

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030118

臺中縣立豐東國民中學

指導老師姓名

賴月琴

簡金標

作者姓名

鄭明哲

周欣怡

李采易

江旻宗

# 台中縣第 44 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：聲音現形記 瞧一瞧~聲音的 **Do Re Mi**

關 鍵 字：共鳴空氣柱、波速、節點與波腹

編 號：

# 題目：聲音現形記 瞧一瞧~聲音的 Do Re Mi

## 一.摘要

花了不少時間了解聲音的波動現象後，我們由已知音叉自組「U型長管空氣柱測量法」去推測實際聲速大小，結果與標準聲速誤差在10%以下，同時也比較出未知音叉的頻率。

爲了了解聲波與其他介質波動傳遞速率的快慢差異，我們由自製的「自動振動機」已成功的比較出粗繩波、細繩波及緊繩波的波速大小；以自動振動機控制單擺的規律擺動去撞擊自組煙霧箱，感受撞擊時產生的聲音及能量的傳遞，讓煙以不同的速率方式擴散，也從這個實驗比較出：空氣的聲速(20°C下)34300cm/s >> 單擺擺動的速率 10~20 cm/s > 煙圈自煙箱出口的速率 3~9 cm/s。

爲了讓聲音以更有活力、更有趣的方式具形化，我們以聲音三要素的方式設計了音波功的實驗。以錄影、電腦播放或現場感受的方式，就算聽不見也能看得到聲音的威力！

爲了讓聲音以另一種型式光來展現，我們以視覺暫留的現象定出音符定點展開的上、下、左、右的光點，再畫出音符的完整畫面；再企圖從跳動的反射光路徑中帶出舞動的 Do Re Mi 音符及曼妙的音樂。

爲了留住聲音的軌跡，我們將聲音以色彩的方式舞動出來、以不同紙材吸附對照，以感受古典音樂、搖滾音樂…等節奏下形成的色彩畫面。

## 二.研究動機

在資源班就讀的鄰居阿偉是個聽不到的聽障生，每次看他比手劃腳，我總是要猜個老半天，才知道他想表達的是什麼…。

這學期的新書一發下來，我的習慣照例是忍不住翻它一翻，一翻到自然第四冊第六章聲音的單元時，立刻吸引我的注意！那時我的心裡想「到時候可憐的阿偉一定更難過了，如果聲音能讓他看見，不知他會不會比較高興？」

因爲假期參加附近高中學校拿到物理科學競賽第一名的我，一開學老爸就鼓勵我報名學校的科研社。而學校科研社參加的第一條件是「須提出科學想法及報告研究方向」。所以我就將我最感興趣的『聲音』給提出去了，沒想到引起指導老師的注意，於是就在老師的指導下，我和同學們開始了研究之旅！

## 三.研究目的

- 1.了解聲波的波動現象
- 2.找出聲音有多快
- 3.以煙霧讓聲音現形
- 4.讓音波功重現江湖
- 5.讓光跳出聲音的律動
- 6.讓聲音帶出舞動的色彩

## 四.研究設備器材

自製的自動振動機	音叉 512Hz	數位相機	音叉	分貝計	奇異筆	導管	量筒
自製自動單擺調節器	音叉 440Hz	黑壁報紙	音叉棒	喇叭	鐵絲	燒杯	粗繩
自製含兩側鋼條的木支架	塑膠軟管	油性顏料	圖畫紙	粗彈簧	髮夾	卷筒	細繩
自製可調式自動轉輪	電腦報表紙	塑膠滴管	廚房紙巾	細彈簧	膠帶	線香	紅豆
1m長壓克力中空管	報廢光碟片	過期牛奶	濾紙	彈簧秤	玻璃管	鐵架	黃豆
透明壓克力管	平滑平木板	油性顏料	方格紙	打火機	錄音機	砝碼	米粒
長方形玻璃平板	長型紙盒	亞麻仁油	橡皮圈	塑膠袋	電子琴	軟尺	水
熱熔槍及熔膠	塑膠容器	保麗龍	定滑輪	塑膠繩	雷射筆	鋼尺	

## 五.研究過程及方法

### [研究一] 了解聲波的波動現象

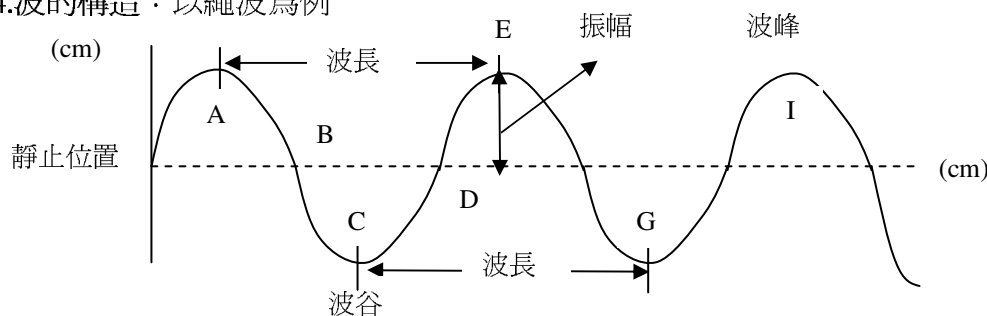
#### (一)波動及波動的種類：

- 1.波動—物質受到外力作用會產生擾動，當物質受擾動時，會引起相鄰物質跟著被擾動，而將擾動傳播出去，但物質本身並不會跟著被傳走，這種現象稱為波動。
- 2.波動的種類—波動賴以傳播的物質稱為介質。依需要介質與否，可分列說明如下表

波動的種類		特質	舉例
力學波	橫波	介質振動方向和波的前進方向垂直	繩波、上下振動的彈簧波、一般的水波(但海浪或深水水面的波卻同時含有『橫波』與『縱波』的成分)
	縱波	介質振動方向和波的前進方向平行	在空氣中傳播的聲波(在固體中聲波可以同時有縱波與橫波的成分，地震波也是如此)、前後振動的彈簧波
非力學波		不需介質也能傳遞	電磁波、光波

