

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科

第二名

080805

化腐朽為神奇的多多笛

學校名稱：嘉義縣竹崎鄉義仁國民小學

作者： 小六 蔡凱伊 小六 魏玉珊	指導老師： 涂博維 劉淑惠
-------------------------	---------------------

關鍵詞：吹孔、按孔、頻率

作品名稱：化腐朽為神奇的多多笛

摘要

廢棄的養樂多罐可以做成樂器嗎？應如何鑽孔？它可以吹出哪些音？令我們感到十分好奇！

實驗結果得知多多笛的「吹管口」形狀對聲音高低的影響不大，但是得將管口壓扁些才能吹出聲音來；「吹孔越大」聲音越高。「按孔位置」越靠近吹孔、「按孔越大」、「垂直或水平方向的按孔數目越多」時聲音越高。

在按孔位置固定的情況下，多多笛的聲音高低主要決定在按孔的大小和數目，也就是開孔總面積。根據這樣的關係，從已知的標準音頻率反求開孔總面積來決定按孔大小，我們終於做出可吹「Do、Re、Mi、Fa、Sol、La、Si」七個標準音的多多笛了！

壹、研究動機

上學期自然課上到「聲音與樂器」這個單元時，到最後老師要我們設計製作一個簡易樂器。「好難哦！」「要做些什麼好呢？」就在同學們紛紛叫苦連天時，很會吹陶笛的小玉說：「老師教過我們用吸管製作簡易排笛，我們何不廢物利用、拿養樂多罐來製作樂器呢？」大家都覺得這是個不錯的點子，至於要如何製作以及如何吹、可以吹出哪些音來，都是我們感興趣的問題。於是我們就在老師的指導下，開始了一連串的研究。

貳、研究目的

- 一、探討多多笛的「吹管」及「吹孔」對聲音頻率的影響
- 二、探討多多笛的「按孔」對聲音頻率的影響
- 三、動手製作多多笛

參、研究設備及器材

養樂多罐、吸管、保特瓶蓋、膠帶、手搖鑽、不同口徑的鑽頭、筆記型電腦、麥克風、Syaku8 頻率分析軟體、尺、量角器、游標尺。



圖 1：多多笛的名詞解釋

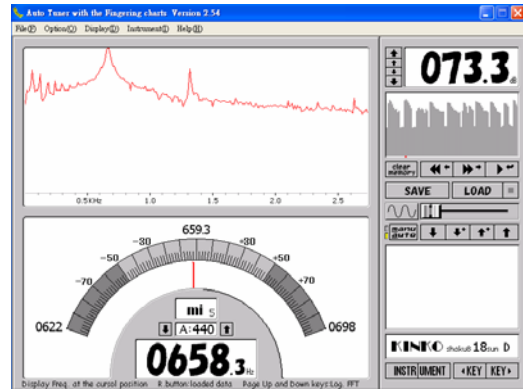
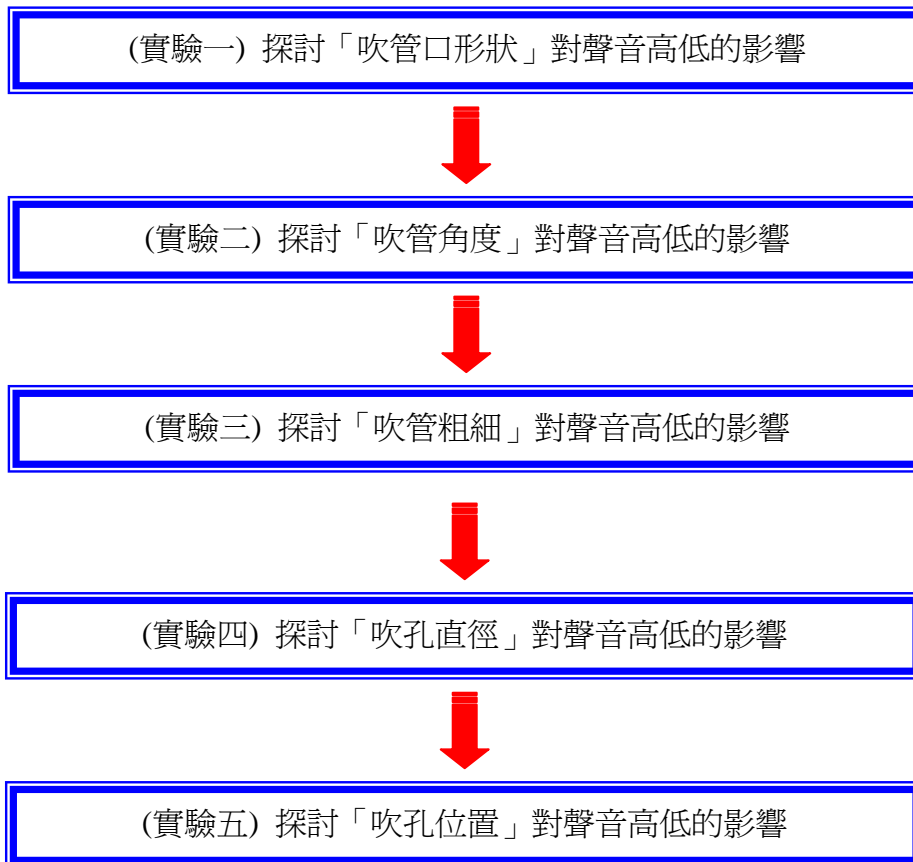


圖 2：用 Syaku8 軟體測量多多笛的頻率

肆、研究過程與結果討論

研究一：探討多多笛的「吹管」及「吹孔」對聲音高低的影響

流程圖：



實驗(一)：探討「吹管口形狀」對聲音高低的影響

方法：因為在用吸管吹多多笛時，得將吸管的前端壓扁一些（如圖 3），所以我們試著將吸管口做不同程度的壓扁（如圖 4），觀察對聲音高低有何影響。



圖 3：吸管的前端得適度的壓扁



圖 4：將吸管的前端做不同程度的壓扁

結果：

次數	頻率 (Hz)	唱名
1	822.6	la ^b 5 - 16
2	817.3	la ^b 5 - 27
3	816.2	la ^b 5 - 30
4	811.4	la ^b 5 - 40
5	815.8	la ^b 5 - 31
6	816.4	la ^b 5 - 29
7	810.3	la ^b 5 - 41
8	816.2	la ^b 5 - 30
9	811.1	la ^b 5 - 40

表 1：吹管口形狀（壓扁程度）不同時的聲音頻率

討論：雖然「吹管口」形狀對聲音高低的影響不大，但是得將管口壓扁些才能吹出聲音來。

實驗(二)：探討「吹管角度」對聲音高低的影響

方法：因為在用吸管吹多多笛時，吸管和養樂多罐之間需有些夾角才能吹出聲音，所以我們試著觀察不同夾角（如圖 5）對聲音高低有何影響。



圖 5：吸管和瓶身之間不同的夾角

結果：

吹管角度 (度)	第一次		第二次		第三次	
	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名
0	790	Sol 5+13	794.3	Sol 5+22	789.2	Sol 5+10
30	828.6	La ^b 5-4	829.6	La ^b 5-2	828.1	La ^b 5-4
45	825.5	La ^b 5-10	833.4	La ^b 5+6	833.2	La ^b 5+5
>60	吹不出聲音					

