

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

081504

哇!我「看見」聲音

學校名稱：臺中縣龍井鄉龍海國民小學

作者： 小六 王旻晨 小六 陳姿吟 小六 王裕鼎 小六 童勇誠 小六 陳慧晏 小六 卓新偉	指導老師： 李義評 紀慶隆
---	-------------------------

關鍵詞：滾筒示波器、聲音、頻率

哇！我「看見」聲音

摘要

本研究爲了能看見聲音，我們查閱相關資料，從文獻中可知，科博館所展示的「滾筒示波器」，有類似電氣式「示波器」功能，可以看見聲音。由於科博館的「滾筒示波器」不但體積大，而且部份功能欠缺。所以先對「滾筒示波器」進行重新設計、製作及組裝完成「自製滾筒式示波器」。進行一系列影響「波數」的因素研究後，找出影響波數有二項因素爲滾筒轉速、弦張力及弦粗細。三因素可歸納爲轉動頻率及弦頻率，經由實驗歸納波數、轉動頻率及弦頻率關係爲弦頻率=轉動頻率x波數x2。最後以吉他做看見聲音的實驗，以A2=110hz左右做實驗，用看的影像可以計算出的聲音頻率，準確程度達到九成三左右，達到「哇！我看見聲音」。

壹、 研究動機

在台中科博館參觀時,讓我看到了一項設備,這項設備有一個滾筒,還有一把吉他連接著3條弦到下面的固定器,而下面的固定器裝置著一個踏板,當滾筒旋轉時,我看到弦產生了變化,這項設備讓我們覺得很好奇,因此我們就開始做起了『聲音視覺化』的研究。

貳、 研究目的

- 1、自行設計研發一個滾筒式示波器。
- 2、以控制變因，找出影響「波數產生」的因素。
- 3、運用反覆實驗，整理出波數規則。
- 4、運用波數規則，配合樂器，實驗證明『聲音視覺化』。

參、 文獻探討

科博館所展示的「滾筒示波器」，目前世界有十八個科教機構展示。相關的文章顯示出可以目視出弦的振動，並且有類似電氣式「示波器」功能。當弦變緊時，你所聽到的音調越高，你也會看到吉他弦所產生的小波動影像數目增加。



肆、 研究設備及器材

磅秤、奶粉罐、膠帶、直流電源器、木板、黏土、磁鐵板、橡皮線、釘子、攝影機、照相機。



伍、 研究過程及方法

實驗一：自製滾筒式示波器

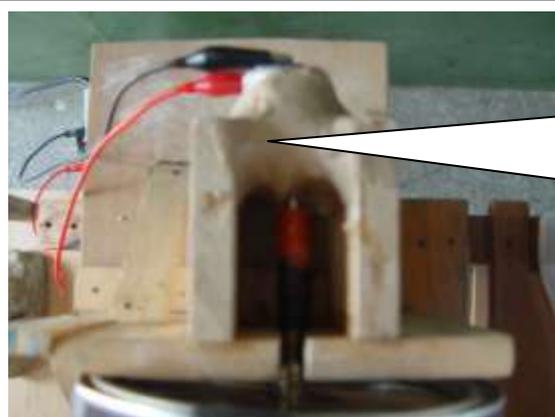
裝置上還有一些設計的特點：



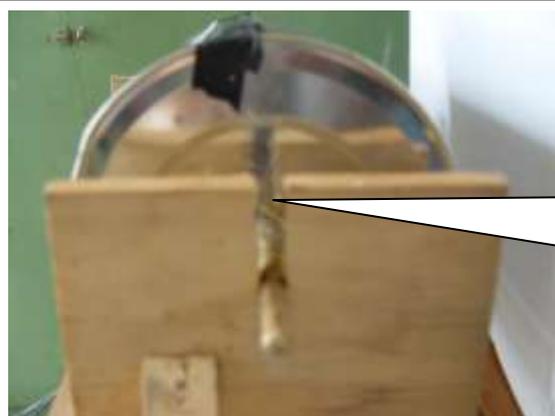
科博館的弦是用腳踏板改變張力，不可以拆換。我們的弦，可以拆換，可以變換成粗、中、細直徑的弦。也可以運用膠帶的重量做為張力。



科博館的滾筒示波器是用手轉的，我們把用手轉的部份改用馬達，使實驗的準確性更好，可以改善用手轉的不穩定。另外我們選用「直流電源器」，它有一個特點，就是可以控制電壓，改變滾筒轉速。



在還沒上黏土時，在滾筒轉動時，會產生劇烈搖晃，在黏上黏土後，改善了這個問題。而且用黏土固定馬達，要拆換時很方便。



凹槽的設計，滾筒可以很快的裝入和取下。方便換成大、中、小尺寸的滾筒。

實驗二：影響波數因素的探討

推測實驗結果

因素一：不同轉動：(每分鐘 104、152、180 轉)

假設：滾筒轉動速度快，波數變少。

原因：滾筒轉動速度快，但弦振動速度不變，由相對速度的觀點看，產生的波會被拉長，波數變少。反之滾筒轉動速度慢，產生的波會被壓縮，波數增多。

因素二：不同弦張力 (75 公克、150 公克、300 公克)

假設：弦的張力會影響弦振動的速度，張力越大、弦振動速度變快、波數變多。

原因：弦的鬆緊度跟所承受的重量 (由 75 公克變成 150 公克變成 300 公克) 成正比，弦較緊、弦振動的速度會升高，此時波會變小，波數增加。

因素三：不同白線數 (一、二、四、八線)

假設：白線數目變多，波數不變。

原因：波形的產生是弦振動速度及滾筒轉速相對速度的結果，因弦振動速度及滾筒轉速不變，所以產生的波形是 (週期) 不變。即不論一、二、四、八條白線，波形一致。

因素四：弦粗細 (粗、中、細)

假設：弦粗細會影響波形產生，弦較粗，波數變少。

原因：弦所受張力一致 (75 公克)，但弦粗細不同時，弦直徑較粗，平均所受力量較低，較鬆，弦振動速度會變慢，波數會變小。

因素五：滾筒上線的顏色 (白、黃、藍、粉紅)

假設：滾筒上線顏色變化時，波數不變。

原因：弦的顏色是黑色，如果後面搭的滾筒是相反的色系，那就會看得比較清楚。如果兩者顏色接近，則會變得比較不清楚，例如我們所採用黑白對比色，因為對比關係，讓我們從視覺上容易看到波形。

因素六：滾筒上線的粗細 (0.5、1、2cm)

假設：滾筒上線粗細變化時，波數不變，視覺上有影響。

原因：線的大小變化，我覺得線越粗時會越清楚，因為線的體積越大，弦來回震動交錯的點會比較容易跑到白線上，所以比較容易看得清楚。

因素七：滾筒直徑 (10、13、15.5 公分)