#### (二)波的特性：

- 1.週期：振源完整振動一次的時間，稱為週期。單位「秒、秒/次」。
- 2.波長：當振源振動一個週期時，波前進的距離稱為波長。單位「cm、m」。
- 3.頻率：振源在每一秒內所做完整的振動次數，與週期互為倒數關係。單位「1/秒、次/秒、赫(Hz)」。
- 4.波的構造：以繩波為例



- (1) 波峰：偏離靜止位置最高的點，如上圖中 A、E、I 點
- (2) 波谷：偏離靜止位置最低的點，如上圖中 C、G 點
- (3) 振幅：波峰或波谷到靜止平衡點間的距離，稱為振幅。
- (4) 波長：當振源完成一次振動時，波前進的距離。例如上圖中的  $\lambda_{AE} = \lambda_{CG}$

5.完成一次振動的意義：

- (1)所經過的時間為一個週期。
- (2)水平方向前進一個波長的距離。
- (3)介質上下經過四個振幅
- (4)產生一個完整的波形。

6.波速：

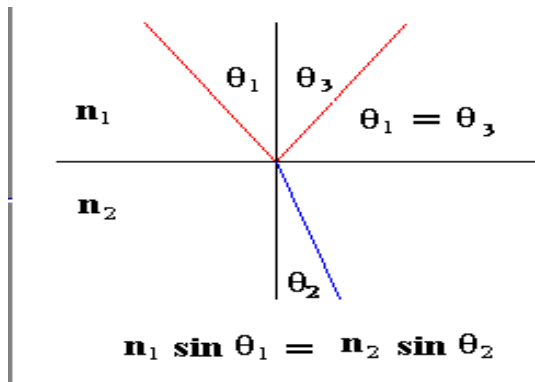
波速 = 頻率 × 波長 = 波長 × 1/週期。影響波速的因素為介質的種類及狀態。

(三)聲波的反射與折射：

- 1.反射：當前進的波遇到障礙物時，一部分波回到原來介質的現象。
- 2.反射定率：①入射線與反射線分別在法線的兩側，且發生在同一介質中。②入射角等於反射角。如右圖實驗及圖示說明。
- 3.折射：當波從一種介質進入另一種不同的介質時，如果入射方向不直於界面，則由於波傳播速率的改變而使波前進的方向偏折的現象，即稱為折射。
- 4.聲音在空氣與水中速率的比值約 0.23 倍(相對折射率)，因此聲音進入水中後，折射角很大。而且折射率相差越多，反射波相對強度越大，因此在水中較不易聽見水面上人們說話的聲音。以聲音為例：

聲波透過凹面反射後，能量可以集中

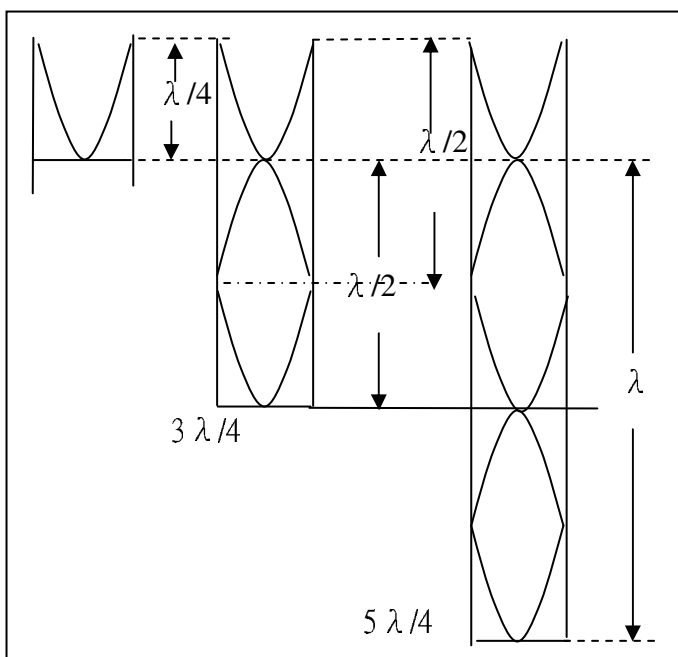
我們將兩個一模一樣的回收鍋以鐵架固定，在不同的位置移動紙人，再以田徑用的鳴槍，找出發槍位置與紙人晃動最明顯的地方是否皆與鍋底距離相同。



介質	空氣	水蒸汽	水	鋁
速率 m/s	331.45	401	1493	5104

(四)共鳴空氣柱的實驗原理：即為波的重疊原理，在共鳴空氣柱內，波速可由頻率  $f$  與波長  $\lambda$  得知， $v = f \times \lambda$  兩波波長、頻率與振幅皆相同但行進方向相反，當兩波疊加時可形成駐波。同理，若有一單頻的波列自水的界面反射時，則反射波與入射波將產生干涉也會形成駐波。

- 1.波節：反射波與入射波的相位剛好相反而使合成波的振幅永遠為零之位置。
- 2.波腹：兩波節的中央，入射波與反射波相位相同，合成波的振幅最大之位置。
- 3.最簡單的共鳴裝置為一端閉口，另一端開口的管子，而以其開口的一端靠近發聲物體，此種管子稱為半封閉管，常於聲波的共振實驗。



- 4.若管長適當，則發聲體的聲音會與管子產生共鳴而使聲音加強。當共鳴時，管子封閉端的空氣分子不能產生振動，故必為節點。
- 5.開口端的空氣分子有最大的運動自由度，故為波腹。
- 6.如右上圖所示，與一固定頻率的聲源所發聲波產生共鳴的最短管長應為波長的四分之一。管長若為最短管長的三倍或五倍時亦能產生共鳴，由此推之，任何半封閉管的長度，若為四分之一波長的奇數倍，即能產生共鳴。若管長為  $L$ ，波長為  $\lambda$ ，則  $L = n\lambda/4 (n=1,3,5,\dots)$

