

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030101

萬籟怎會俱寂-充滿杯中的聲音

學校名稱：麗澤學校財團法人臺中市麗澤國民中小學

作者： 國二 詹君頌 國二 張傳新 國二 黃俊穎	指導老師： 韓順興 洪綉雯
---	-----------------------------

關鍵詞：正回授、共振、頻率

壹、摘要

將麥克風放在燒杯裡，遠處的喇叭所發出的聲音，會充滿整個燒杯容器，在裡面迴盪，並且透過麥克風，將聲音回授到擴大機內將聲音放大，再傳到燒杯內的麥克風，又傳回擴大機……，這樣的現象叫做聲音的回授。

經過實驗的證實：

- 一、 用手蓋住瓶口，回授音即消失，聲音果真充滿容器內。容器越小，回授的聲音頻率越高。
- 二、 不同距離產生的回授音頻率曲線呈現高低起伏的鋸齒狀。若將鋸齒的高點當波峰，相鄰兩波峰的距離當波長，可以求得聲音在當下溫度時的速度，與理論值誤差很小。
- 三、 量筒(閉管)內的回授音，因與擴音器的聲源形成兩聲源的聲波干涉現象，量筒內相鄰的兩相近高頻間的距離(波長)，與頻率(或測得頻率的倍數)的乘積會等於聲速。

貳、研究動機：

老師在實驗室上課時，剛說完話，就把麥克風不經意的放在燒杯內，一會兒卻產生「嗡嗡」的噪音，聲音綿長且刺耳，老師也發現了此奇特現象。再把它放在較小的燒杯中，聲音頻率變得更高。放在量筒內不同深度的地方，產生的頻率也都不一樣，因此引起我們想要探討此現象的興趣。

聽廣播時發現了當 DJ 和聽眾現場通話時如果收音機太大聲，也有相同的現象，DJ 都會要求聽眾要把收音機轉小聲，回授音就沒有了。唱 KTV 時，有時也會產生類似的現象，但只要把麥克風的方向改變一下就可避免了。

「萬籟俱寂」在形容極端寂靜的狀態，但透過空氣傳播的能量波如聲波、電磁波等，到處充斥，它們將充滿整個容器，在容器內迴盪。因此，萬籟怎麼會俱寂呢？利用容器內聲音的反射和共振，透過麥克風傳回擴音機，再透過麥克風傳回擴音機，不斷的回授後，到底會有什麼現象呢？

參、研究目的：

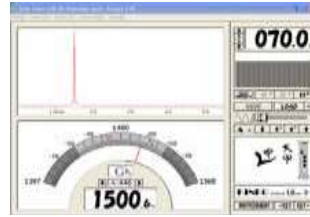
- 一、 以麥克風產生的回授音來探討聲音充滿容器內的情形。
- 二、 以麥克風產生的回授音來探討回授音頻率和不同容器形狀之關係。
- 三、 以麥克風產生的回授音來探討回授音頻率和距離之關係。
- 四、 以麥克風產生的回授音來探討回授音頻率和小口容器內產生的現象。
- 五、 試著減少或消除回授音。

肆、研究器材及藥品：

大小燒杯(1000、500、250ml)、量筒(10、50、100ml)、錐形瓶(250、125、50ml)、紙杯、寶特瓶、量瓶、擴音機、麥克風(指向型、一般型)、耳塞、鱷魚夾頭電線數條、鐵架、烙鐵、鉛錫、電線、電腦、溫度計、游標尺、頻率測定軟體 Syaku8、長尺等。



各種實驗用容器



Syaku8(頻率測定軟體)

伍、研究過程：

- 一、嘗試實驗：實驗桌上擺些大小形狀不同的燒杯、量筒、錐形瓶等，試試看哪些會有回授音(嘯叫聲)。
- 二、設計實驗：列出可能之變因，尋找實驗器材，將變因分類後，開始設計實驗。
- 三、開始實驗：與同學合作，測量、紀錄、分析、與老師及同學討論、查資料、解釋、整理報告。