假設：滾筒直徑變化不會影響波數，但會影響波形。

原因：滾筒直徑不影響波數，但因可顯相的面積變大，波形會變大，但波數不會改變。

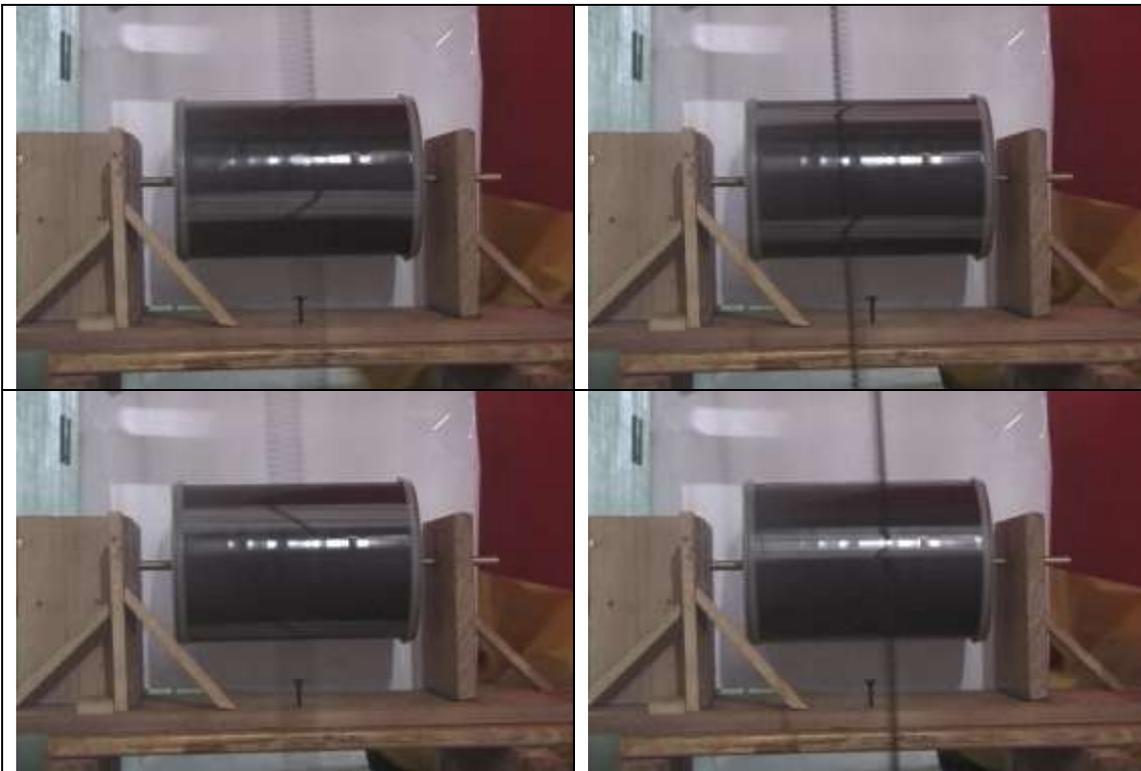
實驗證明

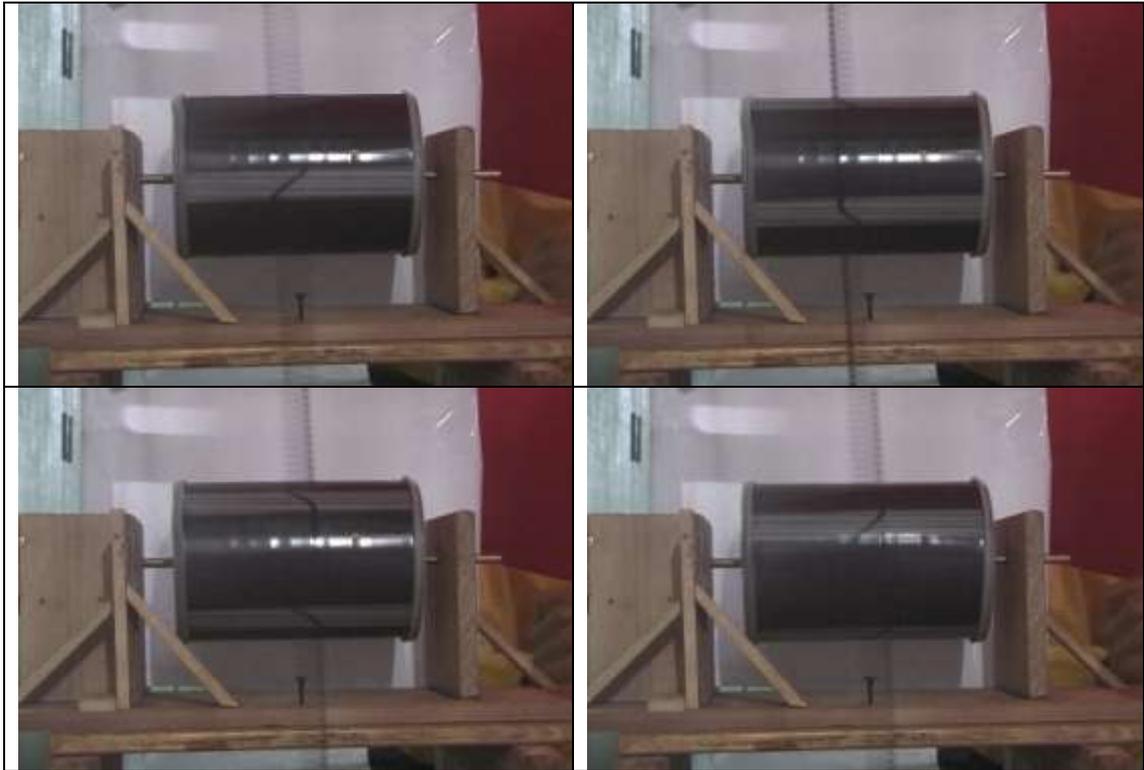
1.不同轉速的影響：

將直流電源器轉到電壓 6 伏特，此時滾筒轉速為每分 104 轉。變換到電壓 9 伏特，滾筒轉速換成每分 152 轉。電壓 12 伏特時，此時轉速為每分 180 轉。

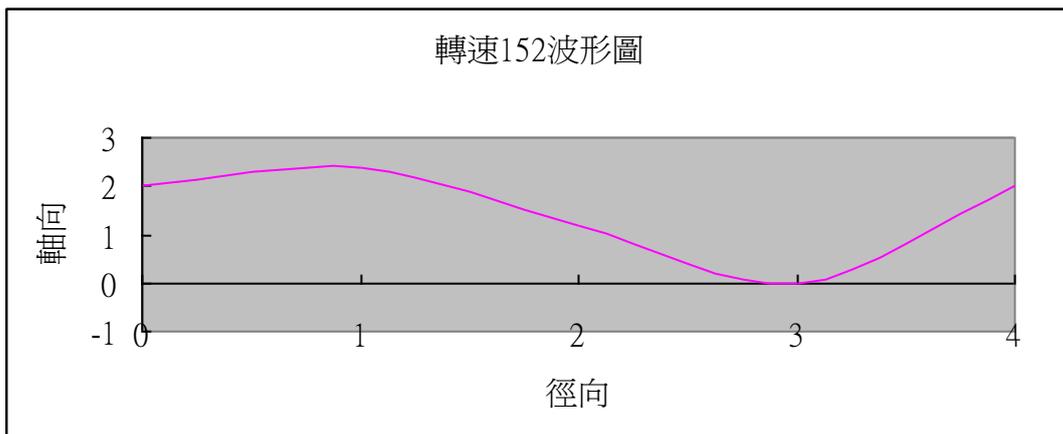
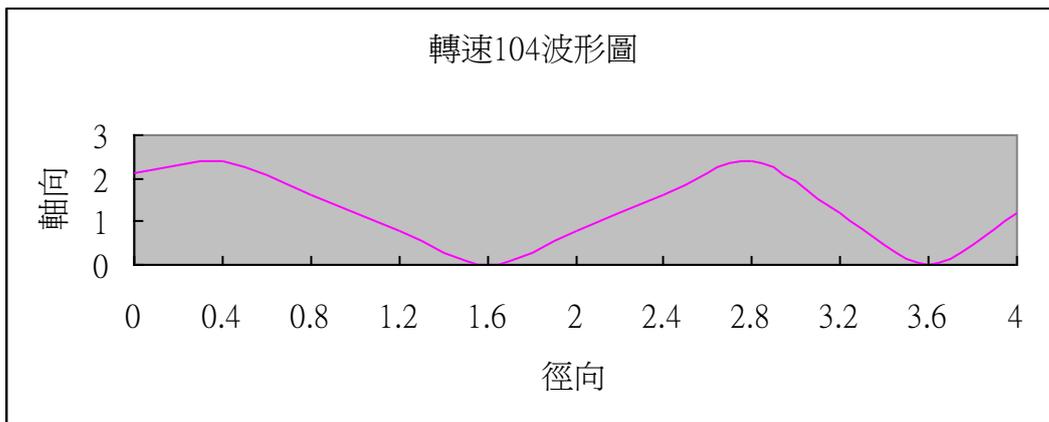


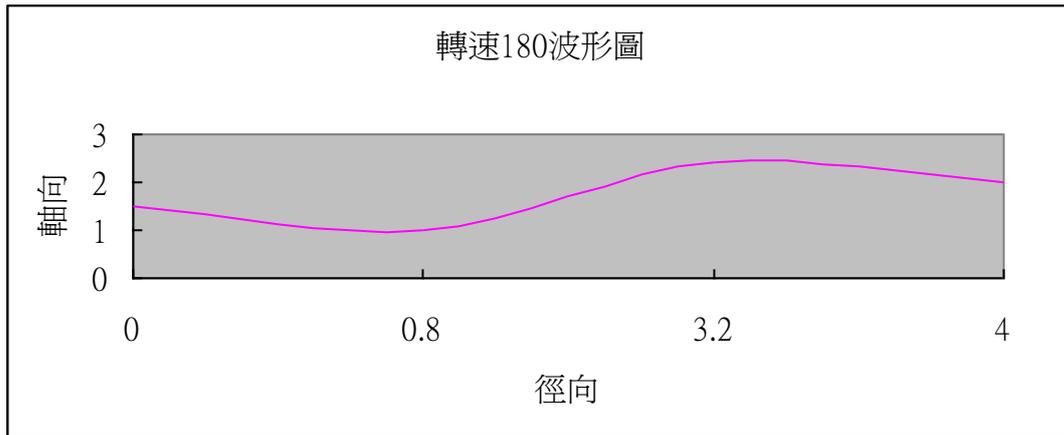
滾筒的轉速分別為每分鐘 104 轉、152 轉、180 轉。用攝影機記錄後做分析。將顯示出的波逐點繪出，看到的影像如下：





