23.15	23.41	23.12	23.23
20	23.61	23.54	23.31	23.49



3cm



6cm



9cm

陸、討論

一、實驗一

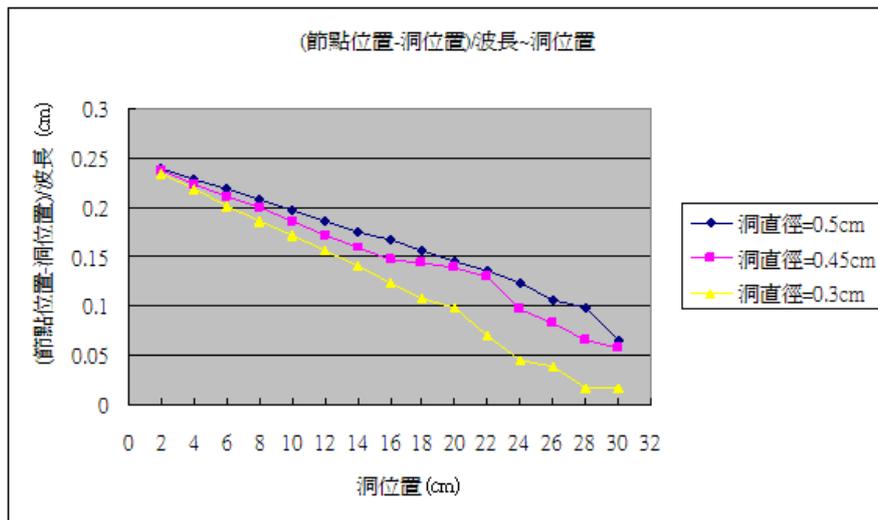
(一) 若根據目前查詢到的理論「開洞的位置成為新的開口端」的話，那麼數據應符合：

$$\boxed{(\text{共鳴點的位置} - \text{洞的位置}) / \text{波長} \approx 0.25}$$

但根據實驗數據：

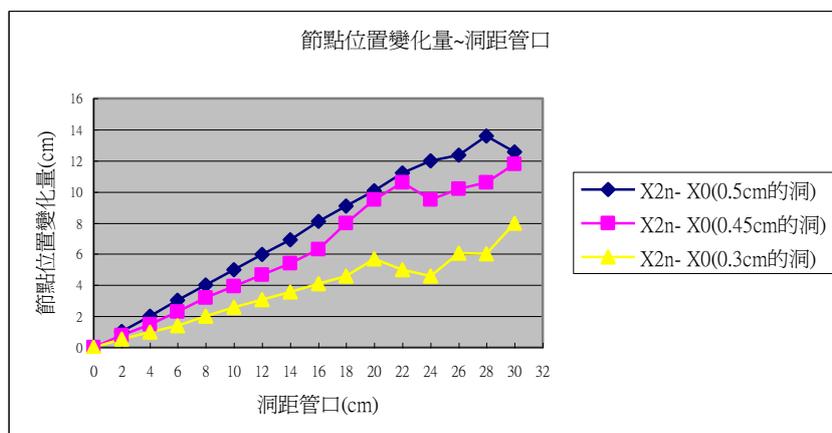
洞距管口 位置	(共鳴點的位置 - 洞的位置) / 波長		
	洞直徑=0.5cm	洞直徑=0.45cm	洞直徑=0.3cm
2	0.239539	0.237215	0.234467
4	0.228867	0.223373	0.218195
6	0.218512	0.210904	0.201395
8	0.207735	0.199281	0.186602
10	0.197274	0.185651	0.171492

12	0.186391	0.172549	0.155642
14	0.174979	0.159235	0.139899
16	0.166526	0.147506	0.124155
18	0.155854	0.144231	0.108411
20	0.145182	0.138842	0.098795
22	0.135883	0.129438	0.070372
24	0.122992	0.096682	0.044801
26	0.105981	0.08284	0.039413
28	0.097844	0.066145	0.01754
30	0.065828	0.057375	0.017434