(五)聲波的產生與傳播：產生聲音的條件有物體發生快速振動、需有傳聲介質。傳聲速率與介質的種類、狀態、密度及溫度、溼度等因素有關。通常為固體 > 液體 > 氣體。

聲音在幾種不同物質中的傳播速率(20°C)

介質	傳播速率(公尺/秒)	介質	傳播速率(公尺/秒)
水	1463	木材	3352
海水	1520	銅	3810
空氣	343	鐵	5032
玻璃	5500	鉛	1190

(六)音樂中的物理：聲音可由響度、音調、音色之三要素來描述其不同的變化。關係如下表

三要素	意義	決定因素	單位	說明
響度	聲音強弱的程度和聲源能量有關	振幅的大小	分貝	1.振動體的振幅越大，音量越大，響度也越大。 2.聲音傳送時，隨著距離加大，響度變小，其他波長、週期、頻率、波速均不變
音調	聲音的高低	振動頻率的快慢	赫 Hz 次/秒	發音體越薄、越短、越細、拉得越緊，其振動頻率越快，音調也越高。
音色	每種發音體特有的發音特性	波形		雖沒見到人，但聞聲就可辨別是何人，這是因為每個人的聲音都有不同的音色所致。

還有它的「共鳴」現象：一物體振動發出聲音，傳到另一個物體，使另一個物體也隨之產生振動，此即為共鳴的意義。產生條件需有相同的頻率才行。所以，音樂中共鳴箱的作用為增強聲音的強度。

發音體		頻率範圍(赫茲)
一般樂器的樂音		20~4000
人類聲帶的發音		80~1000
交談時	男聲	95~142
	女聲	272~558

普通八音階各音的頻率如下表所示：

音名	C	D	E	F	G	A	B	C
音符	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
頻率(赫)	262	294	330	349	392	440	494	524

## [研究二]找出聲音有多快

### 實驗一、空氣柱的共振

準備器材：已知頻率的音叉、量筒、導管、燒杯、分貝計

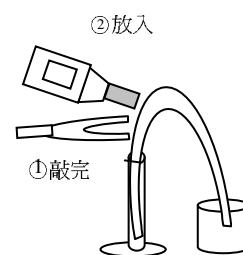
步驟：1.燒杯先裝清水半滿、量筒八分滿，導管也填滿水，並將導管兩端以拇指按住，分別放入燒杯及量筒中，使兩者能連通後備用。

2.音叉敲擊後置於量筒口，然後加減量筒內水柱的高度，以分貝計觀察其聲響的變化，當量筒內水柱達到某一高度時，聲音特別強時以找出  $\lambda/4$  的可能範圍。如右圖所示

3.再以此為區域，仔細畫分幾段，測量此數段的分貝數大小，記錄於下表一中。

實驗記錄 1：由前 5 次測試可知最大值介於 14.8~15.2cm 之間。

實驗記錄 2：我們決定以 14.7~15.3cm 的區段去測試其平均分貝量。



表一、氣溫為 24°C 下的空氣聲速測量(量筒空氣柱測量法)

區段	空氣柱長 cm	分貝 1	分貝 2	分貝 3	平均分貝
一	14.7	71.1	70.6	72.4	71.37
二	14.8	71.9	71.1	72.6	71.87
三	14.9	71.8	72.3	72.3	72.13
四	15.0	72.1	72.2	72.4	72.23
五	15.1	71.7	71.3	72.2	71.73
六	15.2	71.2	71.4	70.9	71.17
七	15.3	70.7	70.9	71.1	70.90

討論：1.音叉與量筒內空氣柱發生共鳴時，量筒內空氣柱的振動頻率等於音叉的頻率。 $\therefore$ 此空氣柱頻率為 512Hz。由表一可知，此  $\lambda/4 = 15.0\text{cm}$ ， $\therefore$ 波長 = 60.0 cm。

2.由研究一可知，算出已知頻率及量測出波長的乘積與當時氣溫的聲速大小做一對照，可看看此量筒空氣柱測量法誤差大小為多少。

$$\text{理論空氣聲速}(24^\circ\text{C}) = 331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 24 = 345.4(\text{m/s}) = 34540\text{cm/s}$$

$$\text{實測空氣聲速} = f \times \lambda = 512\text{Hz} \times 60\text{cm} = 30720\text{cm/s}$$

誤差% =  $(34540 - 30720) / 34540 \times 100\% = 11.06\%$ ，誤差可謂不小，而且整個量筒長共只有 37.5cm 長，若要推測  $3\lambda/4 (3 \times 60/4) = 45\text{cm}$  根本不可能，所以，我們決定另外設計工具，再予以測量。

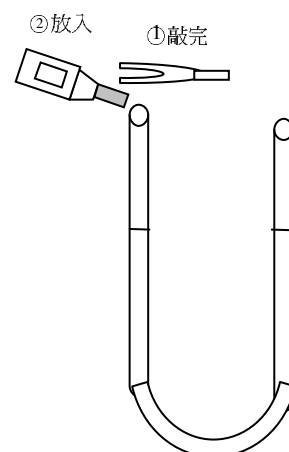
### 實驗二、修正空氣柱的共振並找出未知音叉頻率的方法

準備器材：約 1m 長，2cm 外徑、1.6 cm 內徑的壓克力中空管、內徑較粗的玻璃管、塑膠軟管、音叉 512Hz、音叉 440Hz、音叉棒、膠帶、分貝計、方格紙、橡皮圈