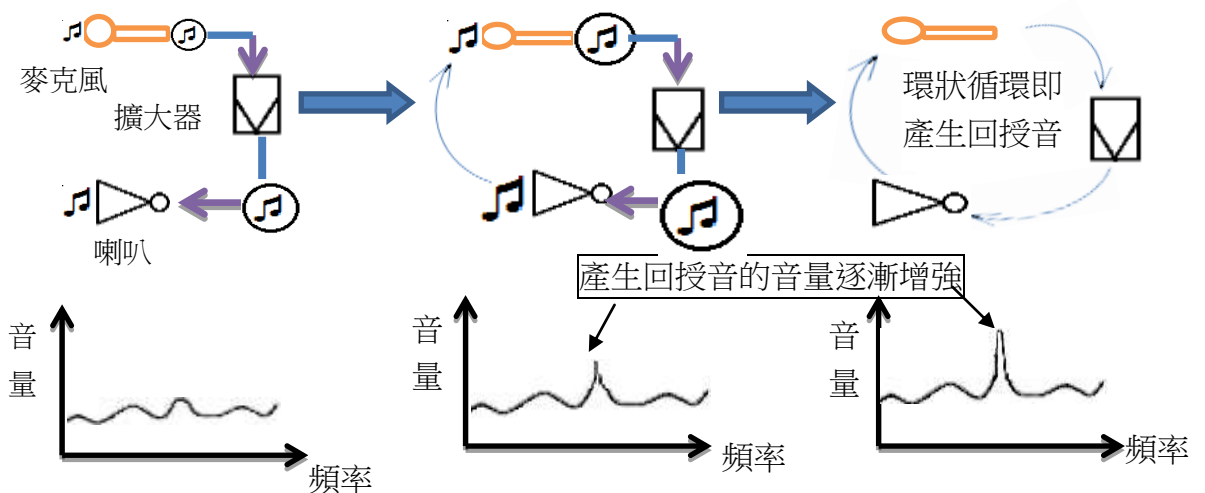
【實驗一】正回授到底是怎麼產生的？

【前言】麥克風的正回授情形非常的普遍，包括在學校、賣場、夜市…等等許許多多的廠所都可以聽到正回授所產生刺耳的聲音。

- 【方法】
1. 蒐集各種不同形狀、容積的容器，擺在擴音器前不同距離、角度的地方，並把麥克風一一放入其中測試(測量頻率、音量)。
 2. 用手遮住瓶口，觀察是否還有回授音。

- 【結果】
1. 各種不同的容器均會有回授音。
 2. 用手遮住瓶口時回授音就停止了，而且聲音頻率隨著開放面積大小而變。

【分析】



1. 由步驟 2 可知，回授音的產生是因為聲音充滿了整個容器，再從瓶口處傳回麥克風，這樣一直不斷的循環。
2. 正回授產生的原因圖示如圖說明：
3. 由圖可知，回授音量並不只會增強，仍會有下降之情形。
4. 一般而言，麥克風都是指向型的，但是為何麥克風未對準揚聲器(甚至相反)仍有正回授？因此我們必須探討聲音在整個空間的分佈情形。最後我們考慮用不同形狀、大小、高度、距離的**容器內的反射情形**來模擬聲音如何充滿在它所佔有的空間。
5. 原來微弱的聲音從擴音器傳出後，再次由麥克風輸入…經過這樣回還往復，假設每回授一次放大 10 倍，經過 5 次循環就放大 10^5 倍了。

【實驗二】什麼形狀、大小的容器可以使麥克風產生回授音？

【前言】老師隨意把麥克風放在燒杯中並產生回授音，讓我們對不同形狀的容器產生的回授音產生興趣。

【方法】我們將蒐集到的各種燒杯、錐形瓶、寶特瓶、量瓶、紙杯等容器，放在距離音源 15cm 的位置，測量每個容器內回授音的頻率。

▲設法將麥克風距離容器底部的高度保持固定，避免影響數據的準確性，產生誤差。

【結果】如右表(一)

容器種類	250ml 燒杯	100ml 燒杯	250ml 錐形瓶	1000ml 量瓶	500ml 量瓶	125ml 錐形瓶	300ml 紙杯
頻率(Hz)	718	1083	289	1545	1791	2471	915

【分析】

1. 在距離擴音器相同距離的位置，相同形狀容器的回授音頻率以**容積小的較高**，是類似笛子和用鐵塊敲打盛水玻璃杯的情況，空氣柱越短，聲音頻率越高。
2. 材質較軟的容器(ex: 紙杯、寶特瓶…)，因為反射波部分被吸收，回授現象不甚明顯，又以寶特瓶的回授效果最差。
3. 麥克風位置亦是影響回授音的因素之一，所以我們在做實驗時，喇叭的高度都控制在與瓶口等高的地方。

