

# 臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：超聲波應用之研究

學校 / 作者：臺北市立麗山高級中學 駱頌揚  
臺北市立麗山高級中學 李哲安

我叫李哲安，家住台北，今年 17 歲，就讀台北市立麗山高級中學。家中有四位成員，父母親皆為老師，自幼在他們的教導下，對科學產生了濃厚的興趣，也打下了基礎。在家中我排行老大，有一位弟弟，所以經常要幫忙解決問題，在解決問題時也一起學習新的知識。在閒暇時，喜歡聽音樂及閱讀課外書，並藉此拓展視野以及陶冶心靈。

我喜歡做實驗，雖然在過程中遇到許多挫折也很辛苦，但卻可以學到很多課堂上不會教到的事情，更讓我確信「一分耕耘，一分收穫。」這句話。

My name is Andy lee. I am 17 years old, study in the Taipei municipal LiShan senior high school. There are four members in my family. My parents both are teachers in junior high school. They often do some interesting experiments at home. It made me produce the interest to science. I have one younger brother, so I have to help him to solve some problems, and learn new **knowledge together** by this. At the leisure, I like listening to the music, reading magazines.

Though there are a lot of setbacks in the course of experiments, but I can learn the thing which will not be taught in class, furthermore it let me believe the **adage** ” No pays, no gains.” .



我叫駱頌揚，今年就讀麗山高中二年級，我的興趣是打桌球、籃球，且喜歡閱讀科學相關的書籍，雖然大家喜歡的科學都不同，有的是喜歡科學數學、有的是喜歡科學定理等等，但我之所以享受科學，是爲了更進一步的貼近大自然，更接近我們的生活，例如，運動學。而且這次很高興能夠參加這個科學展覽會，這會是一次非常特殊的經驗。

My name is Peter Luo, I study at second grade of Li Shan senior high school. I am interested in playing basketball and table tennis, and enjoy reading science books and magazines. Although everyone like different section of science, other likes the science math or science theory, but I would like to combine with the nature and our live that's why I enjoy nature science, for example, kinematics. And I am glad to attend this Taiwan International Science Fair, I consider that is a very special experience.

## 壹、 摘要

在實驗用共振法測量聲音在固體、液體、氣體中的駐波聲場，測量各介質中的聲速。研究超聲波在液體中的空腔效應，鋁箔在不同液體受空腔效應所破損面積與時間略成正比，並發現在水與各濃度的洗潔精水溶液中以水的破損效果最明顯。

另外利用 1.65MHz 高頻超聲波打入水中，因駐波使水有疏密不同產生狹縫，以雷射通過狹縫有光的繞射花紋產生，由干涉條紋可推估駐波波長。

利用閃頻共振法研究光彈材料超聲波場，且發展出以肉眼觀測的裝置，由光彈材料的花紋級數與應力研究中，發現花紋級數與應力成正相關，由聲場中的花紋顏色判斷所受應力大小，並發現超聲波不僅有聲場產生並伴隨熱效應，會影響觀測花紋級數。This project began by studying the fundamental properties of acoustic waves, the relationship between its velocity, frequency and wavelength. Experiments regarding the distribution of sound waves in different mediums, and the induction of resonance in solid, liquid and gaseous materials were conducted. Results from utilizing suspending method to confirm theoretical prediction of sound velocity was accurate, and the sound wave patterns in photo-elastic materials were observed.

It was also observed that an aluminum foil would be cut in an ultrasonic cleaning device. The effects of different liquids such as water and detergents on cleaning effectiveness were then experimentally determined, taking into account factors such as viscosity. From reference materials, we learned that ultrasonic waves would create Cavitation in liquids. Traditionally, sound waves are expected to exhibit only longitudinal waves, yet in this study it was discovered that the residual stresses from resonance in photo-elastic materials also indicate the existence of transverse waves.

## 貳、 研究動機

日常生活中聲音是無所不在的，但是我們卻無法看到它的形體，對於聲波都只能在腦海裡想像，然而聲音到底是什麼樣子呢？超聲波洗淨機原理什麼？聲速是怎麼測量的？有沒有辦法改進？所以就設計實驗讓自己對聲音有更加的認識。

## 參、 研究目的

- 1.超聲波基礎特性研究-以駐波法測量波的性質
- 2.超聲波在液體中的研究-超音波洗淨機
- 3.超聲波在固體中的研究-光彈中的超聲波的應力變化

## 肆、 實驗器材

1. 壓克力板
2. 壓克力管
3. 玻璃管
4. 絕緣膠帶
5. 熔接機
6. 漏斗
7. 保麗龍球
8. 訊號產生器
9. 示波器
10. 訊號放大機
11. 喇叭
12. 超音波發射器
13. AB 膠
14. PVC 硬塑膠管-45 度彎管
15. 螢光粉
16. 光彈材料
17. 鋁粉
18. 清潔劑
19. 木屑
20. 超音波洗淨機
21. 泡棉膠

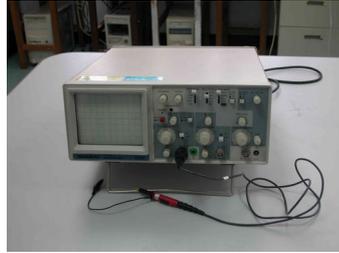


圖 1-1



圖 1-2



圖 1-3



圖 1-4

## 伍、 文獻探討

### 一、 粒子與波

1. 粒子:具有質量，會受到重力的影響改變粒子的移動情形，粒子的移動在時間及空間裡是局域的，粒子的運動等於物質的運動。
2. 波：波不是局域的，他會像空間的某一區域伸展出去，波的行進不偕同物質移動。