步驟：1.將約 1m 長的壓克力中空管黏貼上剪成長條型的方格紙，並依長度清楚標示出刻度記號。以塑膠管套接兩支中空長管管下方後備用。

2.套數條橡皮圈於壓克力管上，用以作為水面高度之記號。

3.管內倒水，置於最低位置，將該蓄水器充水，再慢慢提高蓄水器。



- 4.使已知頻率的音叉平行管口且相距 2 公分,以音叉棒對著音叉敲一下,以分貝計找出聲波共鳴的最短管長( $\lambda/4$ )。
- 5.同樣的操作方法,將蓄水器慢慢下降,使共鳴管長漸漸增加,以找到一聲音極大時(分貝數最大)的水面位置( $3\lambda/4$ )。在此位置附近緩慢的升降水面數次,以找到精確的共鳴位置,用橡皮圈作記號。再將蓄水器降低以盡可能再找到管長許可內之其他共鳴點。
- 6.同步驟 5,以找到一聲音極小時(分貝數最小)的水面位置,用橡皮圈作記號。
- 7.量各橡皮圈間的距離,記錄於下表中,以測量出波長,並由已知頻率,搥出當時氣溫下的聲速,最後與標準聲速作一比較,算出誤差百分比。
- 8.以不同頻率音叉或已知音叉加一鐵片成未知頻率音叉,再以上述方法測量出波長,對照步驟 7 找出的聲速,推測出其他頻率的音叉。



修正空氣柱的共振實驗管



實測空氣柱共振的情形

實驗記錄 1：由前 5 次測試可知最短管長的最大值約 15.5cm。

實驗記錄 2：我們決定以 15.5~15.7cm 的區段去測試其平均分貝量。再乘 3 倍測試  $3\lambda/4$  附近區段、或乘 5 倍測試  $5\lambda/4$  附近區段的分貝量。

表二、氣溫為 22°C 下的空氣聲速測量(U 型長管空氣柱測量法)

區段	空氣柱長 cm	分貝 1	分貝 2	分貝 3	平均分貝
$\lambda/4$ 一	15.5	70.8	71.1	72.6	71.50
$\lambda/4$ 二	<b>15.6</b>	<b>71.6</b>	<b>71.7</b>	<b>73.0</b>	<b>72.10</b>
$\lambda/4$ 三	15.7	71.2	71.4	72.4	71.67
$3\lambda/4$ 一	46.7	70.7	71.3	72.8	71.60
$3\lambda/4$ 二	46.8	71.5	71.6	73.2	72.17
$3\lambda/4$ 三	<b>46.9</b>	<b>71.7</b>	<b>72.2</b>	<b>73.4</b>	<b>72.43</b>
$3\lambda/4$ 四	47.0	70.6	72.0	73.0	71.87
$5\lambda/4$ 一	78.0	71.3	70.5	72.5	71.43
$5\lambda/4$ 二	<b>78.1</b>	<b>71.7</b>	<b>71.8</b>	<b>73.3</b>	<b>72.27</b>
$5\lambda/4$ 三	78.2	71.0	71.1	72.9	71.67
$5\lambda/4$ 四	78.3	71.1	71.3	73.0	71.80
$5\lambda/4$ 五	78.4	70.2	70.6	72.3	71.03
從管口端算起 $\lambda/2$ 左右	最低分貝量的空氣柱約 31.0cm	67.2	66.3	66.6	66.70
從管口端算起 $\lambda$ 左右	最低分貝量的空氣柱約 62.2cm	66.6	65.3	68.6	66.83
兩共鳴點間的位置 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$ $= 31.3 \therefore \lambda = 62.6\text{cm}$		兩共鳴點間的位置 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$ $\therefore \lambda = 62.4\text{cm}$		兩共鳴點間的位置 $5\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda$ $\lambda = 62.5\text{cm}$	
$\lambda$ 平均 = 62.5cm, 已知頻率 $f = 512\text{Hz}$ , 實測聲速 $v = f\lambda = 512 \times 0.625 = 320.0\text{m/s}$ 理論空氣聲速(22°C) = $331 + 0.6t = 331 + 0.6 \times 22 = 344.2(\text{m/s})$ 誤差% = $(344.2 - 320.0)/344.2 \times 100\% = 7.03\%$ , 誤差有小一些, 還可以接受。					



表三、由實驗二已知音叉推出未知音叉法的空氣聲速測量(氣溫為 22°C)

區段	空氣柱長 cm	分貝 1	分貝 2	分貝 3	平均分貝
一	10	64.6	64.9	64.2	64.57
二	20	69.3	68.9	68.8	69.00
三	30	64.6	65.2	65.6	65.13
四	40	66.9	67.2	67.6	67.23
五	50	68.4	69.1	69.1	68.87
由上面五個區段可知最大值 $\lambda/4$ 約為 20 cm 空氣柱長					
從管口端算起 $\lambda/4$ 左右	最高分貝量的空氣柱約 20cm	69.3	68.9	68.8	69.00
從管口端算起 $\lambda/2$ 左右	最低分貝量的空氣柱約 40cm	62.1	61.8	62.3	62.07
從管口端算起 $3\lambda/4$ 左右	最高分貝量的空氣柱約 60cm	69.1	68.9	69.3	69.10
兩共鳴點間的位置 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2 = 40 \therefore \lambda = 80\text{cm}$ 實測聲速 $v = f_1 \lambda_1 = f_2 \lambda_2 = 320.0\text{m/s} = 512 \times 0.625 = f_2 \times 0.80$ 已知頻率 $f_1 = 512\text{Hz}$ ， $\therefore$ 實測 $f_2 = 400\text{Hz}$ 誤差% = $(440 - 400)/440 \times 100\% = 9.09\%$					