【實驗三】聲音是如何被「收集」在平面上的容器內呢？

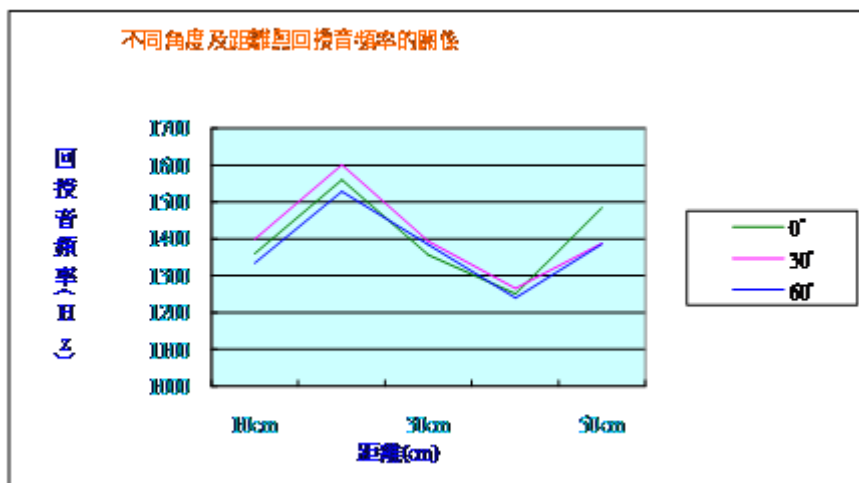
【前言】聲音是以球面弧狀擴散出去，但是要如何才能讓聲音充滿在容器內呢？

【方法】我們將 50cc 小燒杯擺在喇叭前的不同角度位置，與喇叭直線間格距離 10cm，將麥克風分別插入其中，尋找頻率最高處，記錄頻率大小。



【結果】測得頻率如下表(二)(單位 Hz)

位置 角度	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
0°	1360	1560	1357	1250	1484
30°	1398	1600	1394	1266	1388
60°	1333	1529	1383	1239	1386



- 【分析】
1. 由上表發現聲音接收在不同角度，相同距離的回授音頻率大致相同。
 2. 在 20 公分和 50 公分處出現頻率升高的現象，可能是共振的結果。
 3. 不同角度的等距離處，測得的回授頻率相近，可證明聲音是以面的方式擴散出去的，而喇叭亦可說明聲源為面波源。

【實驗四】小口容器內產生的回授音與瓶底距離有何關係？

【前言】由於在實驗三時，錐形瓶的內寬外窄的構造出現相差很大的數據，我們就以 250ml 的錐形瓶作更進一步的研究。

【方法】

1. 用我們自製的升降器來調整麥克風深入容器內的深度，減少因用手拿而抖動的現象及避免身體靠近而吸收聲波的顧慮，以期獲得較正確的數據。
2. 錐形瓶分成八等分，編號 1 在上，由上往下編，我們測量從底部往上數的六等分（即 3-8 刻度）的回授音頻率。

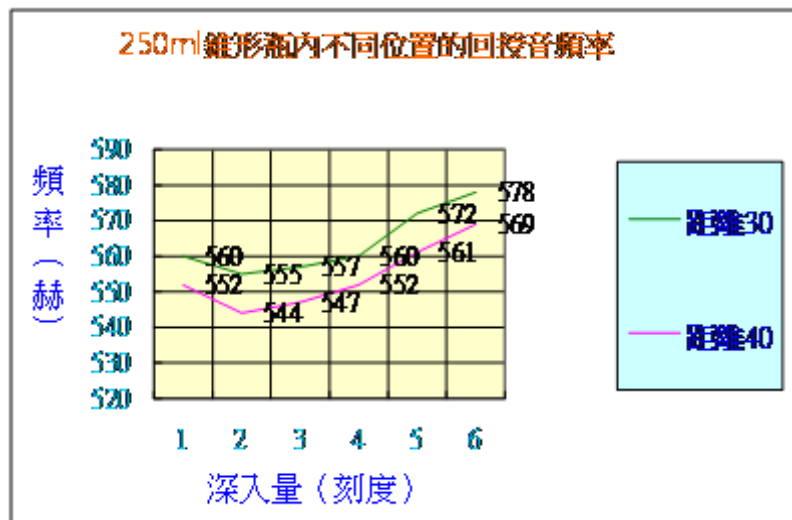
操縱變因：容器與揚聲器之間的距離、麥克風與瓶口的距離。

控制變因：麥克風、場地、揚聲器、頻率測定器、頻率測定器與揚聲器的距離。

應變變因：正回授音的頻率

【結果】如下表(四)(深入格數皆以等份表示，因此無單位)