### 二、 波的反射

#### 1. 固定端

將繩子的一端綁在牆上，向上甩動製造一正波，當正波碰到牆壁時，會給予牆壁一個向上拉力。據牛頓定律，牆壁將會給予繩子一個反作用力，把繩子向下拉扯，所以其反射回去的波會是負波。

圖 2-1

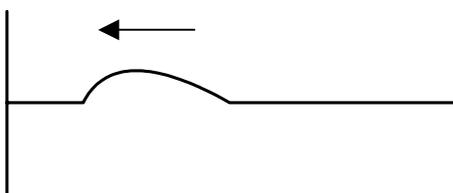
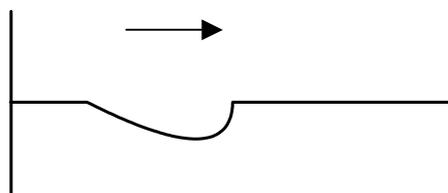
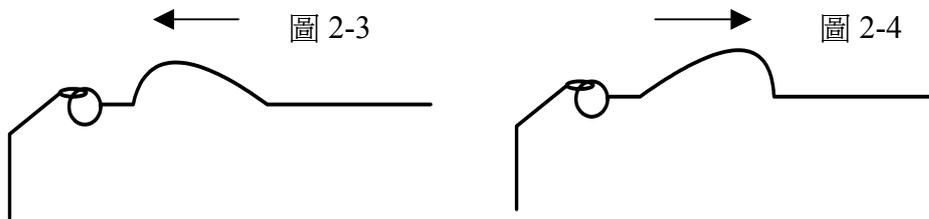


圖 2-2



## 2. 活動端

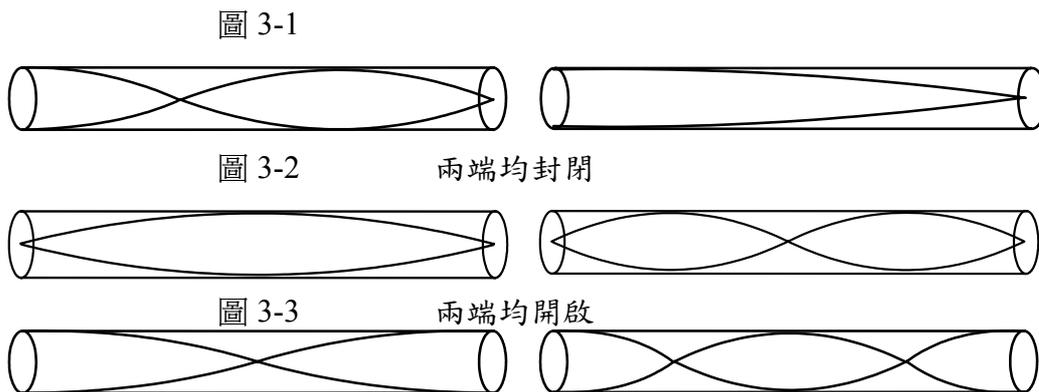
將端綁在活動的圓環上，向上用動製造一正波，當正波碰到圓環時，會把圓環向上帶動。圓環這向上帶動，便給予繩子一個向上位移，產生一正波反射回去，此波雖與先前之入射波同為正波，但左右相反。



## 三、駐波

駐波：兩個頻率、振幅、波長相同，但方向不同的波碰再一起時，所產生新的波形，其波腹、波節不動，但振幅為其原來兩倍。

當波達到閉端時，即被反射，所以管內會有兩方向相反的波進行重疊。因為兩波的波長、振幅、頻率均相同，所以就形成一駐波。而閉端附近空氣不能往閉端外移動，其位移為零，即為駐波的波節。開口附近的空氣位移最大，則為駐波的波腹。



## 四、共振

共振：具有某種內在自然振動頻率的物體，當外在相同頻率的振動傳到時，即會產生振動而且產生極大的振幅振動之現象。

縱波之駐波：波長  $\lambda$ ，波速  $v$ ，頻率  $f$

1. 一端為開口一端為封閉

$$\text{管長： } L = (2n - 1) \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad n=1, 2, 3, \dots$$

$$\text{頻率： } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{4L}, \quad n=1, 3, 5, \dots$$

$$\lambda = \frac{2n - 1}{4}, \quad n=1, 2, 3, \dots$$

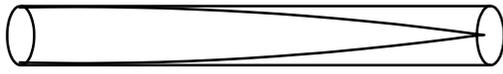


圖 3-4

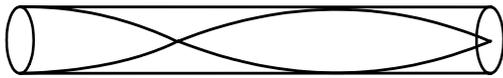


圖 3-5

2. 兩端均為開起(封閉)

$$\text{管長: } L = n \cdot \frac{\lambda}{2}, n=1, 2, 3, \dots$$

$$\text{頻率: } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}, n=1, 2, 3, \dots$$

$$\lambda = \frac{2n}{4}, n=1, 2, 3, \dots$$

兩端均為開管

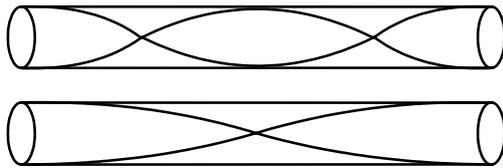


圖 3-7

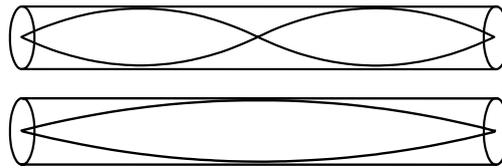


圖 3-6

## 五、光彈原理

在 1853 年，Maxwell 提出光彈材料的折射率變化是和負載呈線性關係：

$$n_1 - n_0 = c_1 \sigma_1 + c_2 (\sigma_2 + \sigma_3)$$

$$n_2 - n_0 = c_1 \sigma_2 + c_2 (\sigma_3 + \sigma_1)$$

$$n_3 - n_0 = c_1 \sigma_3 + c_2 (\sigma_1 + \sigma_2)$$

將式中  $n$  消去：

$$n_2 - n_1 = (c_2 - c_1)(\sigma_1 - \sigma_2) = c(\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$n_3 - n_2 = (c_2 - c_1)(\sigma_2 - \sigma_1) = c(\sigma_2 - \sigma_1)$$

$$n_1 - n_3 = (c_2 - c_1)(\sigma_3 - \sigma_1) = c(\sigma_3 - \sigma_1)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ：在測點上的主應力