表 2：吹管傾斜角度不同時的聲音頻率

討論：吹管傾斜角度對聲音高低的影響不大，但是吹管角度太大時吹不出聲音。

實驗(三)：探討「吹管粗細」對聲音高低的影響

方法：觀察粗細不同的吸管（如圖 6）對聲音高低有何影響。



圖 6：粗細不同的吸管

結果：

吹管粗細	第一次		第二次		第三次	
	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名
粗	792.4	sol 5 + 18	795.6	sol 5 + 25	791.3	sol 5 + 15
中	800.5	sol 5 + 35	790.7	sol 5 + 14	791.1	sol 5 + 15
細	801.7	sol 5 + 38	800.6	sol 5 + 35	806.1	sol 5 + 48

表 3：吹管粗細不同時的聲音頻率

討論：吹管粗細不同對聲音高低的影響不大。

實驗(四)：探討「吹孔直徑」對聲音高低的影響

方法：用不同粗細的鑽頭（如圖 7）鑽出不同直徑的吹孔，觀察它對聲音高低有何影響（參考附錄一）。



圖 7：粗細不同的鑽頭

結果：

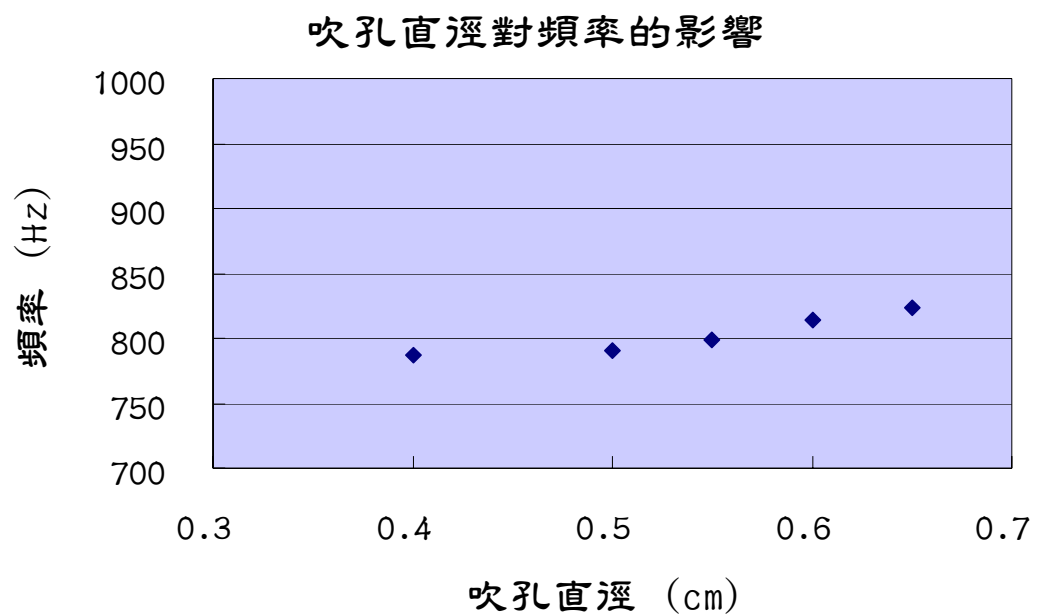


圖 8：吹孔大小不同時的聲音頻率

討論：由圖 8 可看出吹孔直徑在 0.5 cm ~ 0.65 cm 時，吹孔越大聲音越高。

實驗(五)：探討「吹孔位置」對聲音高低的影響

方法：觀察吹孔位置不同時（如圖 9）對聲音高低有何影響。



圖 9：在不同位置的吹孔

結果：

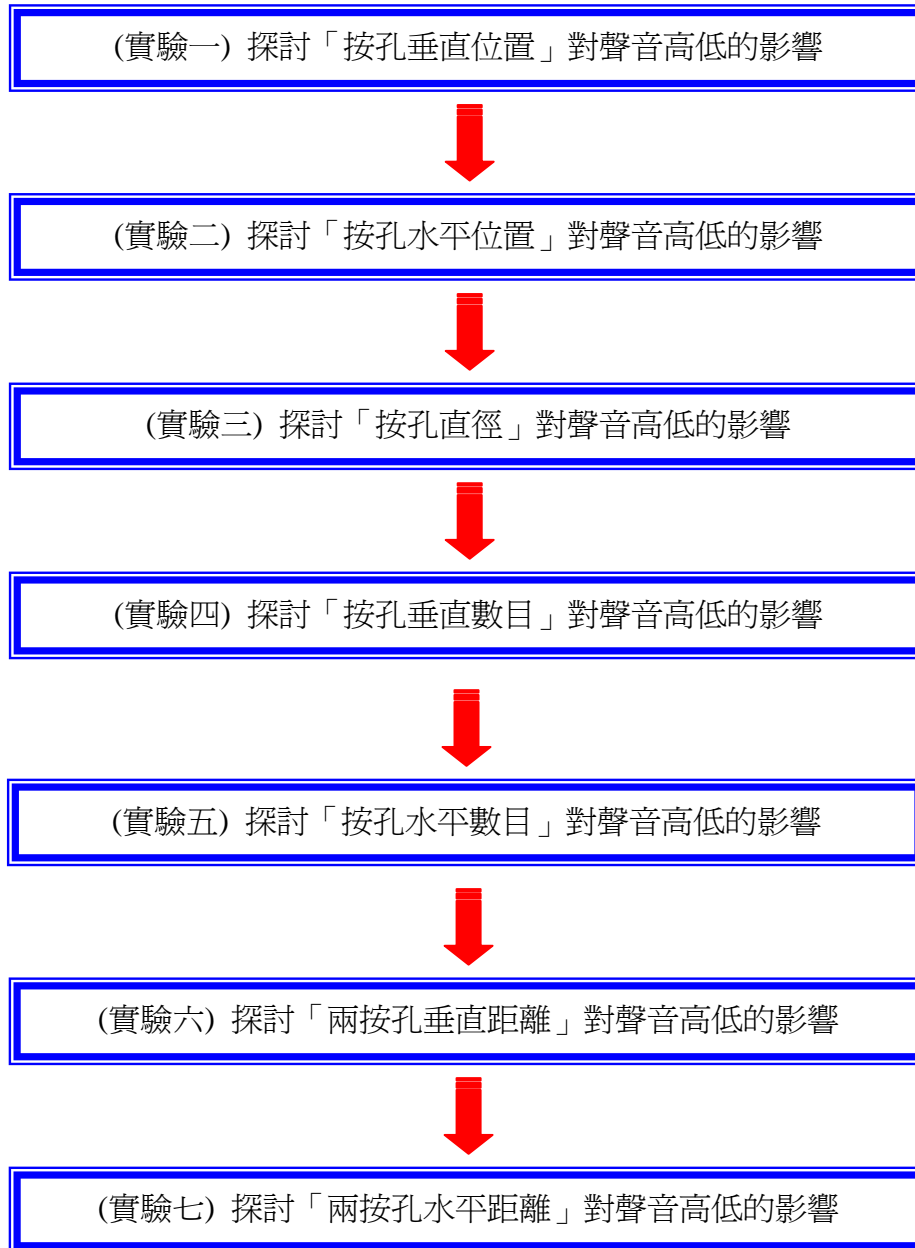
吹孔位置：和圓心的距離 (cm)	第一次		第二次		第三次	
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名
0	791.3	sol 5 + 16	796.8	sol 5 + 28	794.1	sol 5 + 12
0.7	805.8	sol 5 + 47	801.4	sol 5 + 37	805.6	sol 5 + 47
1.5	789.4	sol 5 + 11	798.1	sol 5 + 31	797.1	sol 5 + 29