深入量 \ 距離	3	4	5	6	7	8
30cm	560	555	557	560	572	578
40cm	552	544	547	552	561	569



【討論】

1. 本實驗的結果令人興奮，在不同的距離下所測到的回授音頻率幾乎相差一樣，形成幾乎平行的曲線。證明距離是影響曲線形狀的因素。
2. 距離近者，瓶內不同深度位置的頻率均比距離遠者高。
3. 瓶內深度與頻率的關係，因聲波在瓶內形成的「空氣柱波」而顯得複雜。
4. 因燒杯高度不足，所測得的數據找不出更有價值的規律。只能知道深度不同測得的頻率亦會不同。

【實驗五】藉由回授音頻率與距離的關係來探討聲速？

【前言】因發現距離與回授音頻率的奇妙關係，是否可用來測量聲波的波長或波速，這是我們急想要去瞭解的。

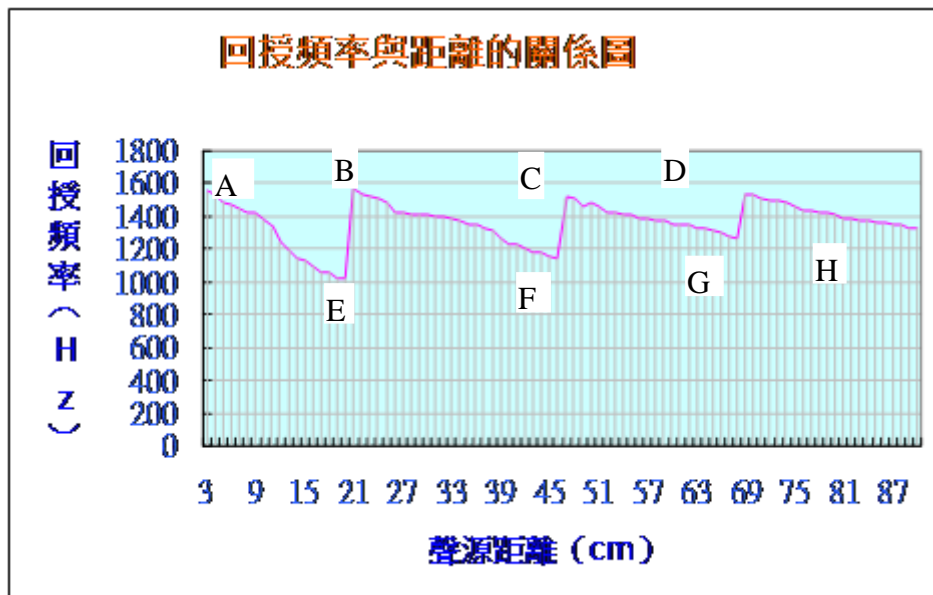
【方法】用 50ml 的燒杯做好中心點記號，在波源前每隔一公分測量一次燒杯內的回授音頻率，記錄後畫成曲線圖，觀察其變化。

【結果】如下表(五)、(六)