$n_0$ ：在無負載時，光彈材料的折射率

$n_1, n_2, n_3$ ：有負載時，在主應力方向上的折射率

$c_1, c_2$ ：應力—光學係數

$c = c_1 - c_2$ ：應力—光學係數

## 六、動態光彈簡介

彈性動力學的研究領域有四個：一、應力波的傳播，二、震動和衝擊，三、似靜暫態，四、斷裂的走向，利用動態光彈法研究動彈性問題的方法，通常有用：(1)高速拍攝相機

## (2)快速開關脈衝雷射(3)閃頻器

### 七、光彈材料

1. 超聲波的照射下，光彈材料例如：尿素橡膠、環氧樹脂、玻璃…等。所見的到的不只是聲場動態的應力，還有聲場累積的殘留應力，以及伴隨超音波熱效應而來的熱應力。

將高頻超聲波在光彈材料內形成駐波，光彈材料的折射率會隨著超聲波的疏密應力，作週期性的改變，使入射的光產生花紋。

### 3. 高分子聚合物光彈材料與應力凍結

在室溫時，施以外加負載，聚合物內主鍵(Primary Bond)和次鍵(Secondary Bond)會共同抵抗形變；溫度增加，次鍵逐漸斷裂，僅靠主鍵承受負載，當溫度達到次鍵幾乎都斷裂時，光彈事件及達到最大花紋級數，此溫度稱為” 臨界溫度” (Critical Temperature)。在臨界溫度時，施負載於光彈試件，光彈試件次鍵斷裂，待降到室溫，斷裂的次鍵又重新恢復鍵結，卸除負載試件仍有形變，應力於是就凍結於光彈試件中。

### 八、閃頻原理

#### 1.閃頻法

當週期運動頻率  $f_p$  等於閃光頻率  $f_s$  的整數倍時，便可穩住快速週期性運動而使人眼可以直接觀測，如果  $f_s$  由同步而變至有少許不完全同步時，可看到物體緩慢移動，此時繼續調整閃光頻率至下一個同步頻率，便可求得週期運動的頻率。

$$f_{s1} = \frac{1}{m} f_p$$

$$f_{s2} = \frac{1}{m-1} f_p$$

由上式得  $f_p = \frac{f_{s1} \times f_{s2}}{f_{s2} - f_{s1}}$

所以由高速閃光頻率的觀察，即可決定週期運動的頻率。好的閃頻器，除應具有穩定的閃光頻率外，每次閃光持續時間還要極短，因為在閃光持續的時間內，物體會移動一小段距離，而使觀測之影像模糊。

此外，閃頻器應用在動態光彈分析，尤其是應力波的研究上，更具備高亮度，及在通過偏極片後仍有足夠亮度；高閃光頻率；以及將振動原訊號輸至閃頻器，使兩者同步的外部觸發裝置，閃頻光和週期運動間之相位若可調整，即可紀錄週期性運動每單位週期內各不同相位的動態靜止畫面。

### 九、空腔現象

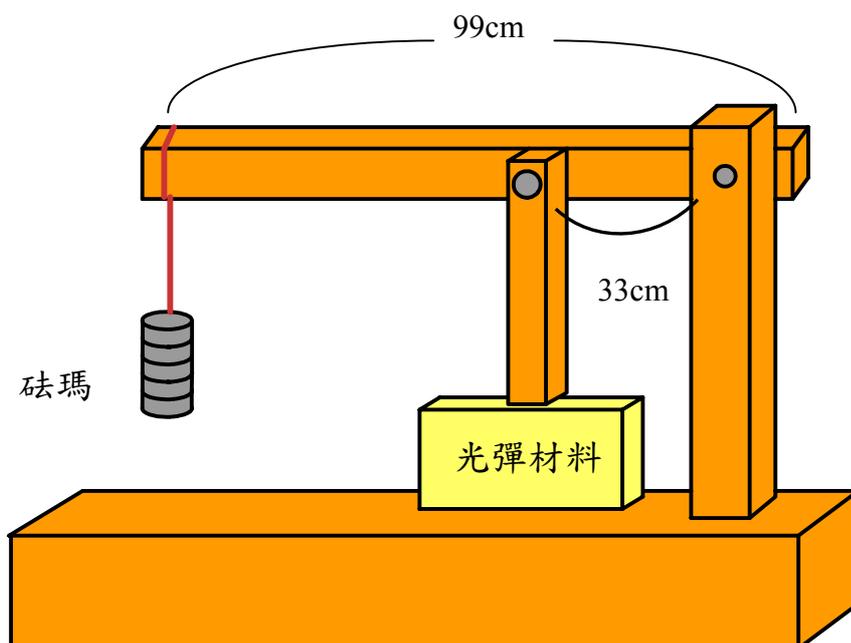
欲在水中產生一個氣壓的音壓( $\sim 10^5$ )，需要約  $0.35 \times 10^5 \text{ W/m}^2$  的功率，若頻率為 50kHz 時，換算為震盪位移可瞭解約為  $0.16 \mu\text{m}$ 。欲產生超過此強度的超聲波時，當其音壓在 1 氣壓以上，若使其壓力降為半週期時(負壓)，即為真空的期間，當達到此真空狀態期間，可使介質本身或以溶入的氣體汽化，因而產生大量的細小氣泡。如此使介質產生空洞的現象，即稱為空腔效應。