表 4：吹孔位置不同時的聲音頻率

討論：可看出吹孔位置不同時，對聲音的高低影響不大；為了實驗方便，往後的實驗都將吹孔鑽在圓心位置。

研究二：探討多多笛的「按孔」對聲音頻率的影響

流程圖：



實驗(一)：探討「按孔垂直位置」對聲音高低的影響

方法：觀察按孔垂直位置不同時（如圖 10）對聲音高低有何影響（參考附錄二）。



圖 10：垂直方向在不同位置的按孔

結果：

按孔垂直位置對頻率的影響

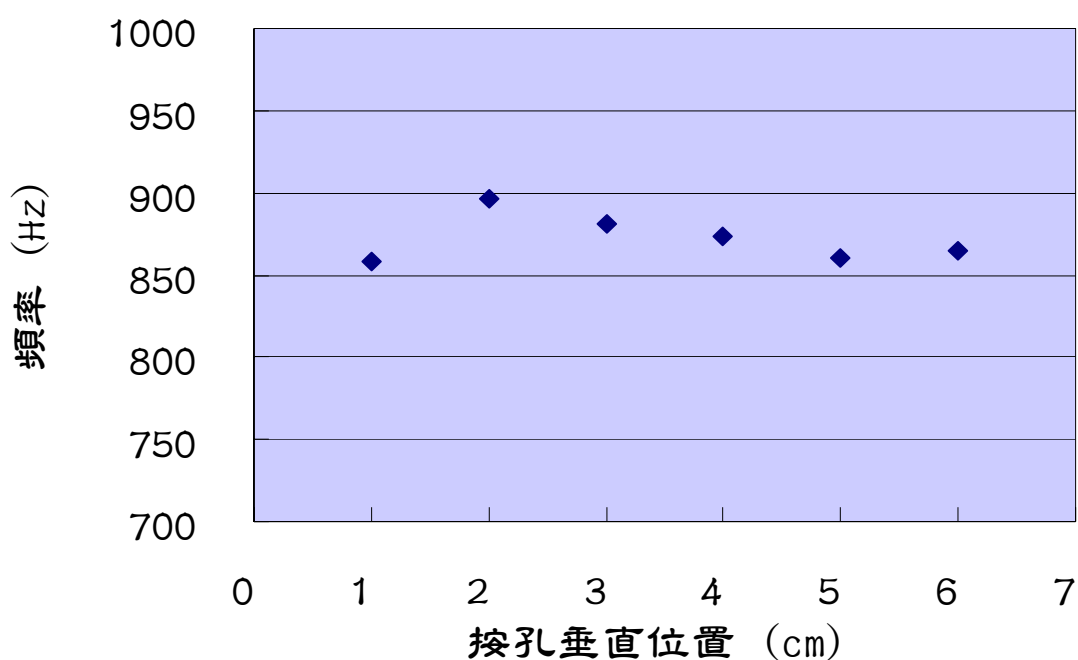


圖 11：按孔垂直位置不同時的聲音頻率

討論：當按孔的垂直位置介於 2.0 cm ~ 5.0 cm 時，位置越低聲音越低。

實驗(二)：探討「按孔水平位置」對聲音高低的影響

方法：觀察按孔水平位置不同時（如圖 12）對聲音高低有何影響。

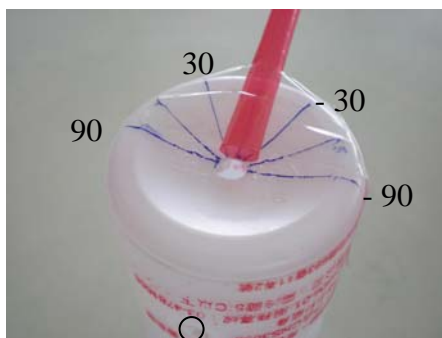


圖 12：水平方向在不同位置的按孔示意圖

結果：

角度 (度)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
90	879.4	la 5 - 1	873.9	la 5 - 11	876.0	la 5 - 7	876.4
60	885.3	la 5 + 10	876.5	la 5 - 6	877.5	la 5 - 4	879.8
30	881.5	la 5 + 2	882.0	la 5 + 4	884.4	la 5 + 8	882.6
0	893.0	la 5 + 25	900.4	la 5 + 39	899.9	la 5 + 48	897.8
-30	878.4	la 5 - 2	879.9	la 5 + 0	880.6	la 5 + 1	879.6
-60	867.5	la 5 - 24	869.4	la 5 - 20	871.5	la 5 - 16	869.5
-90	876.8	la 5 - 5	879.1	la 5 - 1	870.1	la 5 - 19	875.3