室溫 32°C

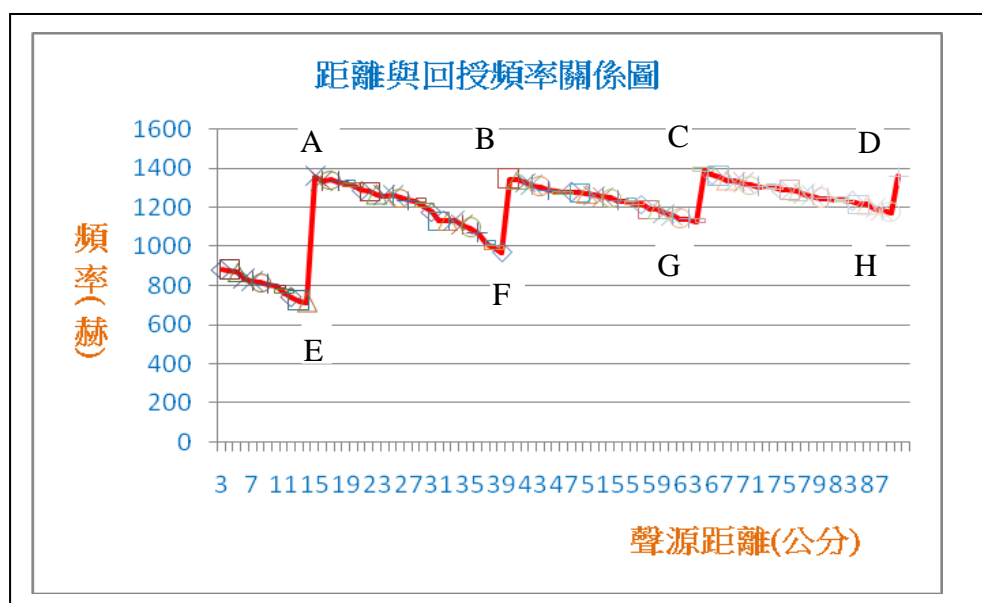
距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率	距離	頻率
公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz	公分	Hz
		19	1028	37	1326	55	1403	73	1491
		20	1025	38	1314	56	1386	74	1485
3	1548	21	1564	39	1263	57	1384	75	1455
4	1525	22	1534	40	1234	58	1377	76	1431
5	1482	23	1516	41	1231	59	1373	77	1430
6	1464	24	1510	42	1207	60	1350	78	1423
7	1444	25	1481	43	1185	61	1350	79	1417
8	1418	26	1426	44	1185	62	1349	80	1406
9	1416	27	1423	45	1162	63	1324	81	1389
10	1373	28	1411	46	1150	64	1323	82	1381
11	1331	29	1410	47	1514	65	1317	83	1377
12	1239	30	1404	48	1499	66	1300	84	1377
13	1195	31	1397	49	1460	67	1278	85	1364
14	1146	32	1393	50	1476	68	1269	86	1355
15	1137	33	1389	51	1451	69	1529	87	1350
16	1098	34	1374	52	1426	70	1528	88	1349
17	1065	35	1350	53	1425	71	1504	89	1327
18	1062	36	1347	54	1411	72	1498	90	1324



波形最高點	A	B	C	D	平均
頻率(Hz)	1548	1564	1514	1529	1538.75
與聲源距離(cm)	0	21	47	69	
波長(cm)		21	26	22	23

室溫 26 °C

距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz	距離 公分	頻率 Hz
		19	1321	37	1015	55	1230	73	1304
		20	1309	38	990	56	1217	74	1298
3	881	21	1288	39	970	57	1215	75	1288
4	878	22	1280	40	1343	58	1188	76	1285
5	867	23	1265	41	1339	59	1189	77	1281
6	830	24	1257	42	1326	60	1168	78	1262
7	820	25	1259	43	1309	61	1157	79	1258
8	814	26	1248	44	1303	62	1140	80	1245
9	805	27	1233	45	1288	63	1140	81	1245
10	794	28	1232	46	1279	64	1126	82	1236
11	766	29	1203	47	1274	65	1389	83	1234
12	739	30	1174	48	1277	66	1364	84	1230
13	719	31	1130	49	1275	67	1354	85	1214
14	712	32	1129	50	1267	68	1336	86	1213
15	1354	33	1128	51	1260	69	1332	87	1193
16	1331	34	1106	52	1255	70	1323	88	1183
17	1338	35	1093	53	1247	71	1312	89	1173
18	1328	36	1067	54	1232	72	1304	93	1359



波形最高點	A	B	C	D	平均
頻率(Hz)	1354	1343	1389	1359	1361.25
與聲源距離(cm)	15	40	65	93	
波長(cm)		25	25	28	26

【討論】

1. 距離聲源 2 公分因在燒杯的直徑以內，故無數據可測量。
2. 回授音頻率與距離的關係形成規律的「收斂三角形」鋸齒狀，最高點頻率相差不大。
3. 32°C時，將最高點頻率的平均值(1539)×波長平均值(23) 可得波速 = 354m/s，理論值為 350.2 m/s。
4. 26°C時，將最高點頻率的平均值(1361.25)×波長平均值(26) 可得波速 = 353.93m/s，理論值為 346.6 m/s。
5. 我們將擴音器與燒杯視為同相的兩個聲源，相鄰兩個回授頻率高峯值間的距離即為一個波長。因為由聲音的干涉 (Interference) 現象中，可得知相同頻率、同相的兩個聲源 S_1 、 S_2 之間距離恰為波長整數倍時，聲音會較大聲，音頻也會隨音量而升高。