徑向表示直徑方向，將分為五等份（0 到 4），軸向為轉軸方向，軸向數據用尺量出。在畫圖時，要標示出波最大值與最小值的特殊位置，所以徑向有小數點出現。





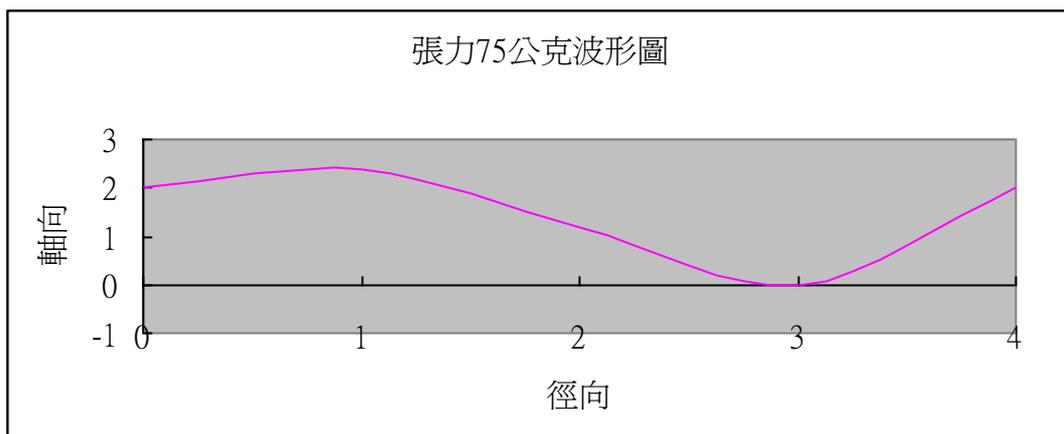
滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
104	75	4	粗	白	0.5	13	1.8
152	75	4	粗	白	0.5	13	1
180	75	4	粗	白	0.5	13	0.88

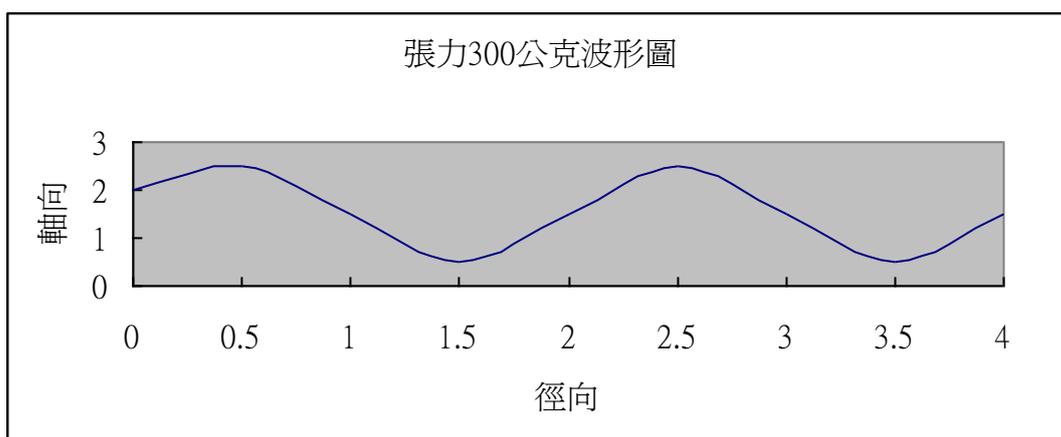
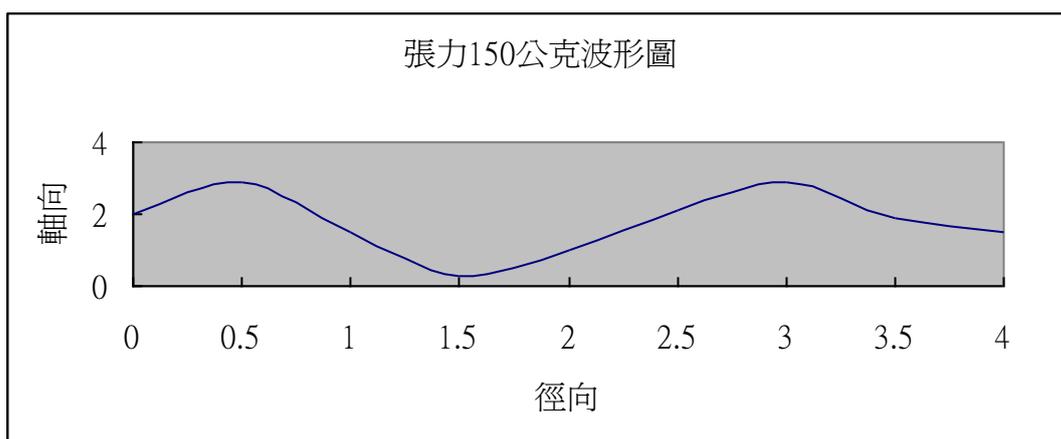
轉速越快，波數變少，因為弦會加速通過至另一個位置。轉速慢，波數變多，因為弦會在一個白線上慢慢的移動。轉速和波數有關，兩者成轉速越大，波數越少的關係。

2.不同弦張力的影響



使用不同膠帶，組合成重量為 75 公克、150 公克及 300 公克，逐次將膠帶吊在弦上，並記錄長度後，綁在釘子上，做為弦的張力：



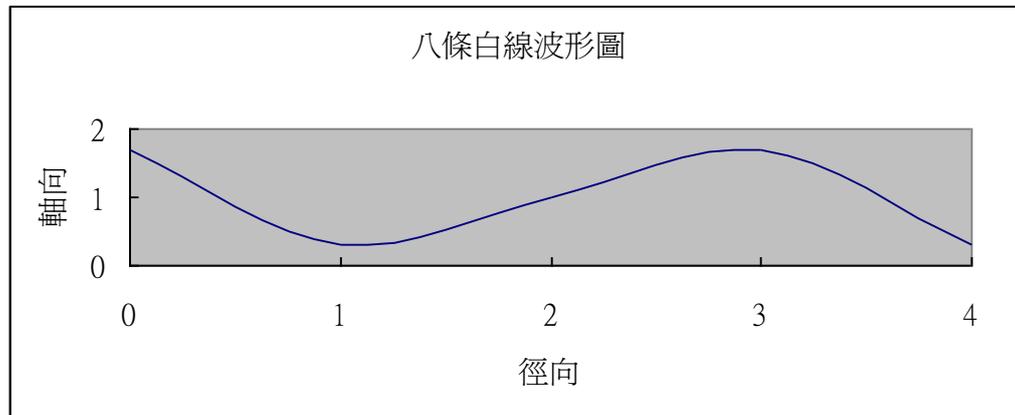
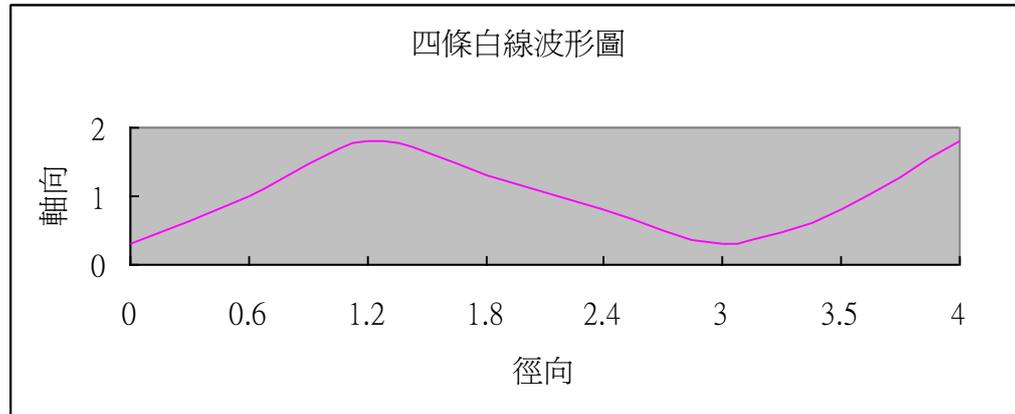
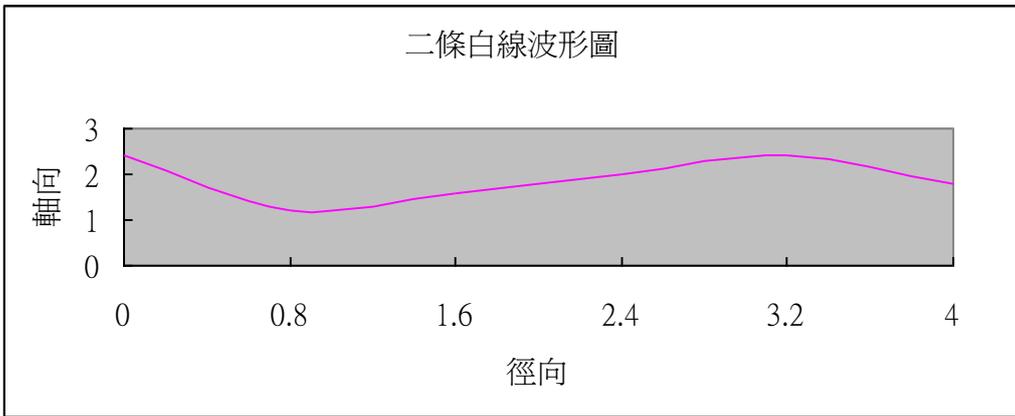
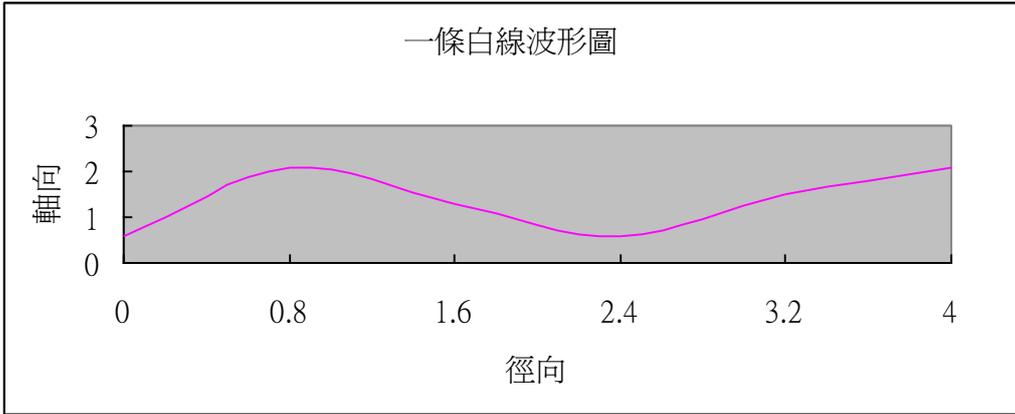


滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	4	粗	白	0.5	13	1
152	150	4	粗	白	0.5	13	1.4
152	300	4	粗	白	0.5	13	1.9

弦變鬆,波形變大。因為弦鬆時,弦振動頻率變少。來回次數變少,弦與白線的接觸點也會變少。弦變緊,波形變小。因弦緊所以在彈的期間速度快,波雖然多、又密集,但消失的速度也快。張力增加,弦速越快,波數增加。張力和波數有關,兩者成張力越大,波數越多的關係。

3.不同白線數的影響：

滾筒等距離黏上不同數目的白線,共有一、二、四、八條四種白線。



滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	1	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	2	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	4	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	8	粗	白	0.5	13	1.5

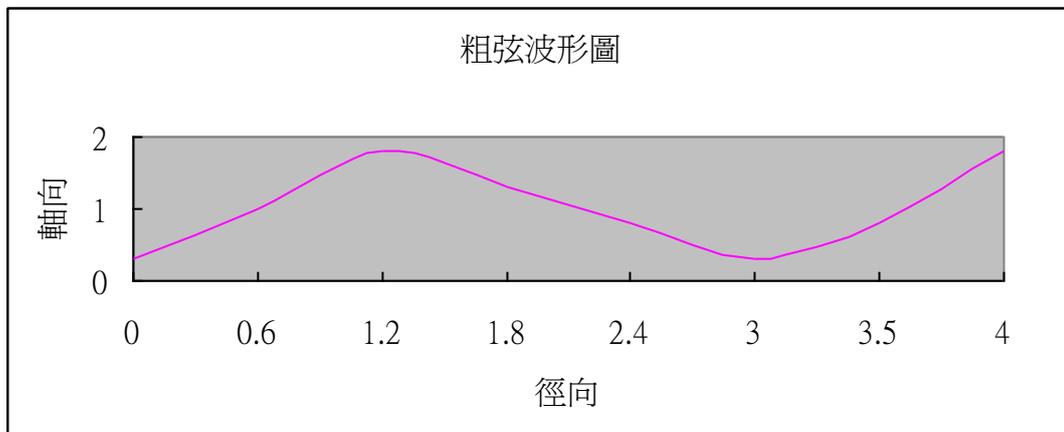
白線數目變化時，波形不變，波數不變（大約 1.5），但四條及八條白線實驗時，會有二到三個波同時出現，產生多組波。

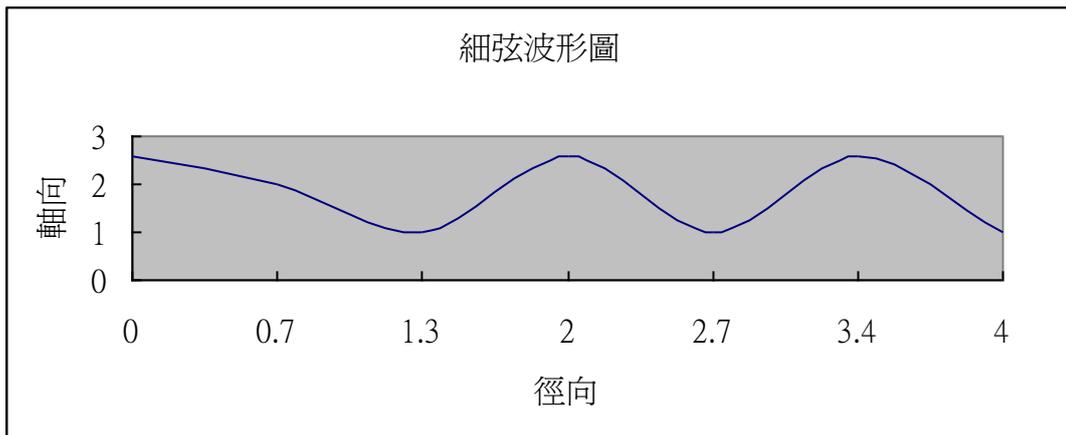
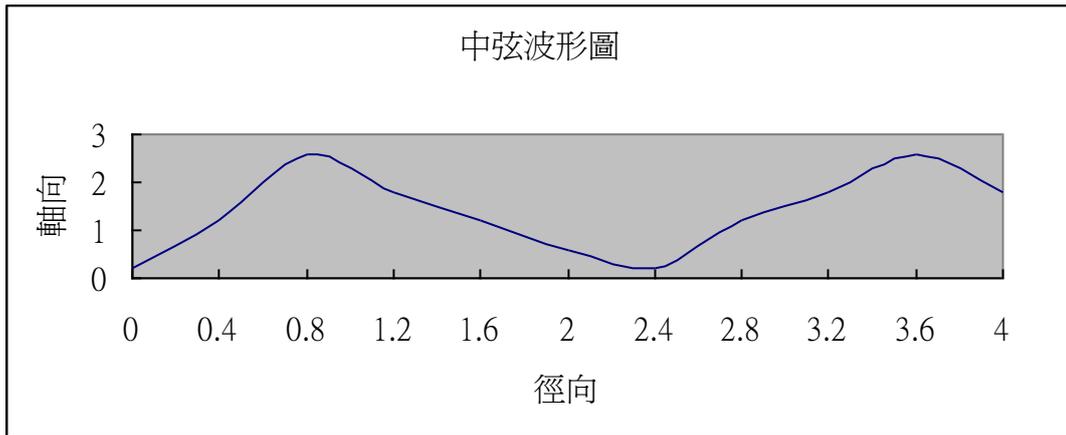