表 5：按孔水平位置不同時的聲音頻率

討論：可看出當吹管和吹孔、按孔所連成的直線夾角在 0° 時，聲音較高些。

實驗(三)：探討「按孔大小」對聲音高低的影響

方法：觀察按孔大小不同（如圖 13）時對聲音高低有何影響（參考附錄三）。



圖 13：不同直徑的按孔

結果：

按孔大小對頻率的影響

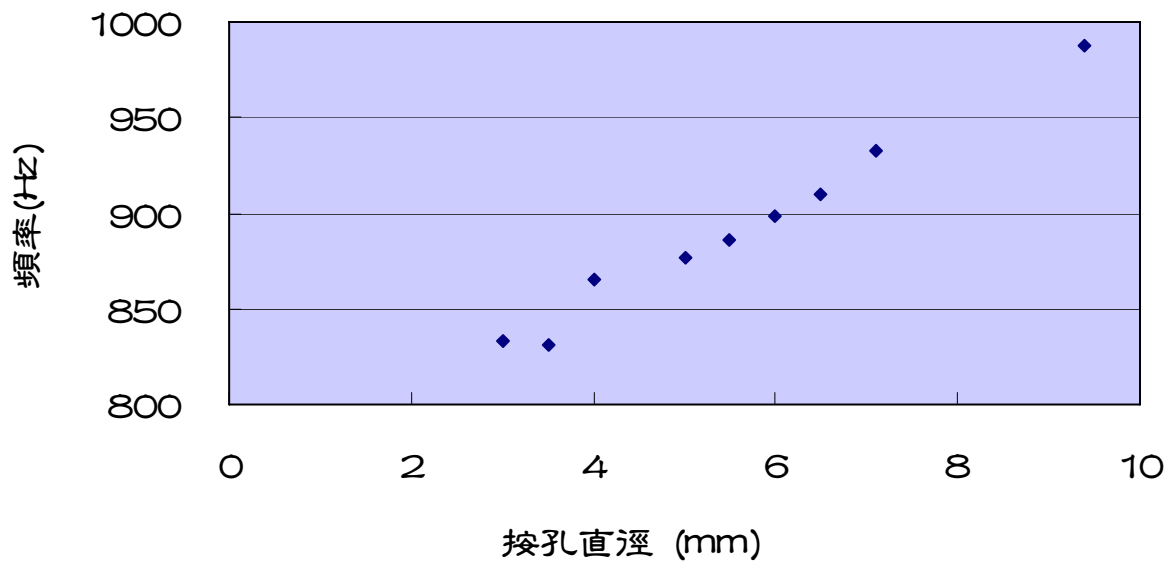


圖 14：按孔直徑不同時的聲音頻率

討論：當按孔的直徑介於 3.5 mm ~ 9.4 mm 時，直徑越大聲音越高。

實驗(四)：探討「按孔垂直數目」對聲音高低的影響

方法：鑽大小相同、數目不同的按孔(如圖 15)觀察對聲音高低有何影響(參考附錄四)。



圖 15：在垂直方向(由上而下)增加按孔

結果：

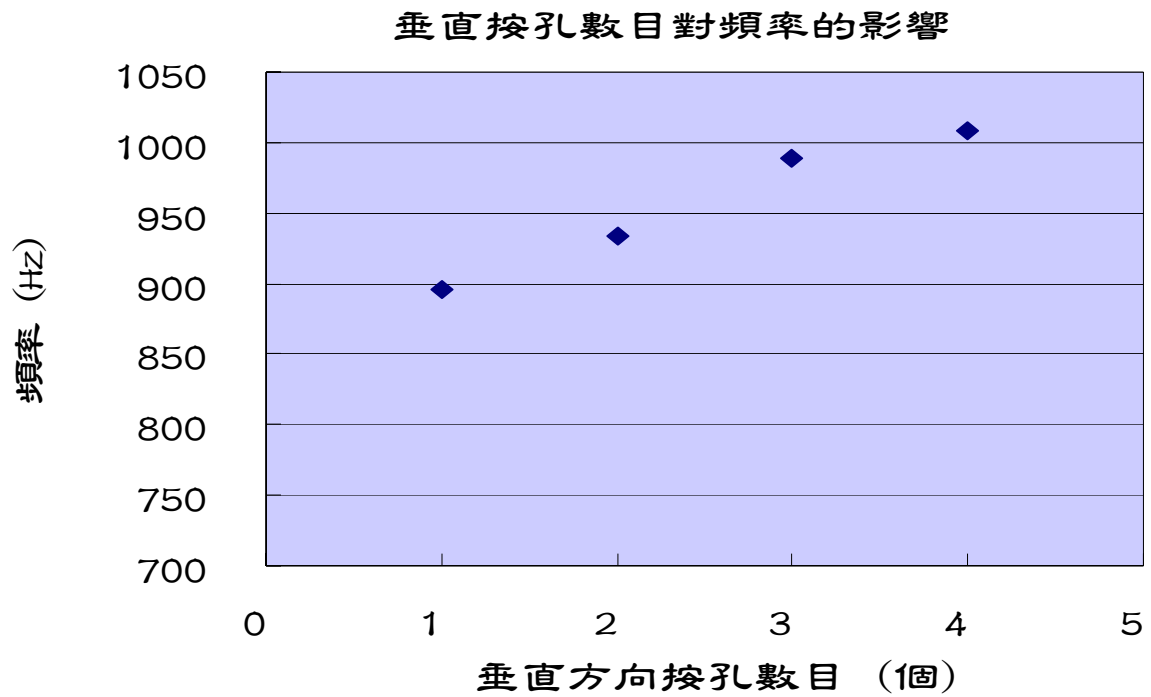


圖 16：垂直方向按孔數目不同時的聲音頻率

討論：當垂直方向的按孔數目越多時，聲音越高。

實驗(五)：探討「水平按孔數目」對聲音高低的影響

方法：在水平方向鑽大小相同、數目不同的按孔（如圖 17）觀察對聲音高低有何影響（參考附錄五）。



圖 17：在水平方向增加按孔

結果：

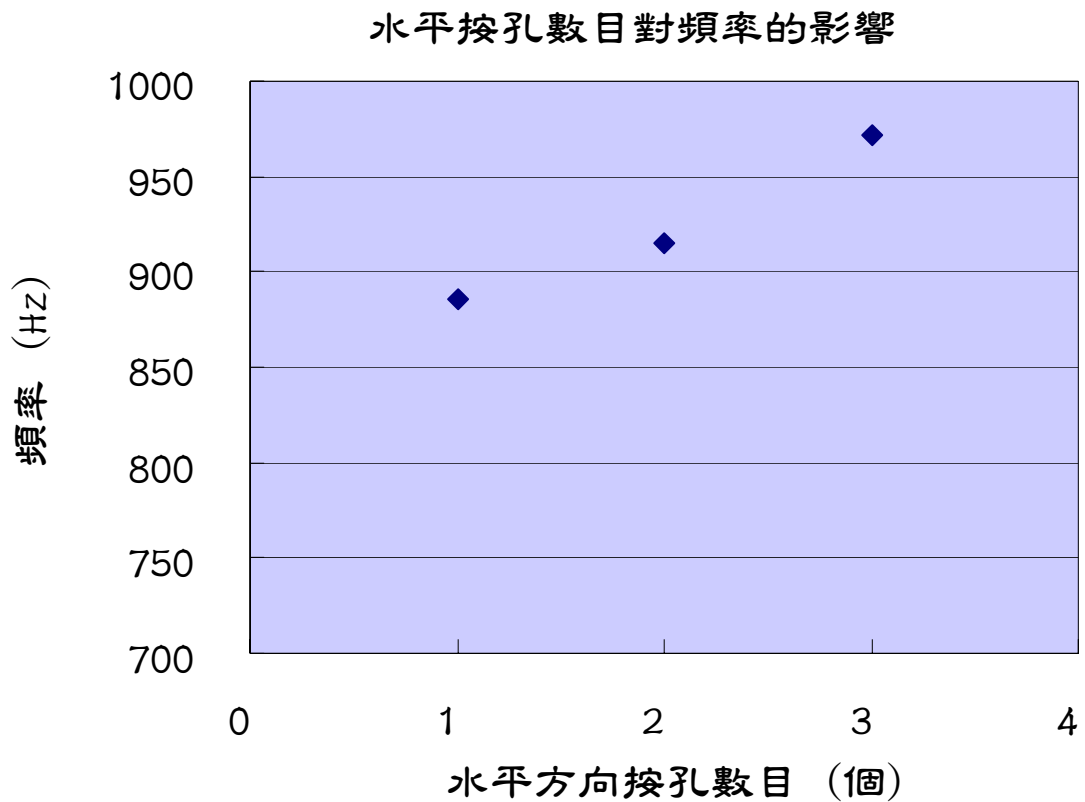


圖 18：水平方向按孔數目不同時的聲音頻率

討論：當水平方向的按孔數目越多時，聲音越高；但是水平按孔數目 4 個時卻吹不出音來（請參考附錄五）。

實驗(六)：探討「兩按孔垂直距離」對聲音高低的影響

方法：觀察兩按孔垂直距離不同時（如圖 19）對聲音高低有何影響。



圖 19：改變兩按孔在垂直方向的距離

結果：

按孔距離(cm)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
1	935.6	si ^b 5 + 6	932.6	si ^b 5 + 0	933.9	si ^b 5 + 2	934.0
2	934.1	si ^b 5 + 11	937	si ^b 5 + 8	934.1	si ^b 5 + 3	935.1
3	938.8	si ^b 5 + 11	936.9	si ^b 5 + 8	936.5	si ^b 5 + 8	937.4
4	930.9	si ^b 5 - 2	931.4	si ^b 5 - 1	933.4	si ^b 5 - 1	931.9