- 討論：1.我們在設計管長時有考慮  $V = f \times \lambda$ ，若以聲速為 340m/s 而音叉頻率為 400 Hz 來計算的話  $340\text{m/s} = 400 \text{ 1/s} \times 0.85\text{m}$ ，即管長須為 0.85m 以上才至少可以順利測量出第一波( $\lambda/4$ )、第二波( $3\lambda/4$ )的節點；若以音叉頻率為 500 Hz 來計算的話  $340\text{m/s} = 500 \text{ 1/s} \times 0.68\text{m}$ ，即管長仍為 0.85m 以上才至少可以順利測量出第一波( $\lambda/4$ )、第二波( $3\lambda/4$ )、第三波( $5\lambda/4$ )的節點，所以我們決定去切割和現有稍粗的玻璃管外徑相符而內徑較小的 1m 長的壓克力管，實驗結果雖誤差在 10%以內，但如果壓克力管內徑再稍小一些，結果應可再縮小誤差才是。
- 2.照理說，不管由那一個音叉所測量出的各節點，所推算出的聲波波速應大致相同。所以我們再把另一支已知音叉頻率由第一支已知音叉頻率來推算：  
 $V(\text{相同}) = f_1(\text{已知}) \times \lambda_1(\text{測出}) = f_2(\text{推算出}) \times \lambda_2(\text{測出})$ ，結果證明若有未知音叉需知道它的頻率，也可以用此方法推算出來。
- 3.既然可以找到聲音最大的節點，那當然也應可以找到聲音最小時的管柱高度位置(分貝數最小)，而根據波的理論， $\lambda/4$  和  $3\lambda/4$  若在波峰的話，那波谷就是  $\lambda/2$  了；所以， $\lambda/4$  和  $3\lambda/4$  是波的節點(最密部)，是最大分貝數的地方；那最  $2\lambda/4$  即  $\lambda/2$  就是聲波的最疏部，是最小分貝數的地方，我們很高興結果也證明出來了。
- 4.空氣的聲速每秒約 340m，對我們要直接觀察出它跑多快的樣子是不可能的，但常跳繩的我，每次快速跳躍時，也感受聲音以風的姿態在我耳旁呼嘯而過的競速，所以我們想以自製的振動機找出繩波波速的快慢，以對照出聲波的快慢！

### 實驗三、以自製的自動振動機找出繩波波速的方法

準備器材：自製的自動振動機、粗繩、細繩、鐵架、定滑輪、砝碼、軟尺、鋼尺、奇異筆、數位相機

步驟：1.調整自動振動機轉動鈕的不同刻度，以計時一分鐘測量振動機上下擺動的頻率大小，記錄下來。

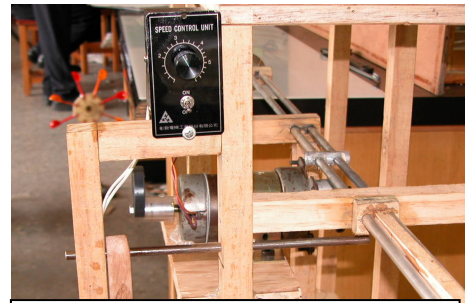
2.將約 2m 長的粗繩綁在自製的自動振動機上，如右圖所示，量測振動機上粗繩的高度，繩的另一端則繞過鐵架上定滑輪，並以懸掛的砝碼拉住繩尾，使繩子呈水平等高後備用。

3.轉動自動振動機的轉鈕在刻度 1 時，鐵架慢慢向外，先找出擺動時的第一個節點，記錄下來。

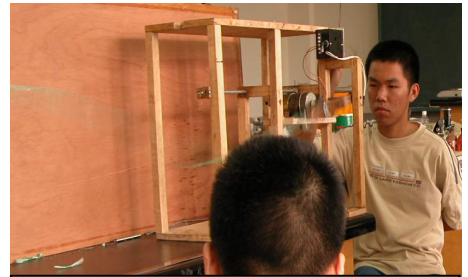
4.鐵架再慢慢向外移出，再找出繩子擺動時的第二個節點。以此類推，試著再找出第三個節點，若此時，繩子中間無法呈水平直線的話，懸掛的砝碼需加重才行。

5.同樣的操作方法，將細繩改為粗繩，使繩長漸漸增加，以找到第一、第二或第三節點的位置。在各位置附近緩慢的移動鐵架數次，以找到精確的節點位置，以拉長的軟尺作長度的測量，並記錄如下表。

【自製的自動振動機的振動如現場說明，錄製的實驗短片亦由現場電腦中播放。】



自動振動機上有轉鈕控制其下方的橫桿上下擺動



一人聽橫桿上下擺動聲音算次數、看時間，另三人數繩子上下擺動次數，把結果平均，差異太大的，重新再數一次

表四、自製的自動振動機的各轉鈕刻度頻率測量比較

自動振動機轉動鈕的刻度	4			5			6		
每分鐘上下擺動的次數	214	221	219	294	290	292	380	375	378
平均後換算成頻率 Hz	3.63			4.87			6.29		

表五、以【緊】、【細】的繩波波速實驗(4.85m 距離，4.9m 繩長，以 3kg 砝碼固定使繩子不動)

振動機轉動鈕	繩波的節點差距	粗繩波的節點長度 cm 平均				以節點間的差算出平均波長 cm	頻率 1/s	聲波波速 cm/s
刻度 4	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	467	458	430	452	$\therefore \lambda = 904$	3.63	3282
刻度 5	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	324	329	313	322	$\therefore \lambda = 644$	4.87	3136
刻度 6	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	245	250	252	249	$\therefore \lambda = 498$	6.29	3132

表六、以【緊】、【粗】的繩波波速實驗(2.95m 距離，3m 繩長，以 3kg 砝碼固定使繩子不動)

振動機轉動鈕	繩波的節點差距	粗繩波的節點長度 cm 平均				以節點間的差算出平均波長 cm	頻率 1/s	聲波波速 cm/s
刻度 4	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	272	287	296	285	$\lambda_1 = 570$ , $\lambda_2 = 560$	3.63	2051

	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	292	267	282	280	$\therefore \lambda = 565$		
刻度 5	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	212	209	194	205	$\lambda_1 = 410$ , $\lambda_2 = 420$ $\therefore \lambda = 415$	4.87	2021
	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	199	211	220	210			
刻度 6	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	166	158	160	161	$\lambda_1 = 322$ , $\lambda_2 = 324$ $\therefore \lambda = 323$	6.29	2032
	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	165	157	164	162			

表七、以【鬆】、【粗】的繩波波速實驗(2.9m 距離，3m 繩長，以 3kg 砝碼固定使繩子不動)