4.弦粗細變化的影響：



將相同材質的弦直徑大小做變化，有粗、中、細三種尺寸。

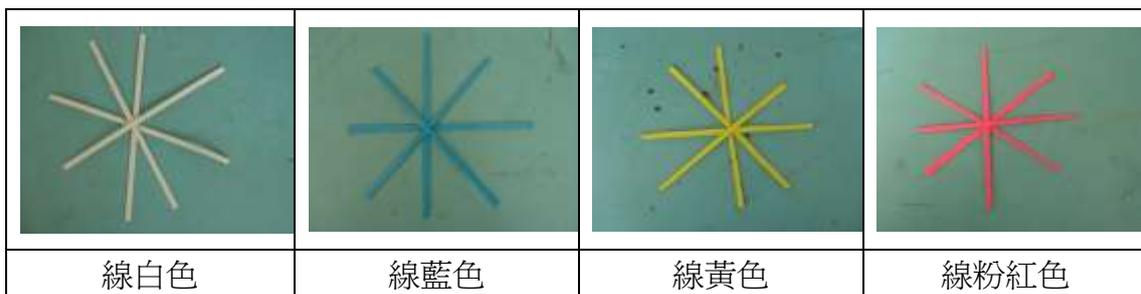




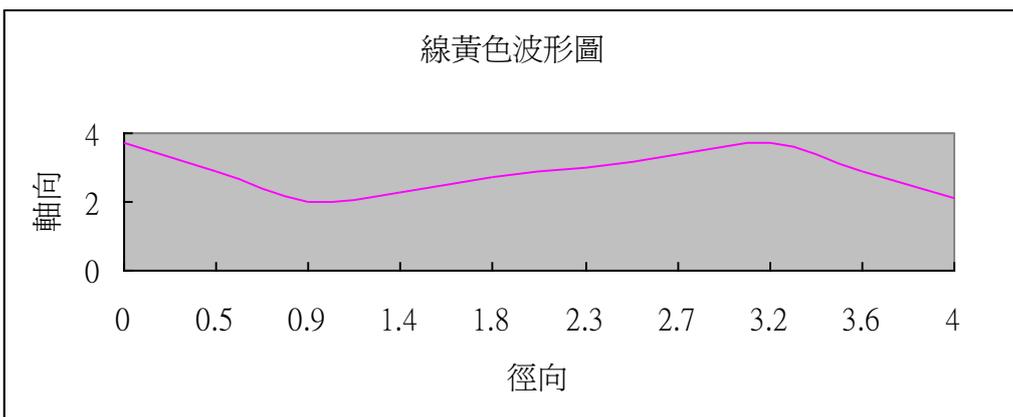
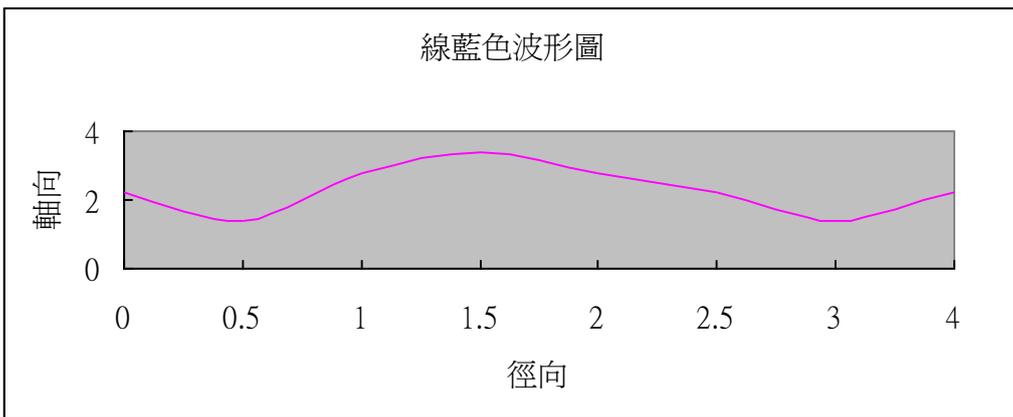
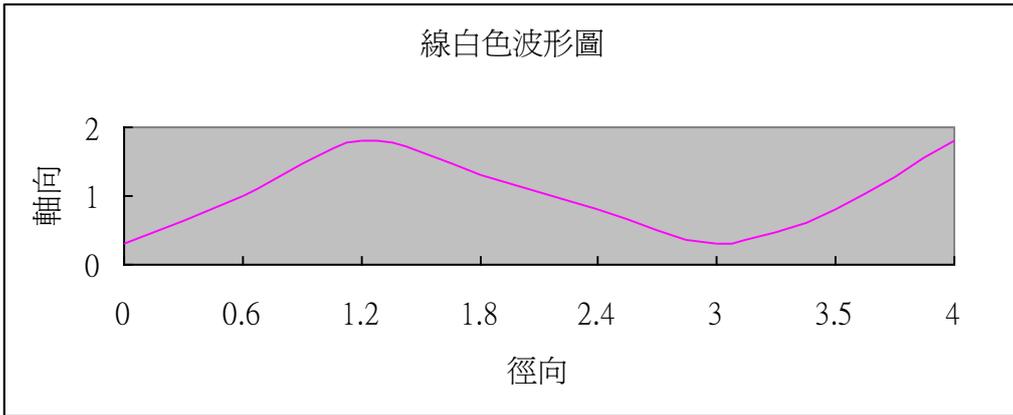
滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	4	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	4	中	白	0.5	13	1.7
152	75	4	細	白	0.5	13	2.5

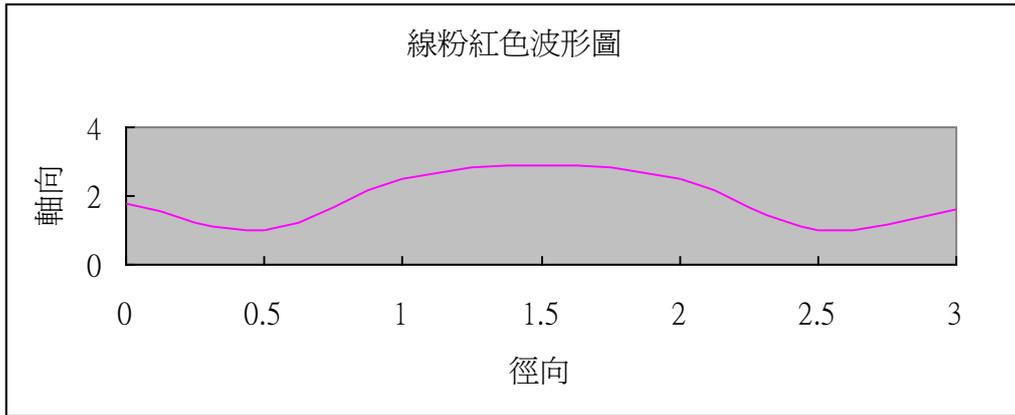
弦的直徑較粗，波數會變少。因為承受的重量（張力）都一樣，但弦較粗時，承受的平均重量會減輕，導致弦變鬆，振動頻率變少，弦和白線的接觸點變少，所以會使波數變少。在相同張力下，弦的直徑越細，振動速度較快，形成的波數越多。弦直徑和波數有關，兩者成弦直徑越粗，波數越少的關係。

5. 線顏色的影響：



把滾筒上的顏色做變化，有白、藍、黃、粉紅四種情形。





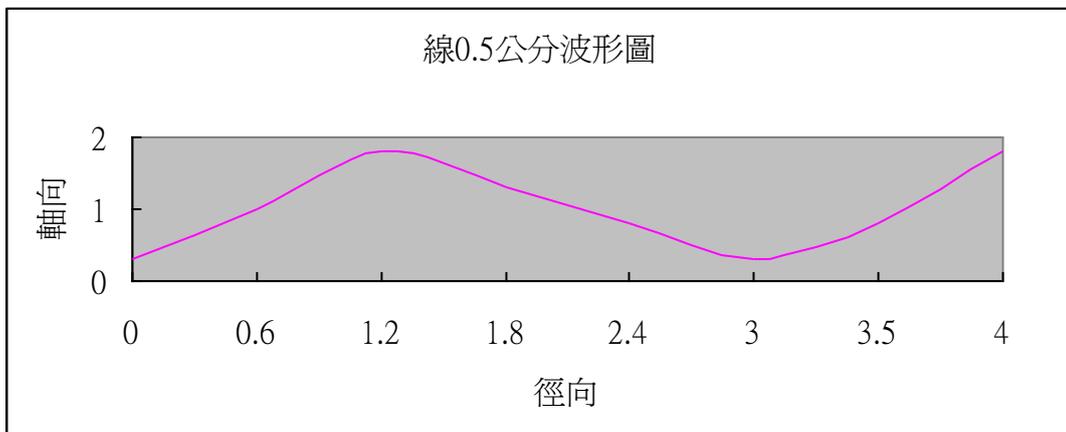
滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	4	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	4	粗	藍	0.5	13	1.4
152	75	4	粗	黃	0.5	13	1.5
152	75	4	粗	粉紅	0.5	13	1.4

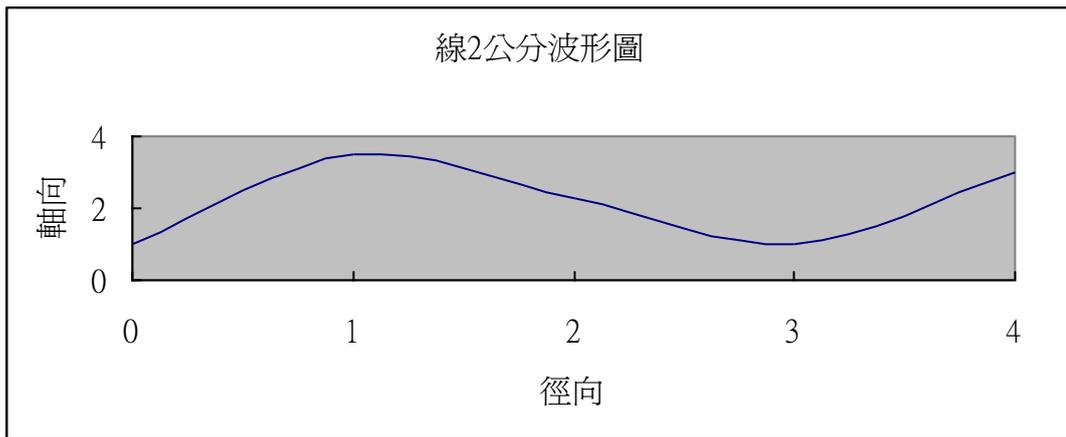
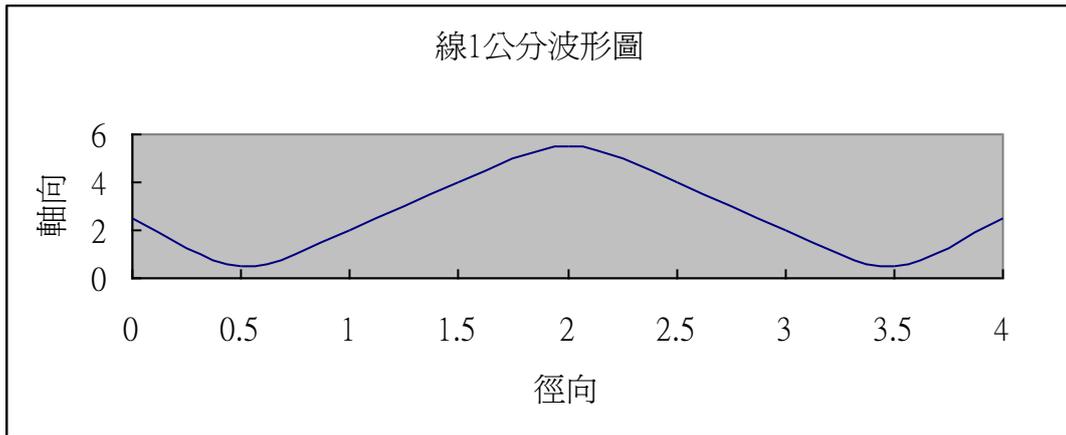
線顏色改變，對於波數沒有影響。