我們發現實驗數據與理論值有很大的出入，因此開洞就是新的開口端的這個理論似乎並不正確。

(二) 我們發現洞每下降 2 公分，其共鳴點的位移量也會跟著下降，而且其位移量在洞與管口之距於某一限度內時幾乎是一個線性函數。

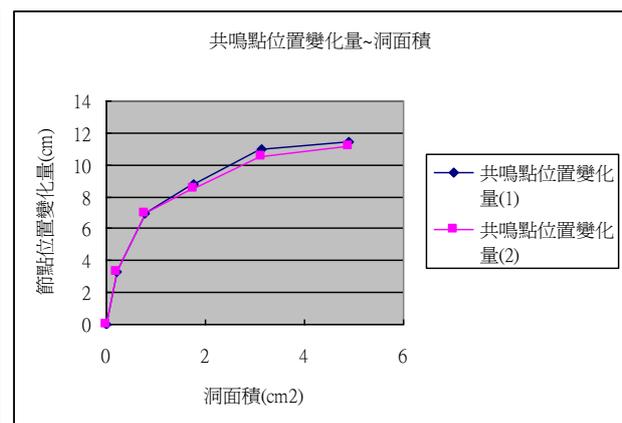
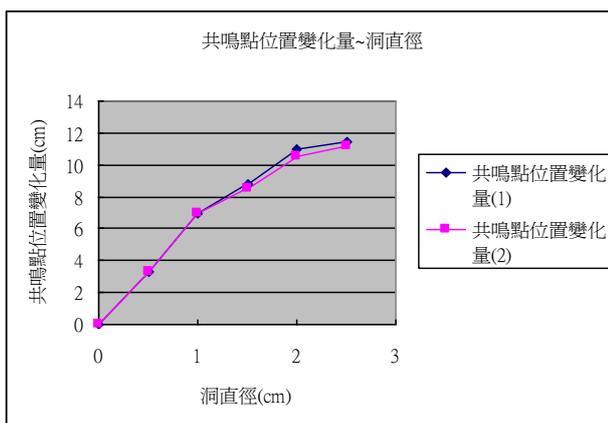


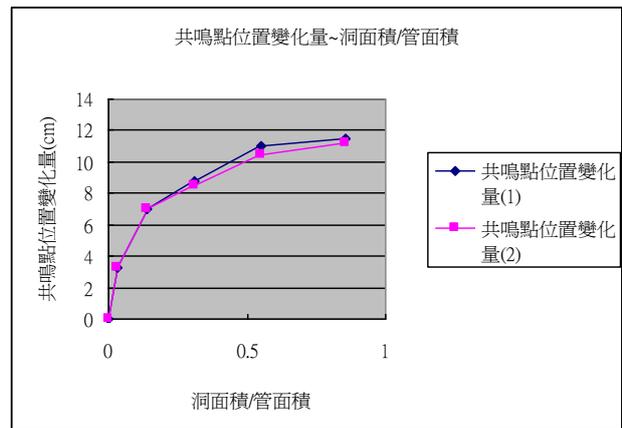
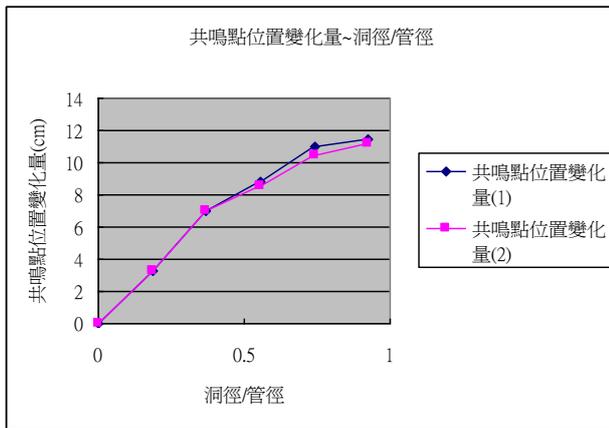
洞距管口	$X_{2n} - X_0$ (直徑 0.5cm 的洞)	$X_{2n} - X_0$ (直徑 0.45cm 的洞)	$X_{2n} - X_0$ (直徑 0.3cm 的洞)
2	1.01	0.79	0.53
4	2	1.48	0.99
6	3.02	2.3	1.4
8	4	3.2	2
10	5.01	3.91	2.57
12	5.98	4.67	3.07
14	6.9	5.41	3.58
16	8.1	6.3	4.09
18	9.09	7.99	4.6
20	10.08	9.48	5.69
22	11.2	10.59	5
24	11.98	9.49	4.58
26	12.37	10.18	6.07
28	13.6	10.6	6
30	12.57	11.77	7.99

(三) 當 0.5cm 的洞下降 2cm，時共鳴點大約只下降 1cm；0.45 cm 的洞則大約下降 0.8 cm；0.3 的洞則大約下降 0.5 cm。故共鳴點下降的速度會跟不上洞下移的速度。當洞快要追上共鳴點的位置時，數據就會出現不規律的現象。而最後共鳴點會與洞口重合，且與洞口一起下降。日後我們想再更進一步探討這一部分。