振動機轉動鈕	繩波的節點差距	粗繩波的節點長度 cm 平均				以節點間的差算 出平均波長 cm	頻率 1/s	聲波波 速 cm/s
刻度 4	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	242	224	265	244	$\lambda_1 = 488$ , $\lambda_2 = 482$ $\therefore \lambda = 485$	3.63	1761
	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	255	248	221	241			
刻度 5	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	182	189	184	185	$\lambda_1 = 370$ , $\lambda_2 = 374$ $\therefore \lambda = 372$	4.87	1812
	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	189	191	180	187			
刻度 6	第一~二波節點 $3\lambda/4 - \lambda/4 = \lambda/2$	146	148	140	145	$\lambda_1 = 290$ , $\lambda_2 = 284$ $\therefore \lambda = 287$	6.29	1805
	第二~三波節點 $5\lambda/4 - 3\lambda/4 = \lambda/2$	145	137	144	142			

- 討論：1.一開始的實驗都很不順利，每個人數的結果，總有伙伴和其他人差異太大，討論找出計數的一致性以後，只要有不一致的，就再重數一遍，最後，才總算漸入佳境。
- 2.原以為看到的第一節點是  $\lambda/4$  的，可是其數據快和  $3\lambda/4$  的接近，也就是說，第一節點  $\lambda/4$  的數值幾乎接近  $\lambda/2$ ！我們覺得很不合理，可是連續試了很多次，結果均大同小異。於是，我們停下來，仔細看著自動振動機的擺動和產生的繩波，原來，上下擺動的橫桿長度不小，桿的末端應是上下最寬的，結果繩波的波峰卻發生在其左側不遠處，而觀察到的長度的確接近  $\lambda/2$ ，所以，我們決定第一節點的不予計算，才會算第一~二波節點和第二~三波節點的間距。
- 3.一開始量測各波節點時是以綁上短細繩為記號，結果誤差卻很大，探究的原因是繩子跳動時，這些短細繩會滑動而且加短細繩會相當於改變繩的粗細，不是很合理，於是我們改為同時由三人同時看準節點後，大家一起倒數 123、一起抓第一、二、三節點，最後才算解決誤差太大的問題。
- 4.全部拉緊的繩子是無法擺動的，我們以比間距多放下 5cm、10cm 的繩長作為繩子緊、鬆的依據，故由上表中可發現，繩波波速大小為：細繩(緊) > 粗繩(緊) > 粗繩(鬆)，因此細繩根本測不到第三個  $5\lambda/4$  節點而粗繩可以。
- 5.我們也由實驗證明了，當振動機擺動的頻率變大時，波節點的間距會變小，而波速差不多，因此符合  $v$ (同一介質，波速同) =  $f$ (變大)  $\times$   $\lambda$ (變小)的結果。

#### 實驗四、以自製的自動振動機找出彈簧波波速的方法

準備器材：自製的自動振動機、粗彈簧、細彈簧、彈簧秤、砝碼、軟尺、平滑的平木板、數位相機

步驟：1.調整自動振動機轉動頻率和單擺擺動頻率一致，使轉動機轉動一圈時，單擺能恰好回復自然狀態而擺上的推板能將彈簧推擠一次。

2.將粗彈簧綁在自製的自動振動機推板上，如右圖所示，以平滑的平木板支撐彈簧使在一水平面上。彈簧的另一端則以彈簧秤勾住，以手拉住彈簧秤，使讀數為 500g 時，將拉住彈簧秤的手靠在平板上按住不動。

3.轉動自動振動機的轉鈕在刻度 1 時，推板開始向彈簧推擠，每推擠一次就先停下來，如此多做幾次以找出推擠時的第一個、第二個或第三個密部點的長度，對照已拉好的軟尺長度的數字，記錄下來。

4.轉動自動振動機的轉鈕在刻度 2 或 3 時，重覆步驟 3，將結果記錄下來。

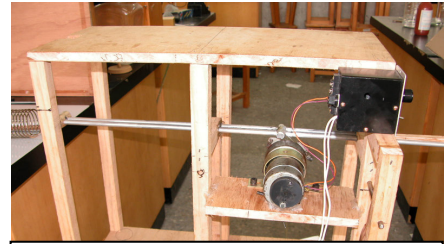
5.同步驟 2~4 的操作方法，使彈簧秤讀數為 1000g 時，將結果記錄下來。

6.同樣的操作方法，將粗彈簧改為細彈簧，將結果記錄如下表。

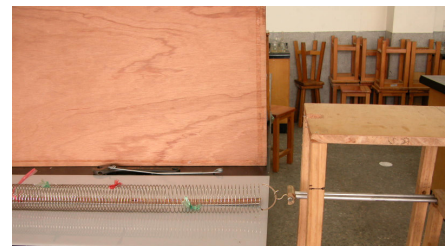
【自製的自動振動機的設計如現場說明，錄製的實驗短片亦由現場電腦中播放。】

討論：1.我們原本想，以粗、細彈簧及以 500g、1000g 彈簧秤拉力下，進行其波速的實驗，但似乎它向左側傳遞的速度太快了，不管我們用每 20 圈、每 10 圈的彈簧處用短細繩綁住做記號，還是測不出準確的密部節點，只好用眼睛觀察、用數位相機拍攝自動錄影畫面了。

2.難道聲音不能更具體的感覺它的存在且使它傳遞變慢使我們更易觀察？我們想到了在鼓面上跳動的米粒，於是想到，聲音不只是可以用空氣這種介質來傳聲，我們可以利用其它介質，例如「煙」來進行！連續敲打是可以觀察到，但是若要測出煙速則仍需規律的振動才好！於是我們設計了第三項研究。