表 6：兩按孔垂直距離不同時的聲音頻率

討論：可看出兩按孔的垂直距離對聲音高低的影響不大。

實驗(七)：探討「兩按孔水平距離」對聲音高低的影響

方法：觀察兩按孔水平距離不同時（如圖 20）對聲音高低有何影響。

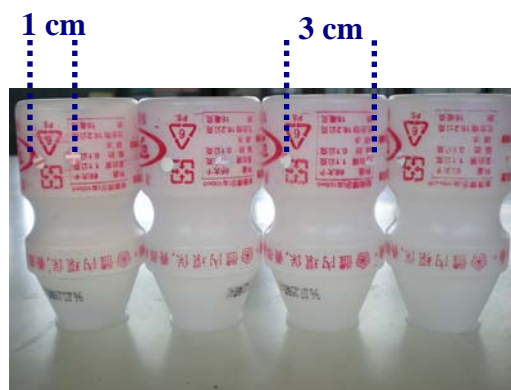


圖 20：改變兩按孔在水平方向的距離

結果：

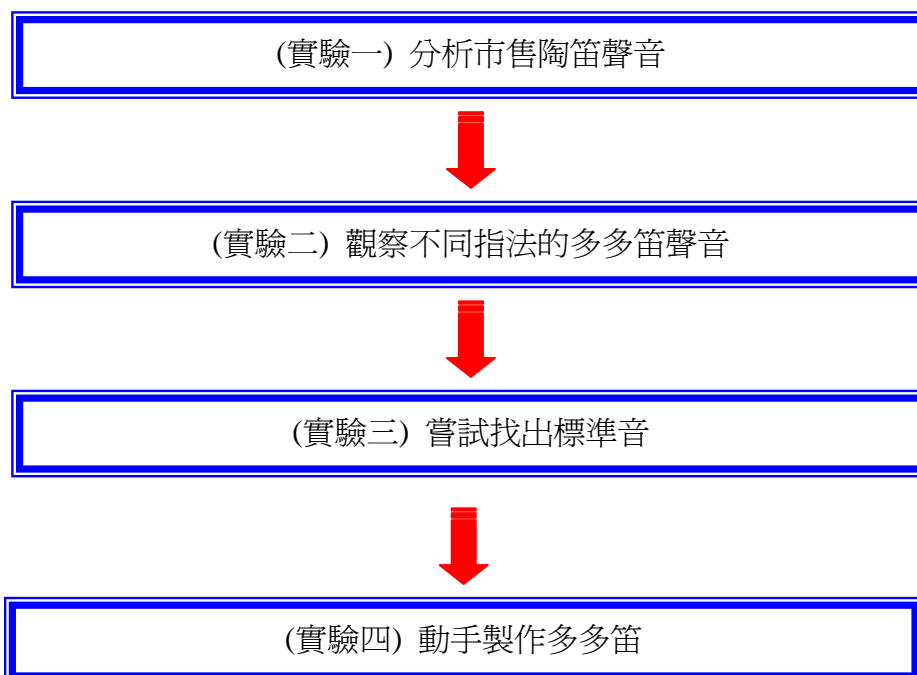
兩按孔水平 距離(cm)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
1	943.6	si ^b 5 + 20	940.3	si ^b 5 + 14	937.7	si ^b 5 + 9	940.5
2	948.3	si ^b 5 + 29	947	si ^b 5 + 27	948.6	si ^b 5 + 29	948.0
3	936.4	si ^b 5 + 8	938.8	si ^b 5 + 11	944.0	si ^b 5 + 21	939.7
4	953.9	si ^b 5 + 37	956.1	si ^b 5 + 43	955.1	si ^b 5 + 41	955.0

表 7：兩按孔水平距離不同時的聲音頻率

討論：可看出兩按孔的水平距離對聲音高低的影響不大。

研究三：動手製作多多笛

流程圖：



實驗(一)：分析市售陶笛聲音

方法：由前面研究二實驗(三)~(五)的結果發現，多多笛的聲音高低似乎主要決定在按孔的直徑和數目，也就是開孔的總面積；我們想知道陶笛是不是也有這種現象，於是找到二種市售陶笛（如圖 21），先測量按孔大小，再根據它的指法吹出各種音階並記錄（參考附錄六、七），最後作出開孔總面積和頻率的關係圖。