二、實驗二：

(一) 將實驗數據繪製成圖表如下：





- (二) 由上面實驗數據可以看出，當洞愈大時，共鳴點位置的變化量就愈大；而當洞大到跟管口差不多大時，共鳴點的下移量會愈趨近於 12 公分，而這正好是我們鑽洞的位置，所以我們認為，洞可以當作管子新開口端時，洞的大小必須超過某種程度，和管口差不多大小才行。
- (三) 我們推測共鳴點位置變化量和洞面積關係為 $\Delta x = A(1 - e^{-Ba})$ (A、B 為常數，a 為洞面積， Δx 為共鳴點位置變化量)

三、實驗三：

鑽洞方式	第一共鳴點位置
無洞	23.66
4 個 0.3cm 的洞 (排列方式 1)	29.66
4 個 0.3cm 的洞 (排列方式 2)	29.7
4 個 0.3cm 的洞 (排列方式 3)	29.68
1 個 0.6cm 的洞	28.54

- (一) 從實驗數據中可以看出，洞的相對位置並不會對共鳴點位置造成影響。
- (二) 0.6cm 的洞的共鳴點位置比 4 個 0.3cm 的洞的共鳴點位置高，故節點位置不是只受總面積的影響，與洞的數目亦有關。

四、實驗四：

- (一) 我們目前根據資料開兩個洞時，其共鳴點位置的變化量有累加性，而將數據做處理如下。

洞的位置	第一共鳴點位置	共鳴點位置變化量
無洞	23.66	0
10	26.64	2.98
11	26.99	3.33

12	27.16	3.5
13	27.46	3.8
14	27.70	4.04
15	27.96	4.3
16	28.52	4.86
17	28.95	5.29
18	29.33	5.67

洞的位置	第一共鳴點位置	共鳴點位置變化量	理論性共鳴點位置 變化量(累加)	理論值-實驗值
10,11	23.66	5.82	6.31	0.49
10,12	29.48	6.2	6.48	0.28
10,13	29.86	6.92	6.78	-0.14
10,14	30.58	7.6	7.02	-0.58
10,15	31.26	7.83	7.28	-0.55
10,16	31.49	7.81	7.84	0.03
10,17	31.47	8.02	8.27	0.25
10,18	31.68	8.2	8.65	0.45

(二) 從上方表格可以看出，理論的共鳴點位置與實際的共鳴點位置相差不大，至多差至 0.58cm

五、實驗五：

(一)我們將多個洞的情形與兩個洞的情形做比較，整理成表如下：

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	23.66	72.20
10,20cm	33.29	82.40
10,20,15cm	35.25	83.30
10,20,18cm	35.77	85.60
10,20,15,18cm	37.28	88.50
10,20,12,15,18cm	37.27	86.30

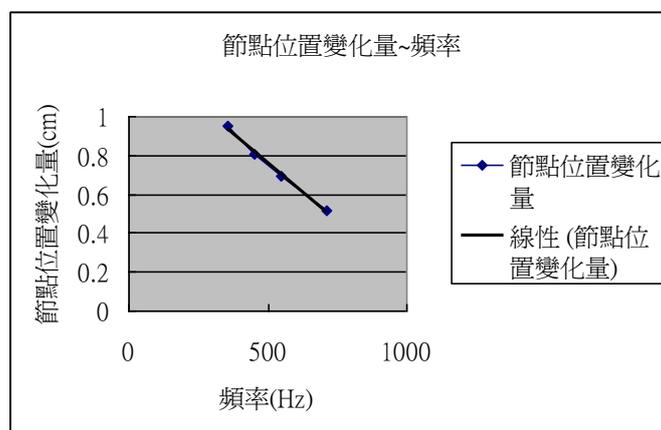
洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
無洞	23.66	72.20
10,18cm	32.27	81.40
10,18,15cm	33.29	83.50
10,18,12cm	32.28	81.50
10,18,15,12cm	34.30	83.40

(三) 若開三個洞以上，則累加性就不是那麼明顯。(例如：從 10,20cm 和 10,20,15cm 的數據來看，10cm 的位移量為 3cm，20cm 的位移量為 6.5cm，15cm 的位移量為 4.3cm。10,20cm 的位移下降量為 10.5cm，與 10cm 和 20cm 的位移量累加後很接近。但若多鑽了 15cm，而累加性又成立的話，共鳴點位置應再下降 4.3cm，但實際上只下降約 1cm 左右，故累加性不強。)