【實驗六】容器內不同位置(深度)與回授音頻率有何關係？

【前言】由於在實驗五的測量無法找出深度與頻率的關係，我們以量筒作為測量容器，測量不同口徑大小的量筒在不同深度時的回授頻率。

【方法】

1. 音量控制在 15 的位置，室溫固定在 32°C，調整麥克風在量筒內的不同的深度，測量不同深度的回授音頻率，並找出相近頻率的兩點間的距離(波長)。
2. 調整量筒與聲源的距離，重複上述步驟，再紀錄不同深度的回授音頻率。
3. 使用不同大小口徑的量筒，重複步驟 1. 及 2.。

【結果】如下表(六)，室溫 30 °C，大量筒內徑 2.66 公分，小量筒內徑 2.20 公分表(六)之一：距聲源 10、20 公分，大小量筒內回授音頻率與深度的關係。

大量筒與聲源距離 10 公分				大量筒與聲源距離 20 公分				小量筒與聲源距離 10 公分				小量筒與聲源距離 20 公分			
深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率		
cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz		
1	1035	13	1899	1	0	13	1750	1	1359	11	3157	1	460		
2	1033	14	1885	2	0	14	0	2	1354	12	1590	2	460		
3	1032	15	0	3	0	15	0	3	1348	13	1583	3	460		
4	1032	16	0	4	0	16	0	4	1340	14	499	4	460		
5	1033	17	1745	5	0	17	0	5	463	15	2269	5	460		
6	1032	18	1748	6	0	18	0	6	463	16	2260	6	460		
7	1034	19	1748	7	1750	19	0	7	463	17	2250	7	460		
8	0	20	1749	8	1760	20	0	8	463	18	2032	8	460		
9	1948	21	1742	9	1750	21	0	9	2029			9	1358		
10	1941	22	1740	10	1750	22	0	10	3183			10	1359		
11	3178	23	1737	11	1755	23	0								
12	3218	24		12	1755	24									

【討論】

1. 室溫 30 °C 的聲速理論值為 349 公尺/秒。
2. 大量筒與聲源距離 20 公分時，高頻位置與聲源距離 $20+(23-10)=33$ 公分。

3. 測得頻率中有基音與其泛音，頻率呈倍數關係。例如 1590 與 3183，在同一位置附近也會同時出現。又如 460 與 1360，也幾乎是 3 倍頻率的基音與泛音。
4. 若以閉管的聲音干涉來解釋，基音波長(頻率 460)等於 4 倍管長(18.5cm)，即 $460 \times 18.5 \times 4 = 340.4$ ，誤差 2%。

表(六)之二：距聲源 30、40 公分，大小量筒內回授音頻率與深度的關係。

大量筒與聲源距離 30 公分				大量筒與聲源距離 40 公分				小量筒與聲源距離 30 公分				小量筒與聲源距離 40 公分			
深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率
cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz
1	1738	13	1034	1	0	13	1748	1	0	11	3212	1	2270	11	0
2	1734	14	1034	2	0	14	0	2	0	12	1606	2	0	12	1020
3	1735	15	1034	3	0	15	0	3	0	13	2040	3	0	13	2040
4	0	16	1034	4	0	16	0	4	0	14	2040	4	2040	14	2040
5	0	17	0	5	0	17	0	5	2037	15	2040	5	2040	15	0
6	0	18	0	6	0	18	0	6	2040	16	0	6	0	16	2273
7	0	19	0	7	1745	19	0	7	0	17	0	7	0	17	2270
8	0	20	0	8	1745	20	0	8	0	18	0	8	0	18	0
9	0	21	0	9	1745	21	0	9	0			9	0		
10	0	22	1735	10	1745	22	0	10	3221			10	0		
11	0	23	1735	11	1745	23	0								
12	1034	24		12	1745	24	0								

【討論】

- 大量筒與聲源距離 30 公分時，頻率 1735Hz 的兩個位置相距約 20 公分，相鄰高頻兩處的距離為一個波長，所以聲速為兩數相乘得 347 公尺/秒，很接近理論值。高頻位置與聲源距離 30 公分(位置在 23 公分處)或 51 公分(位置在 2 公分處)。
- 大量筒與聲源距離 40 公分時，只測到一種頻率(1745)，約在高 10 公分處，量筒高 23 公分，因此，產生高頻處與聲源的距離為 53 公分。
- 小量筒與聲源距離 40 公分時，2040 的兩高頻位置相距約 8.5cm，以其泛音頻率 4080×8.5 ，等於 346.8，約與聲速理論值相當。
- 小量筒與聲源距離 40 公分時，2270 的兩高頻位置相距約 15cm，以其泛音頻率 2270×15.5 ，等於 351.8，約與聲速理論值相當。