圖 21：市售二種陶笛（左為陶土、右為塑膠材質）

結果：

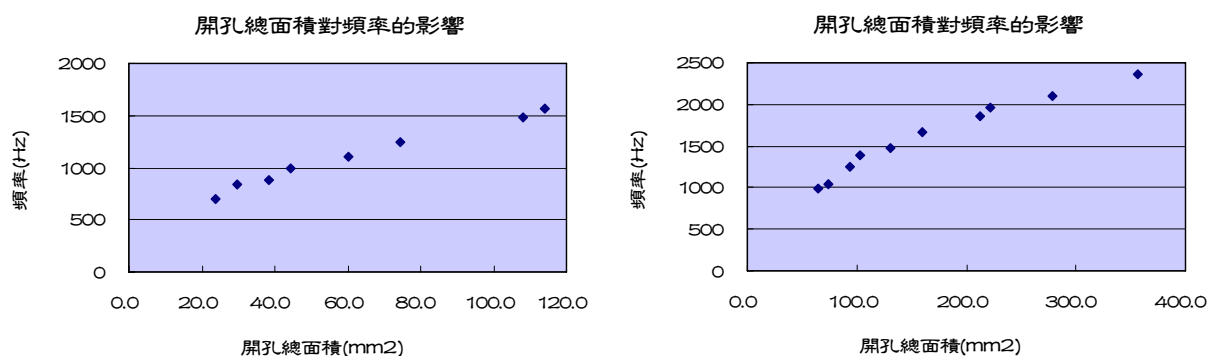


圖 22：市售二種陶笛開孔總面積與頻率的關係（左為陶土、右為塑膠材質）

討論：實驗結果顯示，二種陶笛果然都是開孔總面積越大頻率越高。

實驗(二)：觀察不同指法的多多笛聲音

方法：分析完市售陶笛，我們先製作一個按孔大小相同的多多笛（如圖 23），觀察不同的指法下可以吹出哪些音。

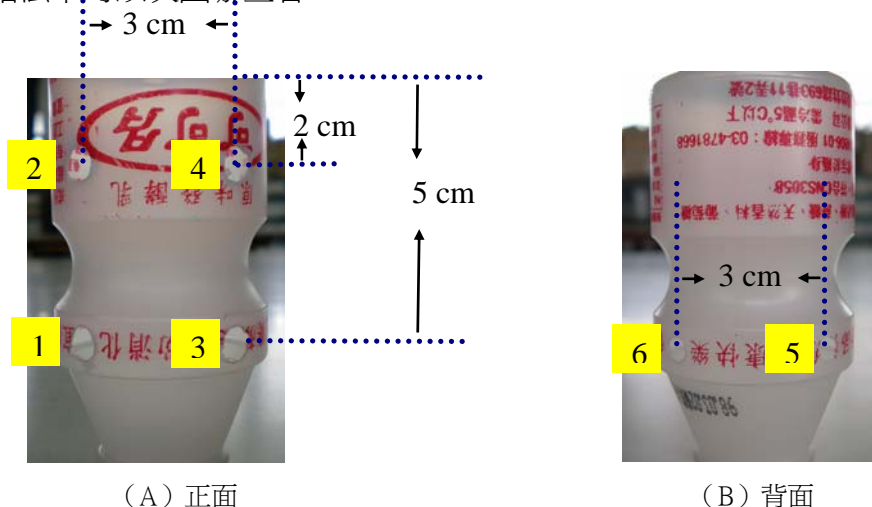


圖 23：製作按孔大小皆為 0.71 cm 的多多笛

結果：

指法	開孔總面積(註) (mm ²)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
		頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
全按	0	783.7	Sol5-3	785.4	Sol5+3	779.6	Sol5-9	782.9
放一個	39.6	878.9	La5-2	876	La5-7	877.5	La5-4	877.5
放二個	79.1	990.9	Si5+6	987.4	Si5-4	986.9	Si5-1	988.4
放三個	118.7	1043.5	Do6-4	1043.8	Do6-4	1040.4	Do6-9	1042.6
放四個	158.3	1111.1	Re ^b 6+4	1109	Re ^b 6+0	1111.7	Re ^b 6+4	1110.6
放五個	197.9	吹不出聲音						
全放	237.4							

表 8：按孔皆為 0.71 cm 的多多笛在不同指法下的聲音頻率
(註：開孔總面積不含多多笛的底部開口)

討論：實驗發現雖然開孔總面積越大聲音越高，可是太大又吹不出聲音來；所以我們試著把底部開口蓋住來製作多多笛。

實驗(三)：嘗試找出標準音

方法：1.先在瓶身上鑽 0.5 cm 的吹孔及 0.71 cm 的按孔，並將底部以保特瓶蓋蓋住，觀察不同指法下的頻率。

- 2.利用較大的鑽頭做適度的調音。
- 3.試著找出開孔總面積和頻率的關係。

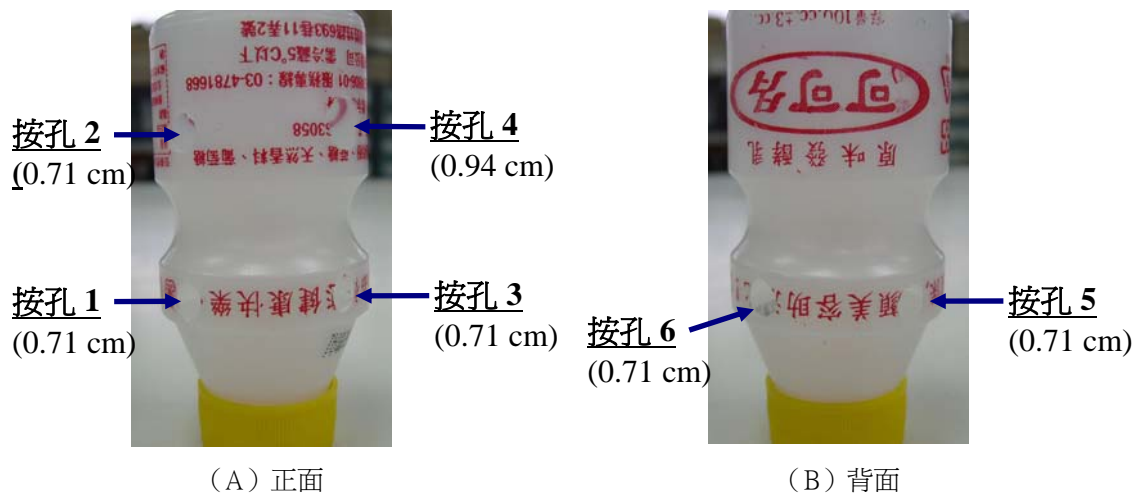


圖 24：經過適度調音後的多多笛

結果：

指法	開孔總面積 (mm ²)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
		頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
全按	0	415.8	La ^b 4+2	415.4	La ^b 4+1	416.3	La ^b 4+4	415.8
放一個	39.6	588.1	Re5+2	588.7	Re5+4	587.9	Re5+2	588.2
放二個	79.1	699.6	Fa5+3	694.6	Fa5-9	698.6	Fa5+1	697.6
放三個	118.7	781.7	Sol5-4	781.3	Sol5-5	782	Sol5-3	781.7
放四個	188.1	880.8	La5+1	878.7	La5-2	879.6	La5-4	879.7
放五個	227.7	吹不出聲音						
全放	267.2							

表 9：經過調音後的多多笛在不同指法下的聲音頻率

討論：

經過調音後的多多笛雖然可以吹出「La^b、Re、Fa、Sol、La」五個標準音，但音域還是不夠廣；由前面研究二實驗(三)的結果得知開孔大小和聲音高低似乎有一定的關係，因此我們嘗試以開孔總面積和頻率作圖找出這關係（如圖 25），再根據「Do、Re、Mi、Fa、Sol、La、Si」七個標準音頻率反求開孔總面積來決定該開多大的按孔（如表 10）。