6.線粗細的影響：



將滾筒上所黏的線粗細做變化，寬度分別為 0.5 公分、1 公分及 2 公分三種。





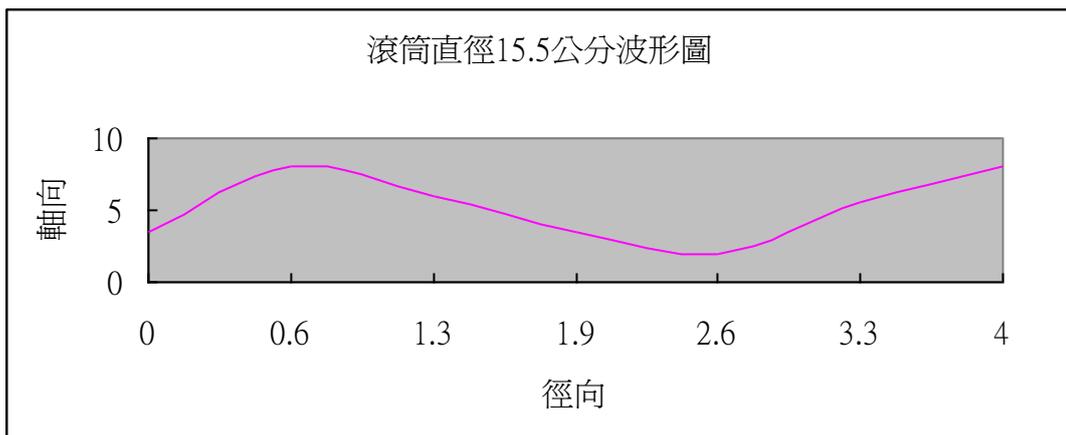
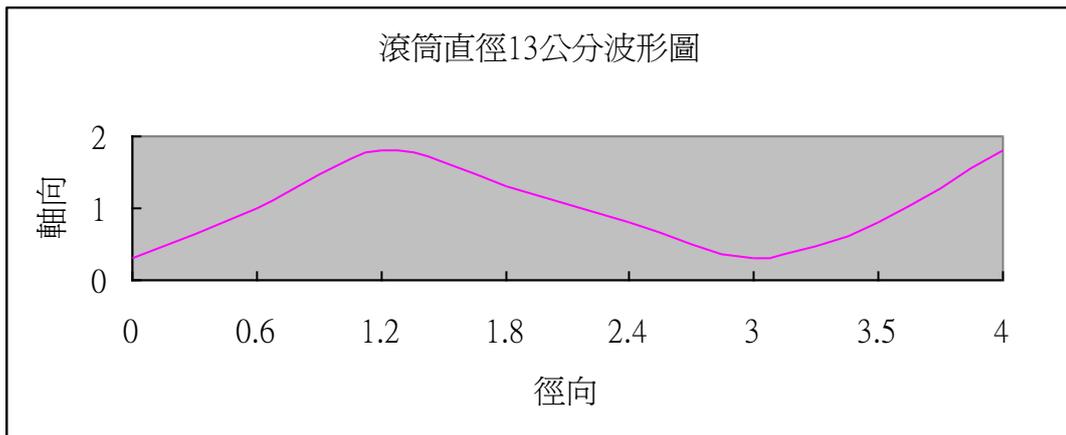
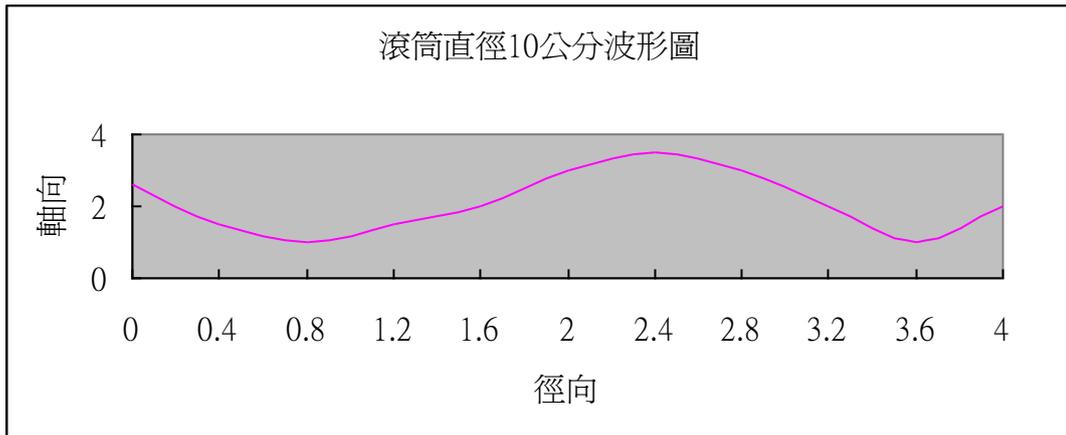
滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	4	粗	白	0.5	13	1.5
152	75	4	粗	白	1	13	1.4
152	75	4	粗	白	2	13	1.4

線的粗細變化，不會影響波數。

7.滾筒直徑的影響：



滾筒的大小直徑為 10 公分、13 公分及 15.5 公分三種。



滾筒速度 (rpm)	張力 (公克)	線數目 (條)	弦粗細	線顏色	線粗細 (公分)	滾筒直徑 (公分)	平均 波數
152	75	4	粗	白	0.5	10	1.5
152	75	4	粗	白	0.5	13	1.4
152	75	4	粗	白	0.5	15.5	1.4

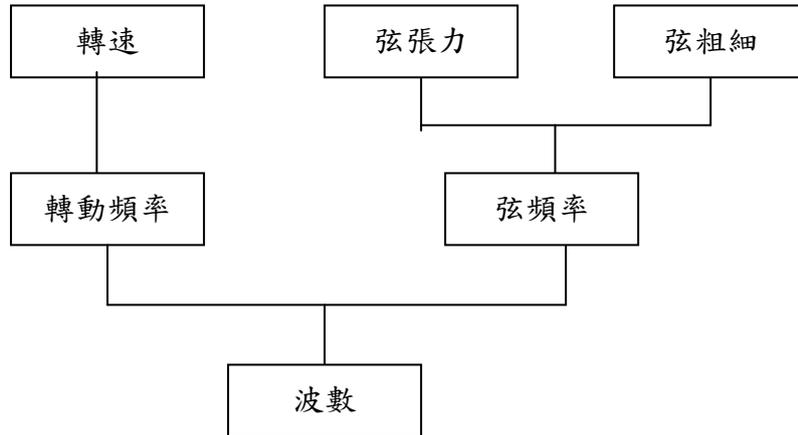
滾筒較大時，解析度較佳，可以顯示出較大的波形，但波數不會改變。

研究結果

實驗名稱	推測結果	實驗摘要	影響波數	啓示
不同轉速的影響	滾筒轉動速度快，波數變少。	轉速越快，波變少，弦和滾筒白線交點會加速通過至另一個位置。轉速慢，波變多，弦和滾筒白線交點會在一個白線的點上慢慢的移動。轉速和波數有關，兩者關係成轉速越快，波數越少關係。	轉速快，波數少。 轉速慢，波數多。	選用慢轉速研究
不同弦張力的影響	弦張力會影響弦振動的速度，張力越大、振動速度快、波數變多。	張力大，弦變緊，所以在彈的時候，弦振動速度快，波變多、又密集，但消失的速度也快。張力增加，弦速越快，波長縮短，波數增加。張力和波數有關，兩者關係成張力變大、波數變多的關係。	張力大，波數多。 張力小，波數少。	選用大張力研究
不同白線數的影響	白線數目多少，波數不變。	白線數目變化時，波形不變，波數不變（大約 1.5），但四條及八條白線實驗時，會有二到三個波同時出現，產生多組波。	沒有影響。	
弦粗細變化的影響	弦粗細會影響波形產生，弦較粗，波數變少。	弦的直徑較細，波變多。因為承受的張力都一樣，但弦較細的話會導致弦變更緊。弦直徑和波數有關，兩者關係成弦直徑越粗，波數越少關係。	弦較粗，波數少。 弦較細，波數多。	選用細直徑研究
線顏色變化的影響	滾筒上線顏色變化時，波數不變，視覺上有影響。	線顏色改變，對於波數沒有影響。	沒有影響。	
線粗細變化的影響	滾筒上線粗細變化時，波數不變，視覺上有影響。	線的粗細變化，不會影響波數。	沒有影響。	
滾筒大小的影響	滾筒大小不影響波數，但因可顯相的面積變大，波形會變大。	滾筒較大時，解析度較佳，可以顯示出較大的波形，但波的數目不改變。	沒有影響。	