其次，壓力升高至半週期時(正壓)，則其瞬間壓力超出靜壓的一倍以上，以氣化的小氣泡破裂產生強大的高壓(據計算有時可達到數百甚至數千大氣壓)。又因周圍的條件不同，在不致於破裂狀態下移動時，即匯聚在駐波的波節處，形成大氣泡而懸浮在液面上。

## 陸、 研究方法與過程

### 一、光彈材料之應力觀測(附加實驗)

應力會產生”暫時性雙折射”，所以我們製作一槓桿當作對光彈材料施力的工具，將光彈材料放置在距離支點 33 公分處下方，以木塊為與光彈材料接觸並施力的裝置，再以閃頻器為光源以便於觀察應力的分布及花紋，並在閃頻器、光彈材料前放置偏光片，兩片偏光片互相平行旋轉 90 度角，因此可將其他方向的光產生暫時過濾，以方便觀察應力，再將光彈材料同側距支點 99 公分處放置砝碼作為施力來源，每 100g 紀錄一次，觀察其的折射現象及顏色變化，再用數位相機紀錄觀察。



光彈應力觀測儀器

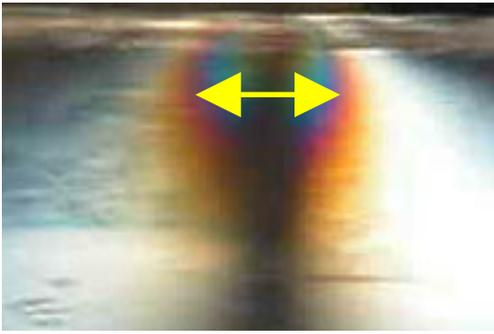


圖 4-1 砝碼重 800gw



圖 4-2 砝碼重 1000gw

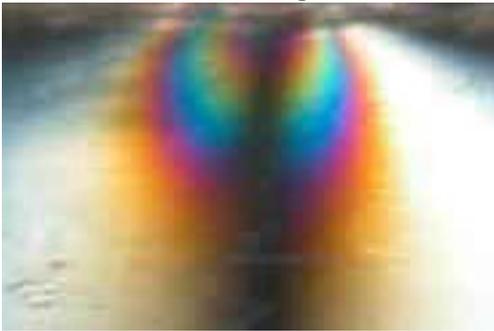


圖 4-3 砝碼重 1200gw



圖 4-4 砝碼重 1400gw



圖 4-5 砝碼重 1600gw



圖 4-6 砝碼重 1800gw

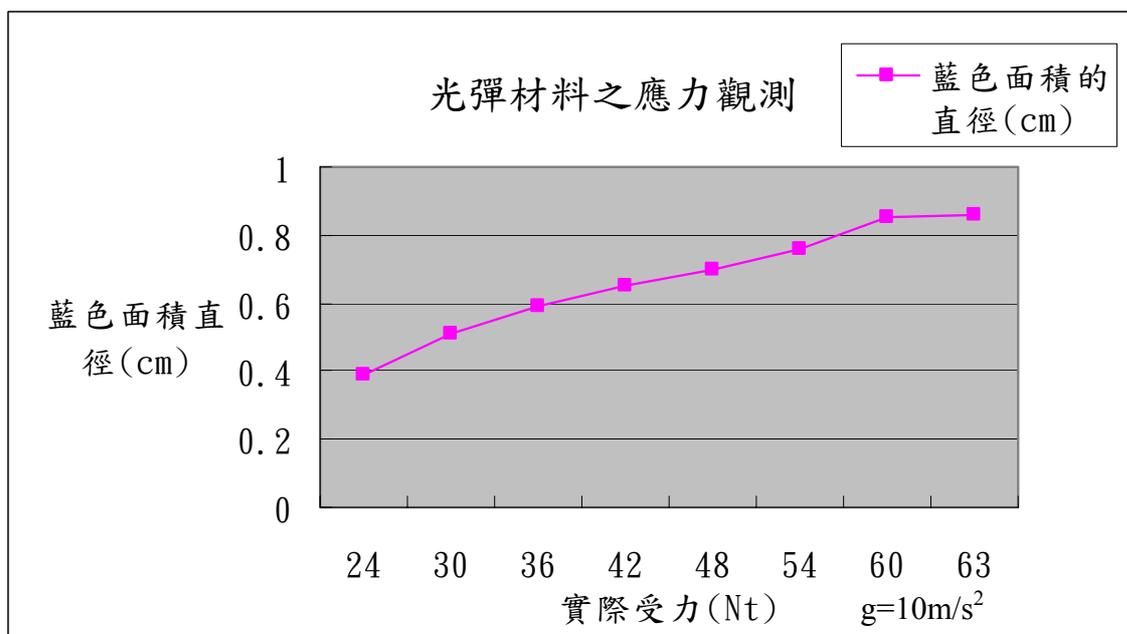


圖 4-7 砝碼重 2000gw