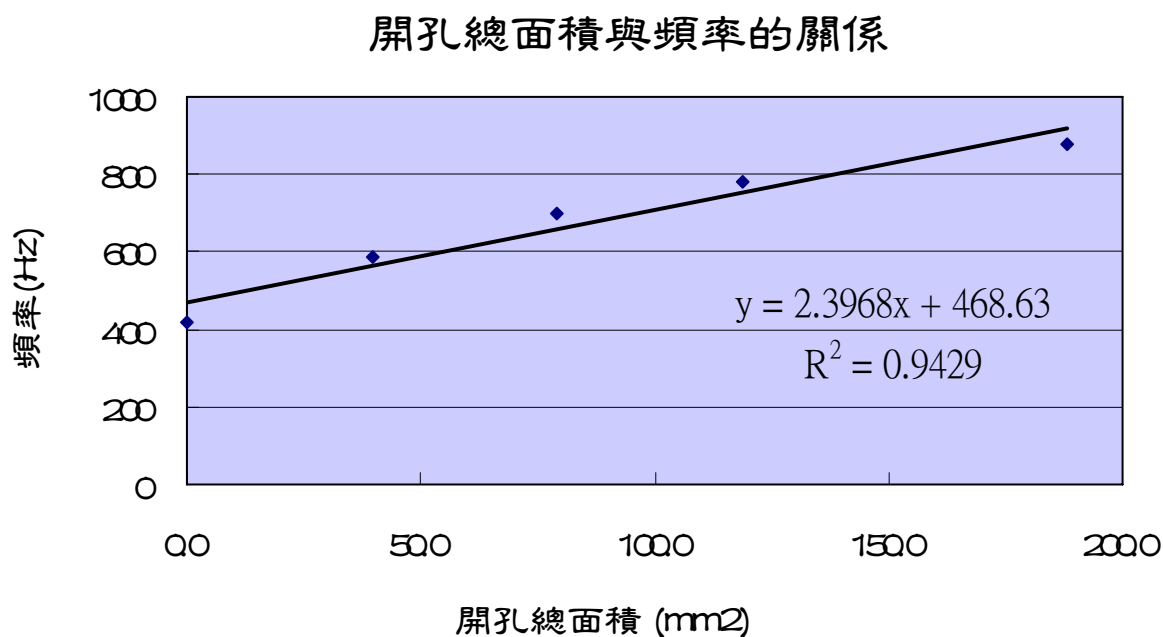


圖 25：經過調音後的多多笛開孔總面積和頻率的關係

以 Do 的標準音、頻率 523.25Hz 為例，利用圖 25 的算式 $y = 2.3968x + 468.63$ 可算出理論開孔總面積為

$$(523.25 - 468.63) \div 2.3968 = 22.79 \text{ (mm}^2\text{)}$$

再以 Excel 軟體試算出最接近的答案為：開一個直徑 5 mm (0.5 cm) 的按孔。其餘答案詳見表 10。

唱名	頻率(Hz)	理論開孔總面積(mm ²)	按孔直徑(mm)				實際開孔總面積(mm ²)
			按孔 1	按孔 2	按孔 3	按孔 4	
Do	523.25	22.79	5	0	0	0	19.6
Re	587.33	49.52	0	7.1	0	0	39.6
Mi	659.26	79.54	5	7.1	0	0	59.2
Fa	698.46	95.89	5	0	9.4	0	89.0
Sol	783.99	131.58	5	7.1	9.4	0	128.6
La	880	171.63	0	7.1	9.4	9.4	178.3
Si	987.77	216.60	5	7.1	9.4	9.4	197.9

表 10：根據 Do~Si 七個標準音頻率反求開孔總面積來決定按孔徑

實驗(四)：動手製作多多笛

方法：1.根據表 10 的結果先在瓶身上鑽四個按孔，並將底部以保特瓶蓋蓋住，觀察不同指法下的頻率。

2.測量結果發現四孔全放僅能吹至 La，於是在背面加開一 0.5 cm 的按孔。

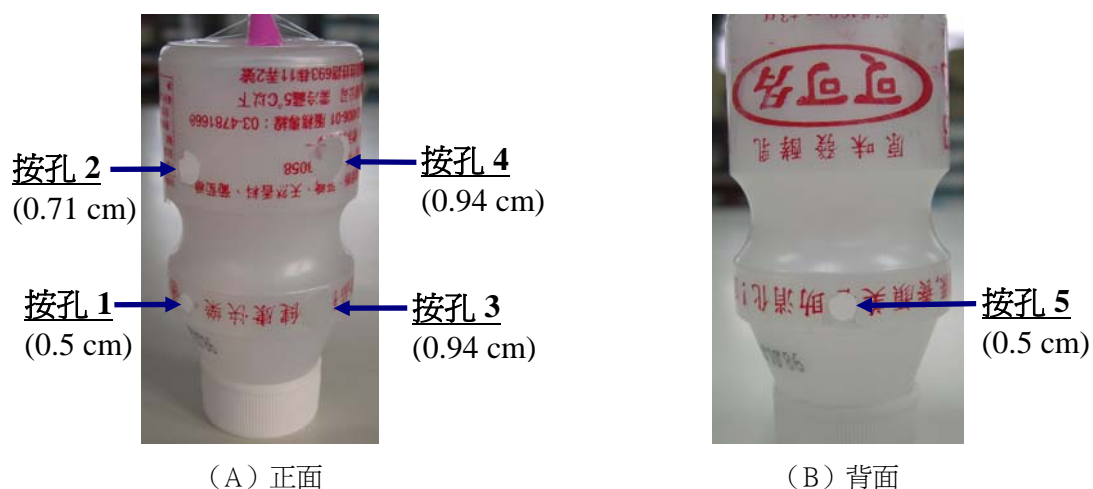


圖 26：可吹出七個標準音的多多笛

結果：

指法 (1,2,3,4,5 為按孔編號)	開孔總面積 (mm ²)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
		頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
放 1		19.6	523.2 Do5-0.1	522.5 Do5-1	526.3 Do5+10	524.0		
放 2		39.6	587.4 Re5+0.1	587.0 Re5-1	587.3 Re5+0	587.2		
放 1,2		59.2	662.2 Mi5+8	659.0 Mi5-0.3	661.7 Mi5+6	661.0		
放 1,3		89.0	700.2 Fa5+4	696.3 Fa5-5	696.5 Fa5-4	697.7		
放 1,2,3		128.6	787.1 Sol5+7	785.6 Sol5+4	780.9 Sol5-6	784.5		
放 1,2,3,4		197.9	878.2 La5-3	881.5 La5+2	880.8 La5+1	880.2		
全放		217.5	989.8 Si5+4	991.7 Si5+7	984.1 Si5+5	988.5		

表 11：可吹出七個標準音的多多笛在不同指法下的聲音頻率

討論：我們終於做出可吹「Do、Re、Mi、Fa、Sol、La、Si」七個標準音的多多笛了！

伍、結論

- 一、「吹管口」形狀對聲音高低的影響不大，但是得將管口壓扁些才能吹出聲音來。
- 二、「吹孔越大」聲音越高。
- 三、「吹管角度」、「吹管粗細」及「吹孔位置」對聲音高低的影響不大。
- 四、「按孔位置」越靠近吹孔時聲音越高。
- 五、「按孔越大」聲音越高。
- 六、「垂直或水平方向的按孔數目越多」聲音越高。
- 七、「兩按孔在垂直或水平方向的距離」對聲音高低的影響不大。
- 八、在按孔位置固定的情況下，多多笛的**聲音高低**主要決定在**按孔的大小和數目**，也就是**開孔總面積**。我們根據這樣的關係，從已知的標準音頻率反求開孔總面積來決定按孔大小，終於做出可吹「Do、Re、Mi、Fa、Sol、La、Si」七個標準音的多多笛了！
- 九、原來廢棄的養樂多罐還可以做成美妙的樂器，以後我們要更珍惜身邊的各種資源！



陸、未來展望

- 一、實驗(一)希望可以有更具體的數據呈現吹管口的壓扁程度。
- 二、許多管樂器根據體積大小而有高、中、低音之分，對於形狀相同體積更大的養樂多罐，音域是否會有所差異，我們深感興趣！

柒、參考資料

- 一、林珮筠等六人（民 94）。**水中號手—菱角樂器**。中華民國第 45 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、許世杭、羅婉綺、林佳嫻（民 95）。**勇士之音—鄒之鼻笛**。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 三、楊舒媛、莊曉萍、林宛瑩（民 96）。**魔笛機密**。中華民國第 47 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、程悅君等三人（民 97）。**國小自然與生活科技（6 上）**。臺北市：牛頓出版公司。