表(六)之三：距聲源 50、55 公分，大小量筒內回授音頻率與深度的關係。

大量筒與聲源距離 50 公分				大量筒與聲源距離 55 公分				小量筒與聲源距離 50 公分				小量筒與聲源距離 55 公分			
cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz
1	1745	13	0	1	1735	13	0	1	0	11	0	1	3150	11	3155
2	1746	14	0	2	1735	14	0	2	0	12	0	2	0	12	3157
3	0	15	0	3	1734	15	0	3	0	13	2020	3	0	13	3156
4	0	16	0	4	0	16	0	4	2020	14	2020	4	0	14	1355
5	0	17	0	5	0	17	0	5	2020	15	0	5	0	15	0
6	2430	18	0	6	0	18	0	6	0	16	0	6	0	16	0
7	2432	19	1754	7	0	19	0	7	0	17	0	7	0	17	0
8	2430	20	1755	8	0	20	0	8	0	18	0	8	0	18	0
9	0	21	1756	9	0	21	1738	9	0			9	0		
10	0	22	2430	10	0	22	1738	10	0			10	0		
11	0	23		11	0	23	1738								
12	0	24		12	0	24	0								

【討論】

1. 大量筒距離聲源 50 公分處，頻率約 1750Hz 的兩個位置相距約 20 公分，兩數相乘得 350 公尺/秒，很接近理論值。
2. 大量筒距離聲源 50 公分處，頻率 2430Hz 的兩個位置相距約 15 公分，兩數相乘得 364.5 公尺/秒，與理論值誤差 4.44%。
3. 大量筒距離聲源 55 公分處，頻率 1738Hz 的兩個位置相距約 20 公分，兩數相乘得 347.6 公尺/秒，與理論值誤差 0.40%。
4. 小量筒距離 50 公分處，頻率 2020Hz 的兩個位置相距約 9 公分，以其泛音頻率 4080×9 ，等於 363.6 公尺/秒，誤差 4.2%

表(六)之四：距聲源 60、70 公分，大小量筒內回授音頻率與深度的關係。

大量筒與聲源距離 60 公分				大量筒與聲源距離 70 公分				小量筒與聲源距離 60 公分				小量筒與聲源距離 70 公分			
深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率	深度	頻率		
cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz	cm	Hz		
1	0	13	0	1	0	13	0	1	0	11		0	2035	11	0
2	0	14	0	2	0	14	0	2	0	12		1	0	12	0
3	0	15	1040	3	0	15	0	3	0	13		2	0	13	0
4	0	16	1040	4	0	16	0	4	0	14		3	3193	14	0
5	0	17	1040	5	0	17	0	5	3160	15		4	3193	15	3192
6	0	18	1040	6	0	18	0	6	3160	16	3152	5	3193	16	3192
7	0	19	0	7	0	19	0	7	0	17	3152	6	3193	17	2035
8	0	20	0	8	0	20	0	8	0	18	3152	7	0	18	2039
9	0	21	0	9	0	21	0	9	0			8	2038		
10	0	22	0	10	0	22	0	10	0			9	2038		
11	0	23	0	11	1727	23	0					10	0		
12	0	24	0	12	1727	24	0								

【討論】

1. 大量筒距離聲源 60 公分或 70 公分處，因距離較遠，大量筒內的回授音頻率較難測得。
2. 小量筒距離 60 公分處，頻率 3156Hz(平均)的兩個位置相距約 11.5 公分， $3156 \times 11.5 = 362.9$ 公尺/秒，誤差 4.0%
3. 小量筒距離 70 公分處，頻率 3193Hz 的兩個位置相距約 11 公分， $3193 \times 11 = 351.2$ 公尺/秒，很接近理論值。
4. 小量筒距離 70 公分處，頻率 2038Hz 的兩個位置相距約 9 公分， $2038 \times 2 \times 9 = 346.5$ 公尺/秒，很接近理論值。