自動振動機的滾輪轉動使推桿得以左右推擠彈簧



被右側推擠的彈簧形成疏密相間的波向左方快速傳過去

### [研究三] 以煙霧讓聲音現形

實驗五、以自製的單擺調節器找出煙霧使聲音現形的方法並能探究頻率與波長的關係

準備器材：自製自動單擺調節器、線香、打火機、黑壁報紙、兩個長型的回收紙盒、紙板、塑膠袋、膠帶、髮夾、塑膠繩、方格紙、數位相機

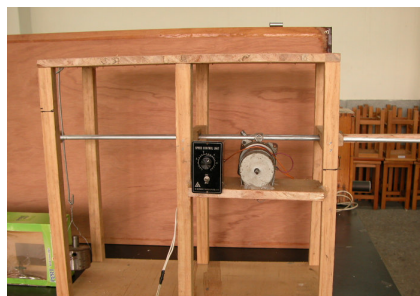
步驟 1.長型的回收紙盒半邊貼上黑色壁報紙，另半邊貼上一長條方格紙，並依長度寫上數字，最後在底部打一個小洞，以髮夾夾住穿過小洞，線長足以穿過紙盒的長度後備用。

2.將紙板剪成比紙盒口稍大一點點的圓形板 5 個，中間各挖 1、1.5、2、2.5、3cm 的洞口，再各剪比前洞口稍大一點點的塑膠袋膜，各以膠帶貼住洞口。

3.紙板以鑽子刺 5 小洞，將 5 支線香穿過紙板，一點燃線香就立刻伸入集煙箱內，使煙霧充滿整個瓶子，共計時五分鐘，瓶口貼上步驟 2 的紙板及膠膜。

4.將步驟 1 的塑膠繩另一端黏在步驟 3 紙盒口膠膜上，最後使兩紙盒口對著口，裝置就算完成了。(如右圖所示)

5.拉開集煙箱口的塑膠繩，以自製的自動單擺去拍擊煙箱的紙模，使煙圈進入一集煙箱內。記錄每 5 分鐘煙圈跑的時間及兩煙圈間的長度。



以自動振動機的轉輪自動拉、放固定長度的單擺擺長，使其呈 20° 擺角的擺

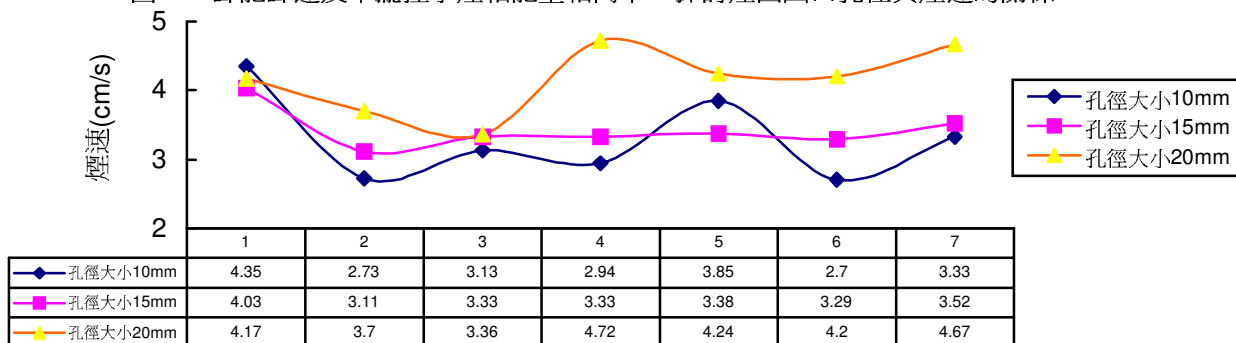


右側為煙箱，左側為集煙箱，拉動左側的繩子，中間的孔洞是煙向左移動的通道

表八、煙圈出口孔徑與煙速及波長的關係(控制變因：擺長 35 cm，擺錘質量 1040 g，擺角 20°，擺動頻率 50 次/秒，撞擊的位能呈 3 cm 的高度差所得 )

孔徑大小 cm	1.0							1.5							2.0							
煙圈直徑 cm	約 1.0							約 1.5							約 2.0							
煙跑 5cm	累計時間	1.15	2.98	4.58	6.28	7.58	9.43	11.07	1.24	2.85	4.35	5.85	7.33	8.85	10.27	1.20	2.55	4.04	5.10	6.28	7.47	8.54
	實際時間(秒)	1.15	1.83	1.60	1.70	1.30	1.85	1.64	1.24	1.61	1.50	1.50	1.48	1.52	1.42	1.20	1.35	1.49	1.06	1.18	1.19	1.07
煙速(cm/s)	4.35	2.73	3.13	2.94	3.85	2.70	3.33	4.03	3.11	3.33	3.33	3.38	3.29	3.52	4.17	3.70	3.36	4.72	4.24	4.20	4.67	
第一與第二煙圈的距離 cm		7.96	4.36	5.33	3.82	7.13	4.22		6.49	4.67	4.99	4.92	5.14	4.67		5.63	3.72	3.57	5.57	5.05	4.40	

圖一、聲能聲速及單擺撞擊煙箱能量相同下，探討煙圈出口孔徑與煙速的關係



煙序

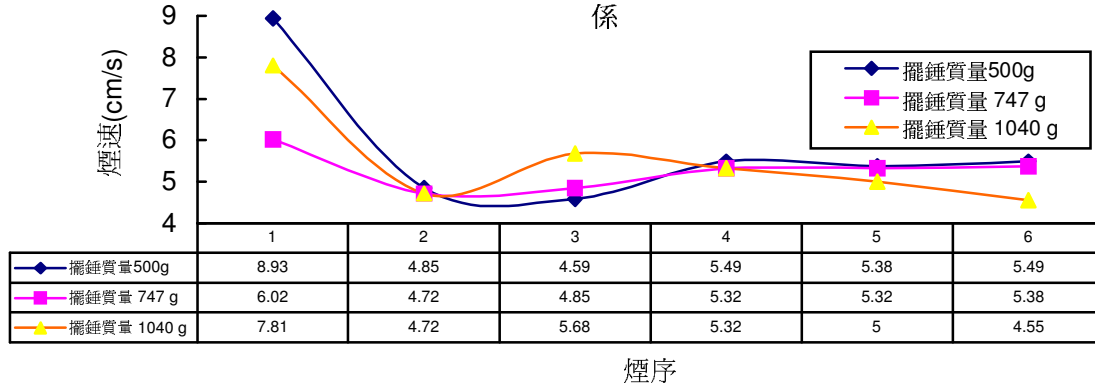
註：1.第一煙圈與第二煙圈的距離長度即在量測煙在集煙箱中擴散的路徑長為多少公分。