實驗三、波數規則歸納

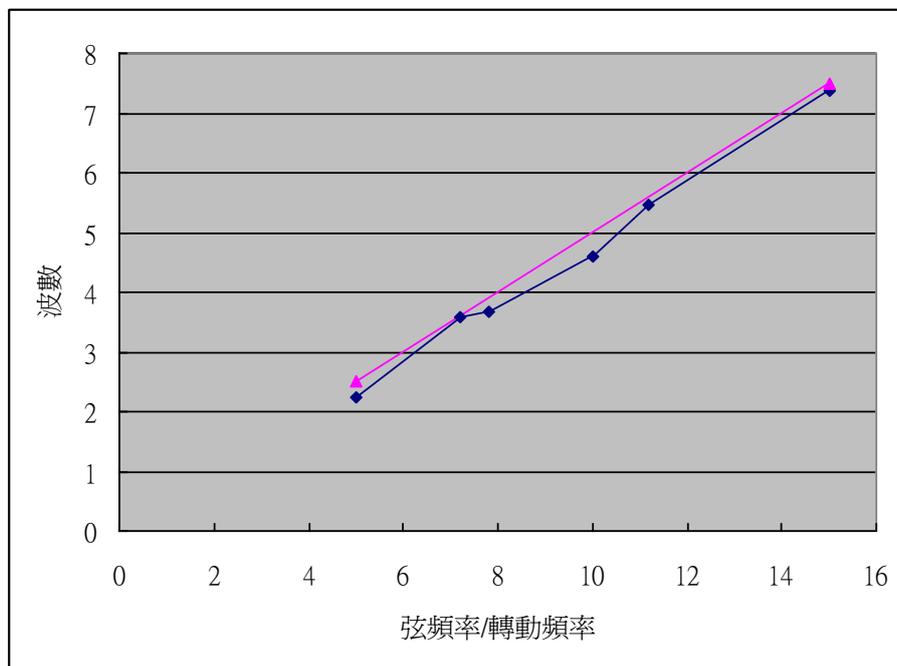
整理研究結果，有影響波數的因素有三個，即轉速、弦張力、弦粗細。



波數與轉動頻率及振動頻率有關，待實驗找出三者關係。

張力	轉速	轉動頻率	弦頻率	弦頻率/轉動頻率	1	2	3	4	5	平均波數
75	82	1.4	7	5	2	2.3	2.1	2.4	2.4	2.24
150	82	1.4	11.2	7.8	3.5	3.8	3.8	3.6	3.7	3.68
300	82	1.4	15	11.2	5.3	5.6	5.5	5.4	5.5	5.46
400	82	1.4	21	15.0	7	7.2	7.6	7.6	7.4	7.36
400	128	2.1	21	10	4.2	4.5	4.7	4.9	4.7	4.6
400	172	2.9	21	7.2	3.5	3.6	3.4	3.7	3.7	3.58

將弦頻率/轉動頻率及波數畫成圖：



- 1.藍色部份為實驗數據所繪出，由圖可知，弦頻率/轉動頻率、波數兩者的關係近似為直線。
- 2.粉紅色部份為比 2：1 的直線，兩條線相比較，可知兩者的趨勢非常近似，所以弦頻率/轉動頻率、波數的關係大約是 2：1。
- 3.由點 1、2 可推得弦頻率/轉動頻率和波數的關係為：

$$\text{波數} = \text{弦頻率} / \text{轉動頻率} \times 1/2$$

$$\text{波數規則：弦頻率} = \text{轉動頻率} \times \text{波數} \times 2$$

若轉速已知，波數可以從實驗時目視算出，此時弦振動頻率就可以推得。若滾筒轉速 = 3000rpm = 50rps，表示 1/50 秒轉 1 圈或 1/100 秒轉半圈，若此時看到 1 個波，則頻率 = 波數/時間 = 1 / (1/100) = 100Hz = 弦頻率。由於 A2=110，因此看到吉他弦振動是有可能的。

實驗四、聲音視覺化實驗

要達成聲音視覺化，滾筒的轉速必須要增加，生活中常見高轉速的電氣是電風扇，所以需另外設計第二代的滾筒示波器，來完成『聲音視覺化』。

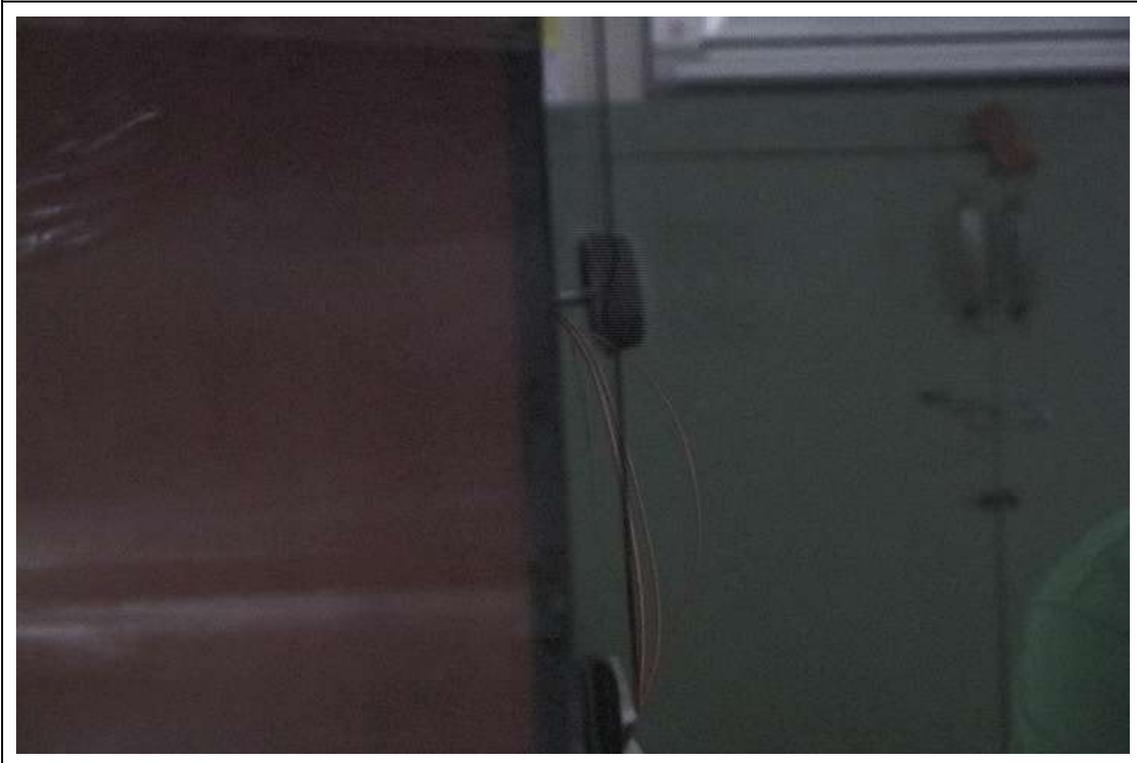
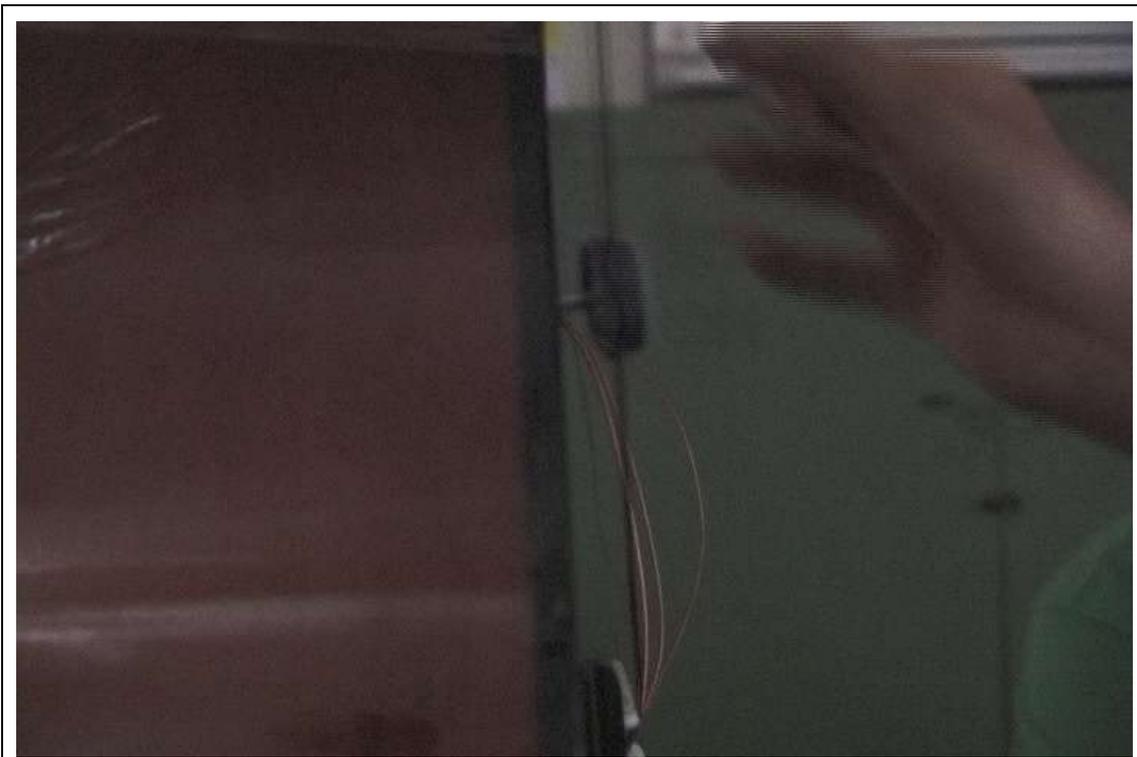
第二代滾筒示波器