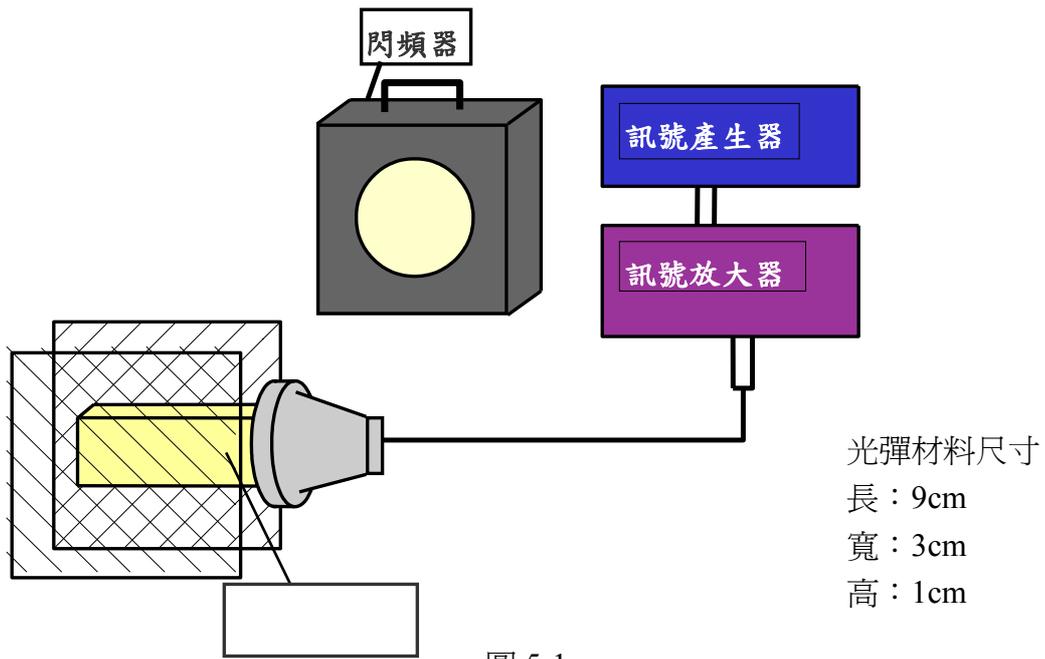
圖 4-8 砝碼重 2100gw

砝碼重(kgw)	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.1
測量項目								
實際受力(Nt)	24	30	36	42	48	54	60	63
藍色面積的直徑(cm)	0.39	0.51	0.59	0.65	0.70	0.76	0.85	0.86



光彈材料在不同位置施力時會有不同的彩色花紋分布，且施與光彈材料大小不同的應力，花紋的分布持續擴大，因此可藉觀察花紋的大小來判斷應力大小。

二、 超聲波基礎特性研究-以駐波法量測波的性質－固體

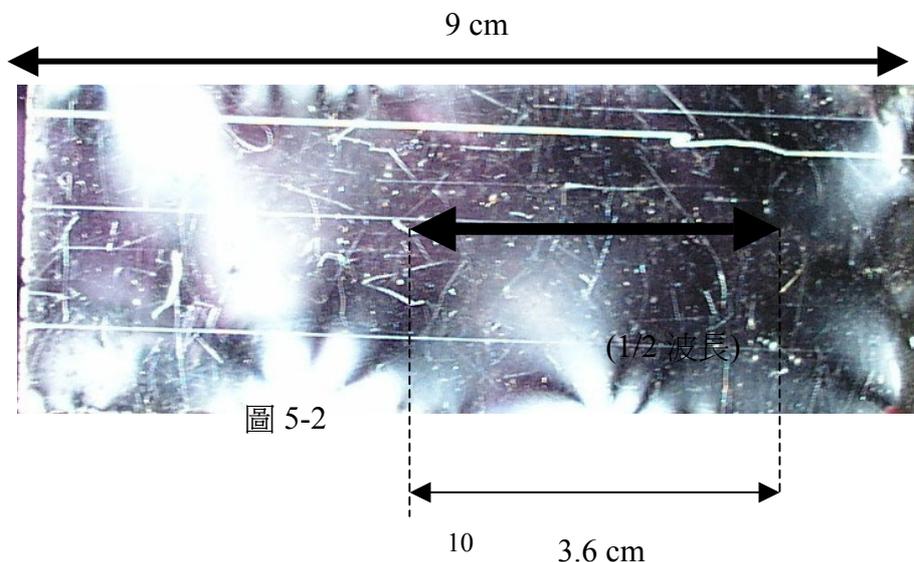


把光彈材料用 AB 膠黏在超音波發射器上，在光彈材料前後放置偏光片，並互相平行旋轉 90 度，偏光片後方放置閃頻器，然後把訊號產生器接到擴大機放大訊號，再接到超音波發射器上。當裝置打開後調整頻率至 27.83kHz，讓超聲波在光彈材料中達到共振，形成駐波。超聲波本身是一種機械應力波，所產生的聲場是會隨時間變化的應力場。所以使用閃頻器就可把影像停止，這時會發現光彈材料上會有不同的顏色變化，由之前的實驗得知，顏色變化會因為所受到的力的大小而改變，然後用照相機照照片來測量其駐波長度，可是礙於擴大能夠放大的程度有限，所以觀察到的駐波並不明顯，只有明暗的變化。