六、實驗六：

(一)將實驗數據繪製成表

頻率	無洞時第一共鳴點位置	鑽洞後第一共鳴點位置	共鳴點位置變化量
355	23.66	24.61	0.95
450	18.71	19.52	0.81
550	15.43	16.12	0.69
710	12.10	12.62	0.52



(二)共鳴點位置變化量與頻率呈線性關係，頻率愈高者，共鳴點位置變化量愈小。

七、實驗七：

(一) 將實驗數據整理成圖如下：

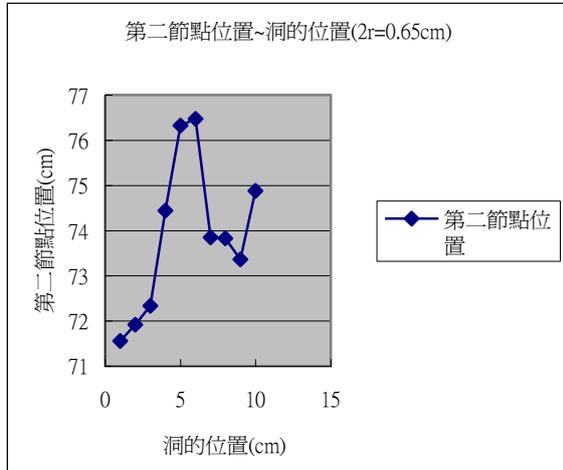
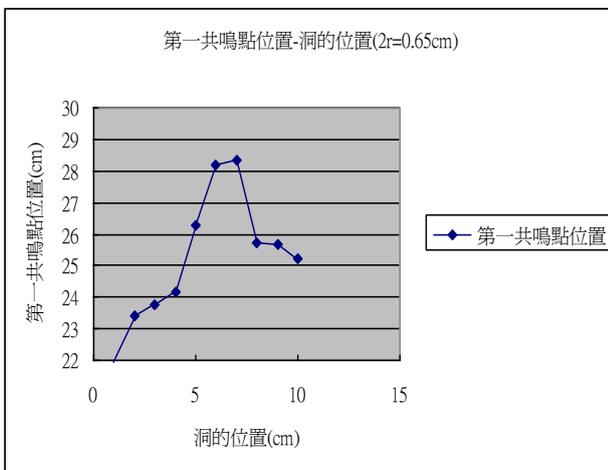
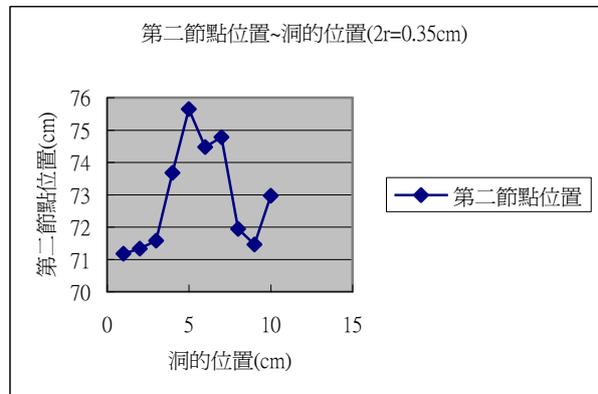
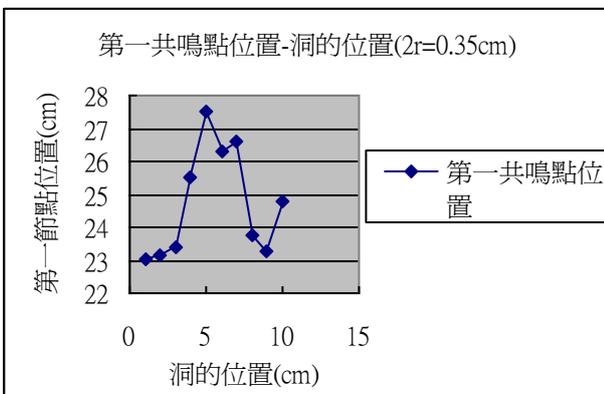
1. 洞直徑=0.35cm

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
2cm	23.01	71.17
4cm	23.17	71.33
6cm	23.42	71.58
8cm	25.51	73.67
10cm	27.49	75.65
12cm	26.31	74.47
14cm	26.62	74.78
16cm	23.78	71.94