陸、結論：

- 一、經實驗二結果顯示，聲音果然是以球面弧狀擴散前進的。在近距離時，雖瓶口背對音源，聲音亦會進入容器內。
- 二、相同距離時，小容器產生的回授音頻率較高，是因為空氣柱較短，波長小頻率高的關係。
- 三、軟質的容器，回授音頻率較難測量。例如保特瓶、泡軟的紙杯等。
- 四、小口容器的回授音在瓶口處較難測量，但在底部時非常穩定。
- 五、不用容器而直接測量回授音頻率時，頻率測定器的讀數較無法穩定，因為來至四周的反射聲音，讓它無法精確顯示出來。
- 六、麥克風距離擴音器太遠時，回授音無法產生，是因為音量太小，回授的音量傳至燒杯時的音量也太小，無法連續產生回授，所以沒有回授音。所以我們的實驗都將音

量控制在 15 的位置，全部共有 19 格。

七、本實驗發現以燒杯測量回授音頻率與距離的關係，似乎形成一個橫波的波動圖。將其**頻率和波長相乘可得到波速**。這是因為聲波的干涉增強所產生的現象，在相鄰兩個高峰，即波峰與波峰干涉增強時得到最高頻率，兩個最高頻率間的最小距離即為一個波長，而時間差即為週期。

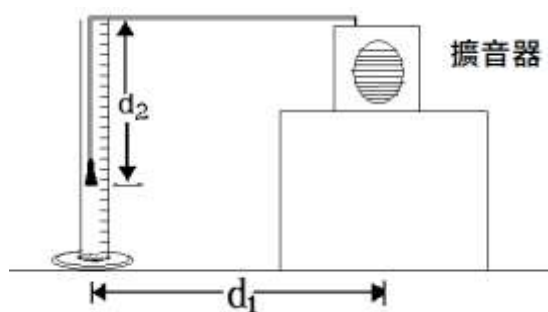
八、將量筒當作閉管來探討聲音的干涉現象，根據測量到的數據可知，量筒內充滿了不同的基音與泛音，測量儀器的波動圖也能看出成倍的頻率，強度不一定是基音或泛音較大。

九、剛開始測量到量筒內不同位置有不同的頻率時，我們開始朝著閉管聲音的干涉現象企圖去解釋。但是相鄰兩高頻的距離卻不是半波長，代表高頻的位置

並不只是「腹點」這麼簡單，因此，我們認為那是兩個同相聲源 S_1 、 S_2 ，當頻率相同時，兩者之間距離恰為波長整數倍時，聲音會較大聲，音頻也會隨音量而升高。而閉管內高頻的位置與聲源的距離，應以管口至高頻位置與量筒至聲源的距離和來計算。

十、我們試著用各種方法想消除回授音，例如在燒杯裡加水、塞棉花，在麥克風外包覆

海綿、不織布等均無法消除回授音，僅有稍微減弱。只有降低音量和不要將麥克風正對著喇叭等方法，可以有效免除回授音。



柒、參考資料：

1. 維基百科，基音(<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A7%90%E6%B3%A2>)
、泛音(<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%9F%BA%E9%A0%BB>)
、節點(<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B3%9B%E9%9F%B3>)
2. 新編生活與物理，節點，
(<http://sciencecity.oupchina.com.hk/npaw/student/chi/supplementary/lc-stationary.asp>)
3. 物理教學示範實驗室
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=8882>
4. 負回授放大設計 <http://www.andaudio.com/phpbb3/viewtopic.php?f=18&p=650475>
5. 郭重吉主編。國中自然與生活科技 第三冊。台南市南一書局（民 98）
6. 休伊特著。陳可崗譯。觀念物理 IV 聲學與光學。天下文化（2008 年 6 月）。
7. 第 27 屆全國科展第 209 頁～第 216 頁 舞台 MIC 及正向回輸消除器的製作及其研究。
8. 開管閉管空氣柱共振實驗器
http://www.atiss.com.tw/systematization_page_6a/c-s/c-s-m/A01-742E-Y01.pdf
9. 高中物理，聲音共振：<https://www.youtube.com/watch?v=0m-Q1JEUpmo>

【評語】 030101

1. 研究題材由教室中的實際經驗出發，能控制變因充分研究，十分可喜。
2. 現場海報版面設計有待加強之處，文書作圖的呈現宜由讀者角度出發，再加精練。
3. 音量、頻率、波長與聲速及研究中的各變項物理量的關係，可再進一步釐清。