所以在固定的超音波頻率下和一定的放大倍率，光彈材料因為壓力而產生花紋。

實驗中，大約在 40kHz 時，光彈材料上的花紋先釋出約有 2.5 個的駐波

依  $v = f \cdot \lambda$  公式算出的結果，聲速是 2880m/s



### 三、 超聲波基礎特性研究-以駐波法量測波的性質－液體

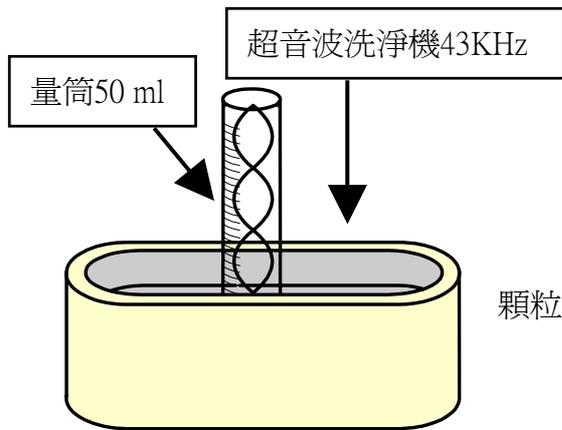


圖 6-1

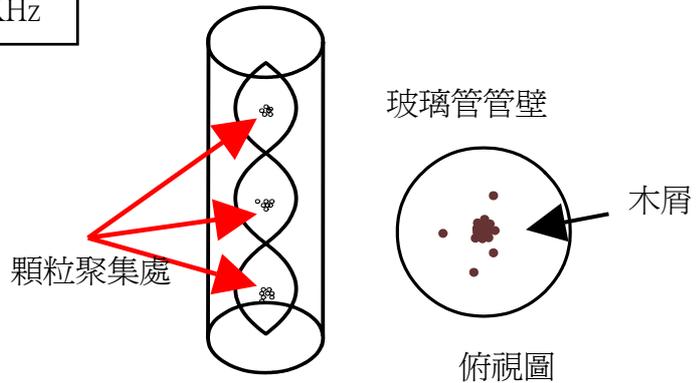


圖 6-2

因為超聲波洗淨機的頻率是固定的，所以在做實驗的時候，必須調整水柱高度達到他的共振。我們一開始想在玻璃管內放的是螢光粉，希望可以在共振管內看到它的排列，但是卻發現螢光粉顆粒太小，根本看不到排列變化。再來改用鋁粉混合洗潔劑，這次就可以看出變化了，但是鋁粉會反光，而且太重，停留在波腹的時間太短，並不好觀測。最後改用木屑，木屑在共振管內排列情況比之前 2 種材料都好，而且比較容易懸浮在水中。在用鋁粉和木屑做實驗的時候，我們發現這些顆粒都會呈現漩渦狀的運動，尤其是鋁粉，轉動的速度最快，而且這些顆粒的聚集處都是在量筒正中央，之後我們測量出這些顆粒的聚集點距離大約是 1.72 公分左右，由文獻中可得知，這些顆粒都是聚集在駐波的波腹，駐波的波腹距離為該駐波的  $1/2$  波長，由公式  $v = f \cdot \lambda$  可以得知當時聲音在液體中的速度大約是 1479m/s



粉筆灰 <0.1mm



螢光粉 <0.1mm



木屑 約 0.05~0.1cm

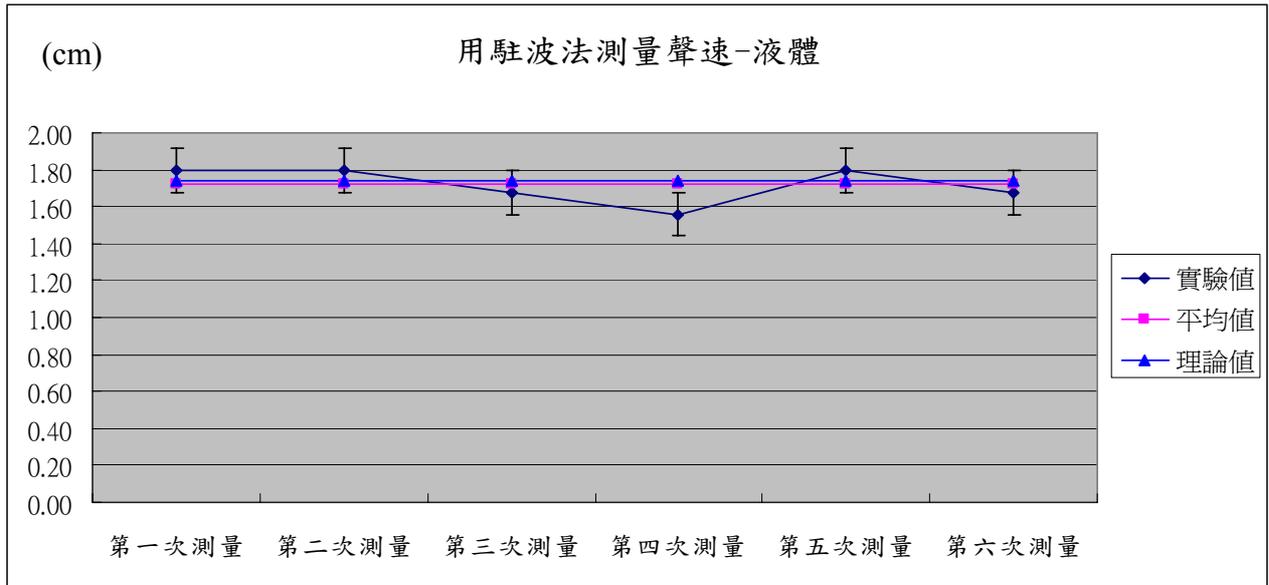
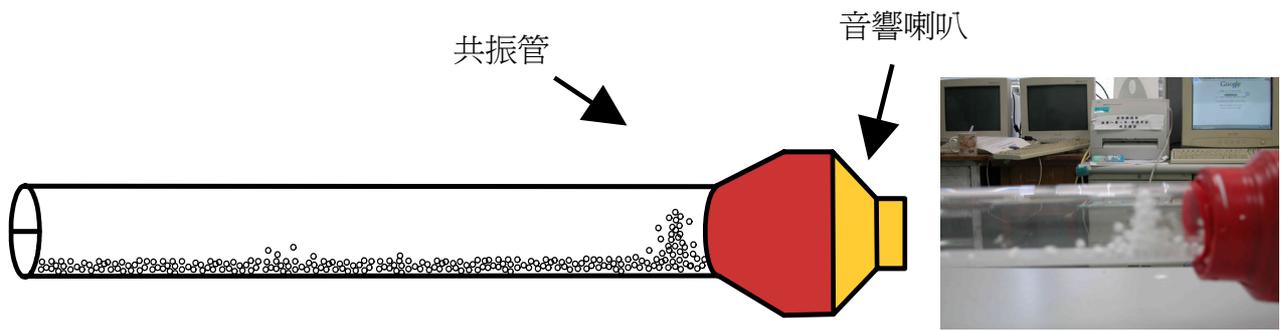