18cm	23.3	71.46
20cm	24.81	72.97

2. 洞直徑=0.65cm

洞的位置	第一共鳴點位置	第二共鳴點位置
2cm	21.97	71.56
4cm	23.41	71.92
6cm	23.77	72.33
8cm	24.18	74.44
10cm	26.29	76.32
12cm	28.17	76.47
14cm	28.32	73.85
16cm	25.70	73.83
18cm	25.68	73.36
20cm	25.21	74.88



(二) 由圖形中可以看出，共鳴點位置的變化非常不規律。與實驗一對照，這和圖中後面的不規律現象類似。所以我們認為可能是鑽的洞與管口大小比值過小，導致很早便出現了非線性關係。

八、實驗八：

- (一) 由實驗圖形可以看出，共鳴點的出現位置隨著洞的下移而愈來愈早。這是由於共鳴點位置下移之故。
- (二) 共鳴點時的音量愈來愈小。我們推測因開洞而造成駐波下降管子上方所剩餘的空間，似乎會造成很大的能量耗損，所以此空間越大，共鳴時所產生的音量會越小。而此理論可由以下的實驗九映證。而我們亦發現，如將麥克風越深入共鳴管中測量，所量測到共鳴點音量會越大，這也可映證此推測之正確性。(參考實驗十之圖形)
- (三) 在共鳴點出現前會出現一段時間的音量會明顯變小。目前我們未發現任何資料與這部分有關，也許這會是一個有趣的現象，日後會繼續探討。

九、實驗九：

- (一) 由實驗圖形可以看出，共鳴點的出現位置隨著洞的加大而愈來愈早。這是由於共鳴點位置下移之故。
- (二) 共鳴點時的音量愈來愈小。我們推測因開洞而造成駐波下降所剩餘的空間，似乎會造成很大的能量耗損，所以此空間越大，共鳴時所產生的音量會越小。
- (三) 在共鳴點出現前會出現一段時間的音量會明顯變小。目前我們未發現任何資料與這部分有關，也許這會是一個有趣的現象，日後會繼續探討。

十、實驗十：

- (一) 由實驗數據可看出，麥克風的位置對於節點位置的測量影響不大。

麥克風距管口位置	平均值	麥克風距管口位置	平均值	麥克風距管口位置	平均值
0	23.18	10	23.39	20	23.49
5	23.21	15	23.23		

柒、結論

- 一、 開洞位置就是新的駐波腹點的這個理論並不正確。
- 二、 共鳴點的位置與洞的大小有密切的關係，當固定洞與管口之距，洞愈大，則共鳴點會下降愈多。當洞大小與管口大小之比值趨近於 1 時，可視為完全截斷，開口的位置成為駐波的波腹位置。
- 三、 在洞的位置未距離管口沒有很大時，其共鳴點的位移量會跟洞的位移量成正比。但洞的位置過於下方時，共鳴點的位移量會出現非線性關係。且此非線性關係出現的時機可能與管和洞的相對大小有關，差距愈大，出現的時間愈早。
- 四、 在與管口同距離處挖複數個洞時，洞對共鳴點位置的影響不因洞的相對位置改變而改變。
- 五、 當洞的總面積相等，但洞的數目不同時，共鳴點位置不同，代表單一個洞的大小會對共鳴點位置產生影響。
- 六、 當開兩個洞時，其共鳴點位置的變化量有累加性，但開三個以上的洞時，累加性並不明顯。

- 七、 麥克風的位置與測量節點位置的結果無關。
- 八、 洞距管口愈遠時，其共鳴時的音量會降低。
- 九、 洞加大時，共鳴時的音量會降低。
- 十、 在產生共鳴前，在電腦螢幕上顯示，其音量會變小，應改產生破壞性干涉，但為何剛好在共鳴點之前，尚未找出原因。
- 十一、 我們推測因開洞而造成駐波下降管子上方所剩餘的空間，似乎會造成很大的能量耗損，所以此空間越大，共鳴時所產生的音量會越小。而我們亦發現，如將麥克風越深入共鳴管中測量，所量測到共鳴點音量會越大，這也可映證此推測之正確性。(參考實驗十之圖形)(可解釋結論八、九)

捌、參考資料及其他

- 一、 南一版，高三物理課本，第十四章－實驗。
- 二、 全華科技圖書，大學物理 Halliday，第十八章。
- 三、 天下出版社，物理馬戲團。
- 四、 全華科技圖書，工程聲學。

【評 語】 040109 開洞駐波的探討

本作品在水柱管上端開設洞口，探討洞口口徑位置，對在管內形成駐波節點的影響。以十種實驗設置探討物理現象，內容豐富，但應可對每項實驗作較深入的探討較能發掘，較多樣的新物理現象。