	<p>第二代滾筒示波器，使用電風扇馬達做滾筒，和第一代有所不同。第一代的馬達最高轉速為180rpm，第二代轉速比第一代提高許多，大約為三千多轉。並且可調整三段轉速，使實驗時更方便。</p>
	<p>第一代的弦為橡皮弦，但經我們改良之後如左圖（直接用吉他）。它的特點為：1.將弦改為吉他弦。2.有音箱。可以彈出聽得到的聲音，方便分析。</p>
	<p>將吉他直直的擺放，比較好撥弦。並用膠帶固定吉他，這樣彈弦時，他就不會因震動而影響波形。並且用海綿方塊調整高度，放在電風扇前方進行實驗，看聲波的變化。</p>
	<p>上圖的局部放大圖，也是實驗者觀察方向，可以讀出波形。當弦與電扇軸心的白線配合時，就會像第一代滾筒示波器一樣產生波形。</p>

實驗數據：

電風扇轉速：經由十次實驗，所得平均轉速為 3640 (rpm)。

波數：顯示出波形如下圖所示：



由照片中可知波數大約為一個波。

由實驗三所得波數規則可計算出弦頻率：

$$\text{弦頻率} = \text{轉動頻率} \times \text{波數} \times 2$$

$$= 3640 \times 1 \times 2 = 7280 \text{ (rpm)} = 121 \text{ (Hz)}$$

經由聲音軟體量測十次平均，弦振動頻率為 113Hz,大約為 A2 的頻率。
用波數規則計算出的準確率大約：

$$\text{誤差} = (121 - 113) / 113 = 0.07$$

$$\text{準確率} = 1 - 0.07 = 0.93 = 93\%$$

陸、討論與結論

一、緣起

音樂是學生最喜歡的課程之一，國小自然課程也有與聲音相關的單元，但因為聲音看不到又摸不著，一直是個很難懂且抽象的東西。本研究希望把聲音的抽象概念具體化。規劃滾筒示波器製作，進行具體影像和聲音關係分析，以實驗所獲得資料，讓聲音從抽象逐步走向實用化、生活化、聲音視覺化。運用些基本素材，可自製一個滾筒示波器，在圓筒上做了一些改變，可以讓聲音及波形改變。

二、影響波數的因素：

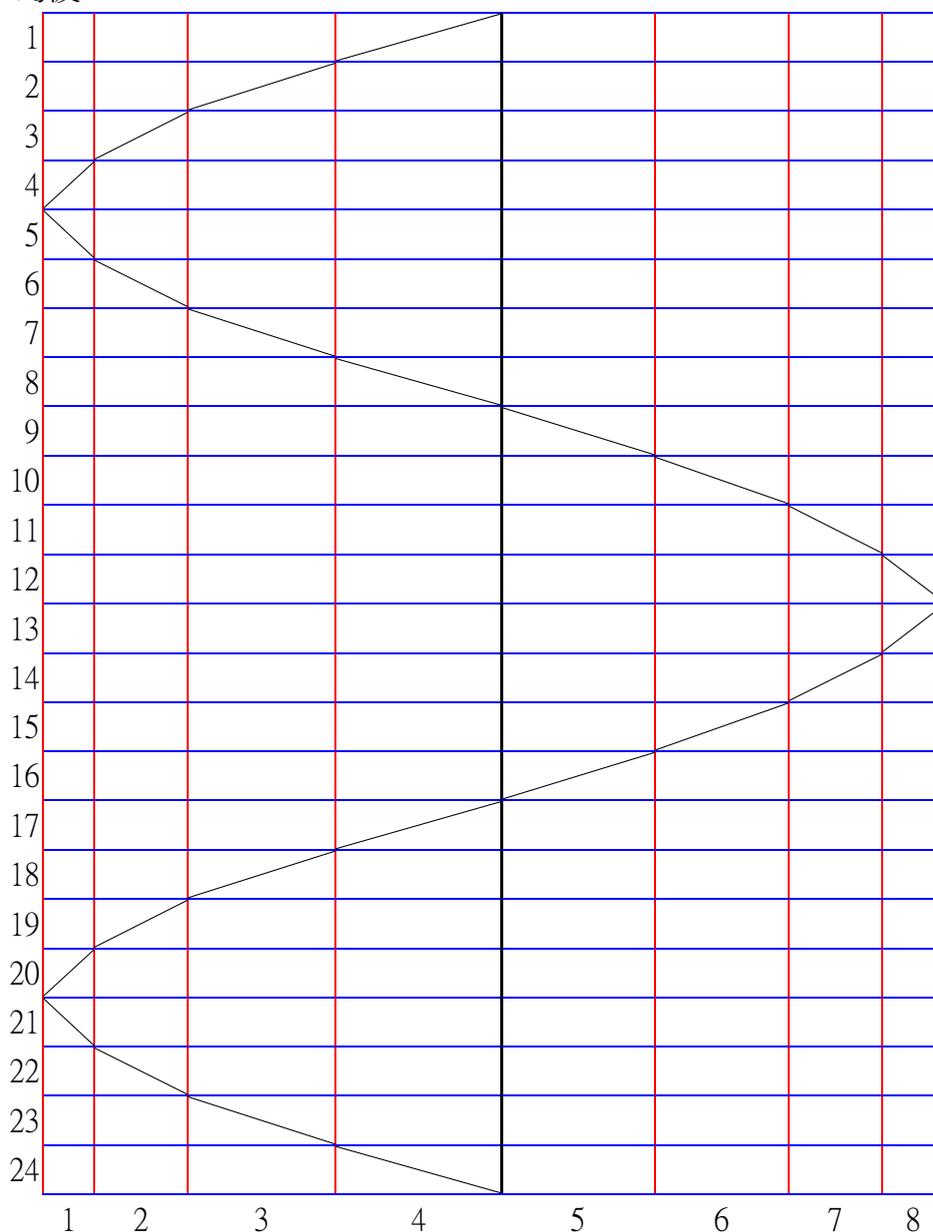
轉速：實驗二發現，轉速快，波數少。滾筒轉速越快，弦振動頻率不變，弦和滾筒白線交點會加速通過到另一個位置，波數變少。滾筒轉速慢，弦振動頻率不變，弦和滾筒白線交點會慢慢的移動，波數增加。轉速和波數有關，而且兩者成一者變快、一者變少的關係。

弦張力：實驗二發現，張力大，波數多。張力小，波數少。因為張力大，弦越緊，所以在彈的期間，弦的振動速度快，波雖然多、又密集，但消失的速度也快。張力和波數有關，且兩者成一者變大、一者變多的關係。

弦粗細：實驗二發現，弦直徑粗，波數少。弦直徑細，波數多。因為承受的重量（75 公克）都一樣，但弦較細的話，會導致弦變得更緊，振動速度越快，波數變少。弦直徑和波數有關，兩者成一者變粗、一者變少的關係。

三、成像模型：

下圖為成像模型，藍線為滾筒白線的位置，左側數字表示白線位置的移動，由於滾筒轉速大約為等速，所以間隔的距離是相等的。紅線表示弦的位置，下方數字表示弦的位置的移動，由於弦的速度會變化，在兩端的速度較慢、中間的速度較快，所以中間間隔距離較。藍線和紅線的交叉點為波的成像，將交叉點連線後的圖形，也就是我們眼睛所看到的波。



三、波數規則歸納：

經由三十次實驗，得出弦頻率、轉動頻率、波數三者的關係為：

$$\text{弦頻率} = \text{轉動頻率} \times \text{波數} \times 2$$

轉動頻率可從測量得知，波數可由眼睛或攝影機輔助視覺得到，將轉動頻率及波數帶入，即可推算出弦的振動頻率。

四、聲音視覺化實驗：

大約以 $A_2=110$ 做實驗，可以看見聲音的波動，令人振奮。並且運用實驗三所得的波數規則，計算出弦頻率，兩相對照，準確率為九成三，我真的「看見聲音」。

柒、參考文獻

- 1.U.S.A 舊金山 <http://www.exploratorium.edu/cmp/projects/ligo.html>
- 2.U.S.A----OSCYLINDERSCOPE:
<http://www.normantuck.com/catalogPages/oscylinderScope.html>
- 3.japan-Oscylinderscop: <http://www.hirax.net/dekirukana4/ocilodisplay/index.html>
- 4.國立自然科學博物館：<http://www.nmns.edu.tw/>

【評語】 081504

能克服困難，比如用黏土來克服轉動的搖晃。

作者雖然由科學實驗方法整理歸納出波數的規則，然而自行設計之滾筒示波器與科博館所見到的示波器相似，原創性尚有進步的空間。

能將抽象的具體化，值得嘉許。