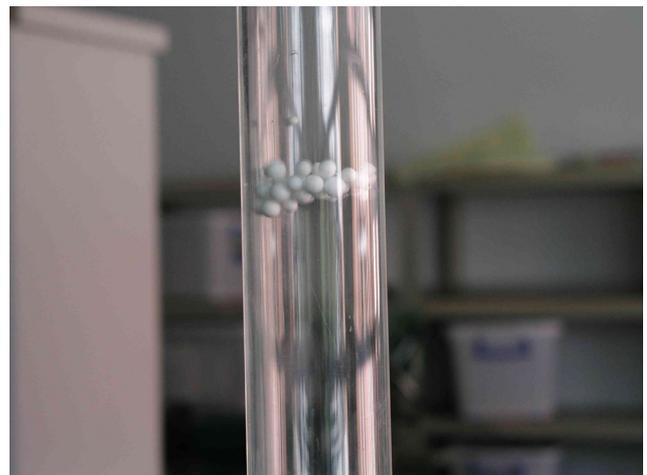
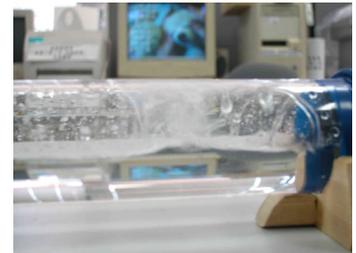
表 1-2

#### 四、超聲波基礎特性研究-以駐波法量測波的性質－氣體



先鋸好 1M 的壓克力管，底部用壓克力片封好，把漏斗底部切掉接在另一端，把喇叭對準漏斗後用絕緣膠帶纏繞密封，最後把訊號產生器接到擴大機之後，將訊號調到理論值中可以達到共振的頻率，來看管內物體的反應。共振管內放過水、木屑、保麗龍球，當裡面放水的時候，會在駐波的波腹處激起水花如右圖。但是因為擴大機放大程度有限，而且水太重，所以當頻率越高時，振幅變小，便沒辦法讓水花激起。

若內部放保麗龍球的時候，會在駐波的波腹聚集，因為它的密度最小最輕，較容易受共振管影響，所以效果最好，但是保麗龍球在內部振動時會互相摩擦產生靜電，保力龍球就會附著在管壁上，所以只能等靜電慢慢消失，才能換頻率做紀錄。雖然保麗龍很輕，可是還是和水有相同的問題，就是振幅變小，就很難使它有很明顯的排列，所以我們能測量到的數據並不多。依公式  $v = f \cdot \lambda$  計算出來的聲速約為 327m/sec



如果能量到達一定的程度時，內部的保麗龍球可以懸浮在駐波的波腹一段時間不落下，可能是因為腹點的地方振動速度較快，所以空氣或是保麗龍球在被拉開距離時，爲了要填補中間的空隙，所以會產生拉力把周圍的物質拉去填補，而產生這種現象。