捌、附錄

附錄一：「吹孔直徑」不同時的聲音頻率

吹孔直徑 (mm)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
0.4	787.3	sol 5 + 7	786.0	sol 5 + 7	789.6	sol 5 + 12	787.6
0.5	789.0	sol 5 + 11	793.3	sol 5 + 20	789.6	sol 5 + 11	790.6
0.55	798.4	sol 5 + 31	798.8	sol 5 + 31	798.6	sol 5 + 31	798.6
0.6	811.8	la ^b 5 - 29	814.0	la ^b 5 - 35	816.7	la ^b 5 - 29	814.2
0.65	822.2	la ^b 5 - 16	823.3	la ^b 5 - 14	826.6	la ^b 5 - 8	824.0

附錄二：「按孔垂直位置」不同時的聲音頻率

按孔垂直位置 (cm)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	頻率 (Hz)	唱名	
1	856.8	la 5 - 45	859.5	la 5 - 40	857.9	la 5 - 43	858.1
2	895.8	la 5 + 31	897.0	la 5 + 33	895.6	la 5 + 31	896.1
3	881.8	la 5 + 3	882.0	la 5 + 4	880.8	la 5 + 1	881.5
4	878.0	la 5 - 4	865.5	la 5 - 28	878.2	la 5 - 3	873.9
5	867.0	la 5 - 25	856.5	la 5 - 45	858.6	la 5 - 41	860.7
6	863.7	la 5 - 32	862.7	la 5 - 33	866.6	la 5 - 26	864.3

附錄三：「按孔直徑」不同時的聲音頻率

按孔直徑 (mm)	按孔面積 (mm ²)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
		頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	
3	7.1	834.8	La ^b 5+8	832.1	La ^b 5+3	831.4	La ^b 5+1	832.8
3.5	9.6	831	La ^b 5+4	831.9	La ^b 5+3	830.1	La ^b 5-1	831.0
4	12.6	868.2	La5-22	863.9	La5-31	864.8	La5-29	865.6
5	19.6	873.7	La5-10	877	La5-5	878.4	La5-2	876.4
5.5	23.7	885.3	La5+10	887	La5+13	885.3	La5+16	885.9
6	28.3	902.2	La5+43	899.6	La5+38	893.7	La5+37	898.5
6.5	33.2	909.6	Si ^b 5-41	909.1	Si ^b 5-42	910.8	Si ^b 5-39	909.8
7.1	39.6	933.9	Si ^b 5+2	935.4	Si ^b 5+6	929.4	Si ^b 5-4	932.9
9.4	69.4	987.7	Si5-1	990.4	Si5+4	985.5	Si5-3	987.9

附錄四：「按孔垂直數目」不同時的聲音頻率

數目 (個)	離吹孔 位置 (cm)	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
		頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	
1	2	894.9	la5 + 29	897.0	la5 + 33	894.6	la5 + 29	895.5
2	3	934.4	si ^b 5 + 4	930.1	si ^b 5 - 3	935.9	si ^b 5 + 7	933.5
3	4	987.7	si 5 + 10	989.3	si 5 + 3	990.1	si 5 + 4	989.0
4	5.5	1009.6	si 5 + 31	1005.0	si 5 + 29	1011.2	si 5 + 11	1008.6

附錄五：水平按孔（各相距 2 cm）數目不同時的聲音頻率

水平按孔 數目（個）	第一次		第二次		第三次		平均 (Hz)
	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	頻率(Hz)	唱名	
1	895.6	la5 + 30	880.1	la5 + 0	881.3	la5 + 2	885.7
2	914.5	si ^b 5 - 33	917.8	si ^b 5 - 27	914.3	si ^b 5 - 34	915.5
3	971.1	si 5 - 29	976.3	si 5 - 19	967.5	si 5 - 35	971.6
4	吹不出聲音						

附錄六：市售陶笛開孔總面積與頻率的關係

唱名	D0 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	總面積 (mm ²)	第一次	第二次	第三次	平均 (Hz)
							頻率(Hz)	頻率(Hz)	頻率(Hz)	
Do	5.5	0	0	0	0	23.7	700.2	699.9	697.1	699.1
Re	5.5	2.8	0	0	0	29.9	835.2	835	831.6	833.9
Mi	5.5	0	4.3	0	0	38.3	882	885.6	879.4	882.3
Fa	5.5	2.8	4.3	0	0	44.4	989.3	987.8	984.1	987.1
Sol	5.5	2.8	0	6.2	0	60.1	1106.4	1113.2	1109.6	1109.7
La	5.5	2.8	4.3	6.2	0	74.6	1240.8	1251.7	1250.3	1247.6
Si	5.5	0	4.3	6.2	7.1	108.0	1485.8	1479.5	1482.7	1482.7
高 Do	5.5	2.8	4.3	6.2	7.1	114.2	1575	1572	1566.1	1571.0

附錄七：塑膠陶笛開孔總面積與頻率的關係

唱名	D0 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	D6 (mm)	總面積 (mm ²)	第一次	第二次	第三次	平均 (Hz)
									頻率 (Hz)	頻率 (Hz)	頻率 (Hz)	
Do	9.1	0	0	0	0	0	0	65.0	991.5	983	989.5	988.0
Re	9.1	3.3	0	0	0	0	0	73.6	1051.4	1044.1	1043.2	1046.2
Mi	9.1	0	6.1	0	0	0	0	94.2	1249.8	1241.5	1250.8	1247.4
Fa	9.1	3.3	6.1	0	0	0	0	102.8	1389.3	1389.3	1389.3	1389.3
Sol	9.1	3.3	0	8.5	0	0	0	130.3	1477.9	1487.4	1480	1481.8
La	9.1	3.3	6.1	8.5	0	0	0	159.5	1664.6	1664.2	1670.1	1666.3
Si	9.1	0	6.1	8.5	8.9	0	0	213.1	1872.3	1865.7	1856.8	1864.9
高Do	9.1	3.3	6.1	8.5	8.9	0	0	221.7	1965.6	1971.6	1971	1969.4
高Re	9.1	3.3	6.1	8.5	8.9	8.5	0	278.4	2098.9	2103.4	2096.3	2099.5

附錄八：西洋音階「音名」與「頻率」對照圖

頻率 (Hz)	鍵盤	音名	頻率 (Hz)
		B5	987.77
932.33		A5	880.00
830.61		G5	783.99
739.99		F5	698.46
		E5	659.26
622.25		D5	587.33
554.37		C5	523.25
		B4	493.88
466.16		A4	440.0
415.30		G4	392.00
369.99		F4	349.23
		E4	329.63
311.13		D4	293.67
277.18		C4	261.63
		B3	246.94
233.08		A3	220.00
207.65		G3	196.00
185.00		F3	174.61
		E3	164.81
155.56		D3	146.83
138.59		C3	130.81

【評語】 080805

- 1、 使用回收 PS（聚苯乙烯） 瓶，具再利用之環保觀念。
- 2、 研究方法及結果呈現為本作品表現最佳之處。利用鑽孔位置、大小、個數，並將此諸變數與發出音頻及音量作相關為此作品最佳成就處。
- 3、 回收瓶材質與音頻音量之關係可再作探討；另可標準化後變成商品生產。