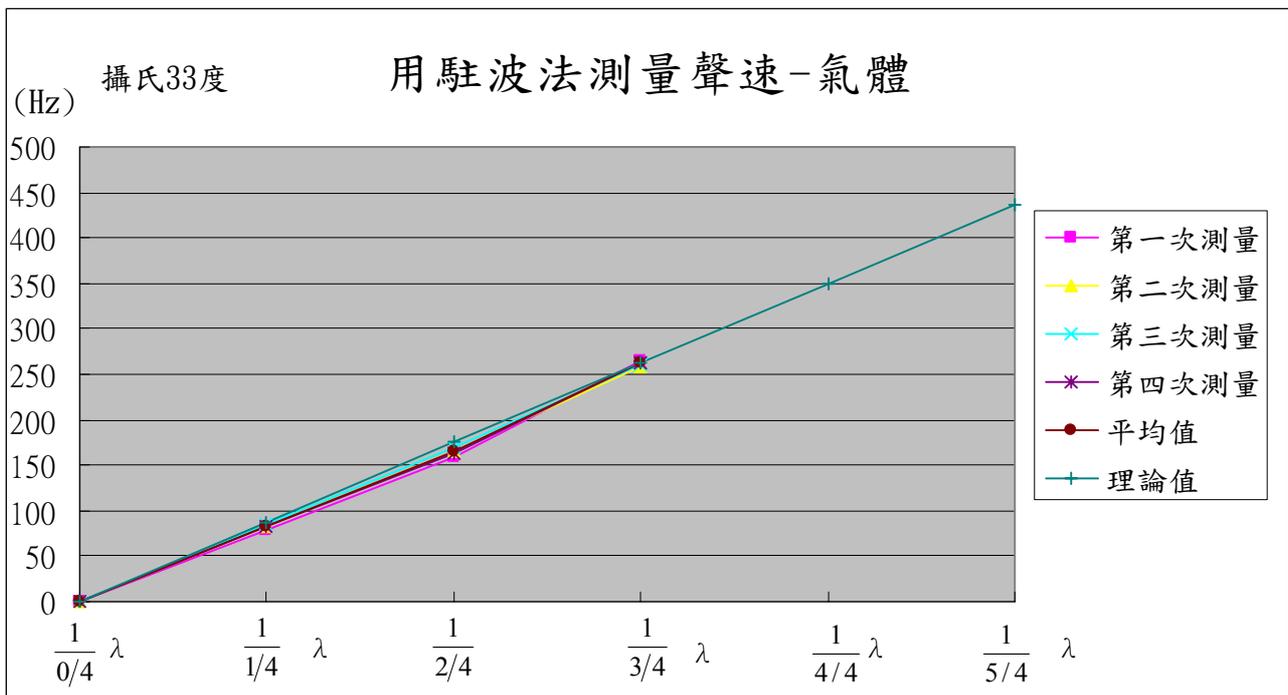


表 1-3

## 五、超聲波在液體中的研究：

### (一) 黏滯性和空腔現象的影響

將鋁箔紙裁成等大小的矩形，長為 8cm，寬為 7.4cm，先在超聲波洗淨機中加入等量的水，將鋁箔垂直放置在洗淨機中，並以竹筷固定，打開儀器計時一分鐘，一分鐘後觀察其破壞的程度，每隔一分鐘紀錄一次。這個實驗主要是要觀察超聲波在液體中產生的空腔現象，空腔現象對於從事超聲波洗淨是重要的一環，在取得足夠的數據後，我們改變洗淨機中洗潔精的濃度，由濃度 0%、10%、25% 觀察空腔現象的強度和液體的黏滯性的關係，每一分鐘紀錄一次，由實驗得知，我們加入的洗潔精的濃度越高，鋁箔被破壞的情形也越輕微，空腔現象影響的情形也越小，相對的，在純水的條件下，空腔現象十分活躍。

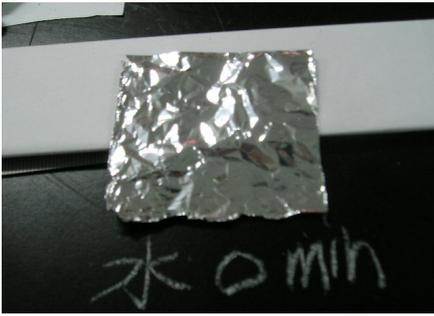
氣泡內壓力為  $\rho$

$$\text{文獻中的計算公式： } \rho = \rho_1 (\gamma - 1)^{\frac{1}{\gamma-1}} \left( \frac{\rho_0}{\rho_1} \right)^{-\frac{1}{\gamma-1}}$$

設  $\rho_0 / \rho_1 = 10^{-2}$  時，則開始收縮時氣泡內壓力為靜水壓的 1/100 時，氣泡極小時的壓力為靜水壓的 4000 倍，當此種氣泡破裂時就會在水中產生局部高壓，增加洗淨效果，再此實驗中我們用這拉扯的力量把鋁箔紙打破，觀察破壞程度即可知道洗淨效果。

空腔現象開始發生時的液體壓力叫作空腔現象臨限值，在強力超聲波應用上以發生肉眼看得見的氣泡時為空腔現象發生點，由文獻中得知若要形成空腔現象，則周圍音壓就幾乎等於空腔現象臨限值，即水壓為 1 大氣壓時，臨限值也約為 1 大氣壓

純水



5-1-1 放置 0 分鐘



5-1-2 放置 1 分鐘



5-1-3 放置 2 分鐘



5-1-4 放置 3 分鐘



5-1-5 放置 4 分鐘

## 10% 洗潔精



5-2-1 放置 1 分鐘



5-2-2 放置 2 分鐘

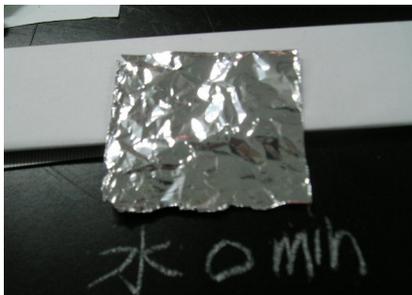


5-2-3 放置 3 分鐘



5-2-4 放置 4 分鐘

## 25% 洗潔精



5-3-1 放置 1 分鐘



5-3-2 放置 2 分鐘

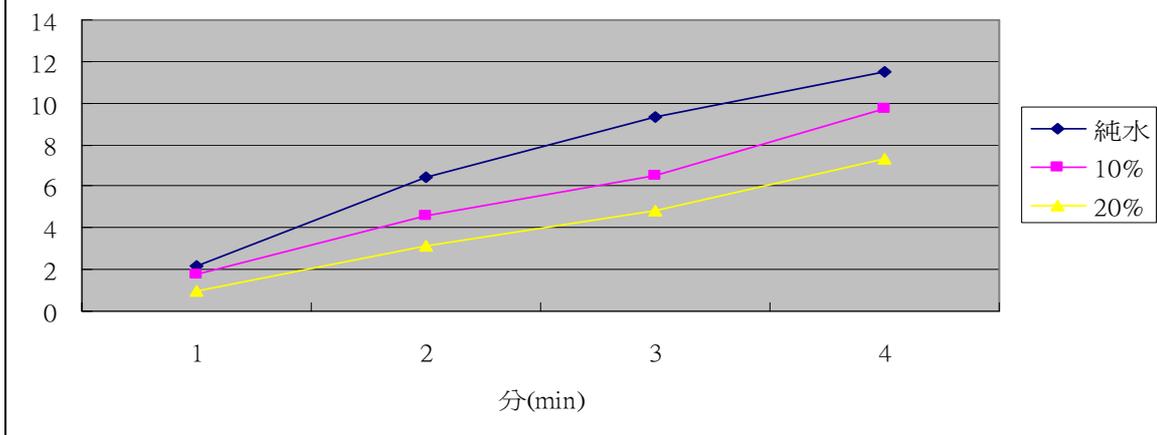


5-3-3 放置 3 分鐘



5-3-4 放置 4 分鐘

不同黏滯性液體中的空腔現象



## 評語

本研究做了許多關於超聲波性質及應用的研究，由超聲波對材料的應力、水中聲速…等，堪稱為一個非常完整的聲波研究，這是這個作品最大的優點但也是最大的缺點，因為課題太多就無法深入每個課題作一個很完整的研究如以超聲波打碎鋁箔，就沒有研究其機制哪裡會先被打穿等，頗為可惜。