2.實際操作時需分工合作，固定同一人控制自動單擺(即擺動週期與馬達運轉扳手的週期需相等)、同一人量測煙圈間的長度、煙圈直徑、同一人量測煙圈跑 5cm 的時間。

表九、聲波的波源能量(擺錘質量不同)與煙速及波長的關係(控制變因：煙圈出口孔徑 1.0cm 擺長 35 cm，擺角 20°，擺動頻率 50 次/秒，撞擊的位能呈 3 cm 的高度差所得)

擺錘質量 g		500						747						1040					
煙圈直徑 cm		約 1.0						約 1.0						約 1.0					
煙跑 5cm	累計時間	0.56	1.59	2.68	3.59	4.52	5.43	0.83	1.89	2.92	3.86	4.80	5.73	0.64	1.71	2.58	3.42	4.42	5.52
	實際時間(秒)	0.56	1.03	1.09	0.91	0.93	0.91	0.83	1.06	1.03	0.94	0.94	0.93	0.64	1.06	0.88	0.94	1.00	1.10
煙速(cm/s)		8.93	4.85	4.59	5.49	5.38	5.49	6.02	4.72	4.85	5.32	5.32	5.38	7.81	4.72	5.68	5.32	5.00	4.55
第一與第二煙圈的距離 cm			9.20	5.28	4.18	5.10	4.90		6.38	4.86	9.40	5.00	4.95		8.28	4.16	5.34	5.32	5.50

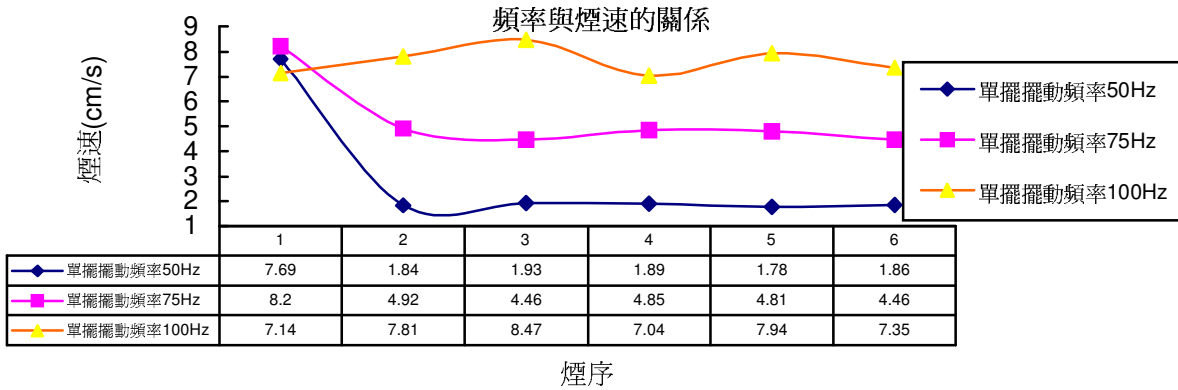
圖二、聲速及煙圈出口孔徑相同下，探討聲能、單擺撞擊煙箱能量與煙速的關係



表十、單擺的擺動頻率與煙速及波長的關係(控制變因：煙圈出口孔徑 1.0cm，擺長 35cm，擺角 20°，擺錘質量 1040 g，撞擊的位能呈 3 cm 的高度差所得)

擺動頻率(次/秒)		500						747						1040					
煙圈直徑 cm		約 1.0						約 1.0						約 1.0					
煙跑 5cm	累計時間	0.65	3.37	5.96	8.57	11.38	14.07	0.61	1.63	2.14	3.17	4.21	5.33	0.70	1.34	1.93	2.64	3.27	3.95
	實際時間(秒)	0.65	2.72	2.59	2.64	2.81	2.69	0.61	1.02	1.12	1.03	1.04	1.12	0.70	0.64	0.59	0.71	0.63	0.68
煙速(cm/s)		7.69	1.84	1.93	1.89	1.78	1.86	8.20	4.92	4.46	4.85	4.81	4.46	7.14	7.81	8.47	7.04	7.94	7.35
第一與第二煙圈的距離 cm			7.09	4.77	5.09	5.30	4.79		8.37	5.53	4.59	5.04	5.39		4.57	4.61	6.01	4.43	5.40

圖三、聲能、聲速、單擺撞擊煙箱能量及煙圈出口孔徑相同下，探討單擺擺動



【錄製的實驗短片亦由現場電腦中播放】

討論：

- 1.由上表及圖示所知，煙出口的速率和單擺擺動的速率關係最大，其次是出口孔徑大小，而影響最小的卻是單擺撞擊煙箱的能量(伴隨產生的聲)大小。
- 2.由表 可知，單擺擺動的速率計算如下

$$v = f \times \lambda = f \times 2 \pi r \times 20^\circ / 360^\circ$$

$$v_1 = f_1 \times \lambda = 0.833 \times (2 \times 3.14 \times 35 \times 20^\circ / 360^\circ) = 0.833 \times 12.21 =$$

10.2cm/s

$$v_2 = f_2 \times \lambda = 1.25 \times (2 \times 3.14 \times 35 \times 20^\circ / 360^\circ) = 1.25 \times 12.21 =$$

15.26cm/s

$$v_3 = f_3 \times \lambda = 1.67 \times (2 \times 3.14 \times 35 \times 20^\circ / 360^\circ) = 1.67 \times 12.21 =$$

20.4cm/s

在單擺移動的路徑相同(相當於波長  $\lambda$  相同)的情形下，單擺擺動的頻率愈大，單擺擺動的速率愈大。而單擺擺動的速率愈大，推動煙圈自煙箱出口的速率也愈大，難怪此因素影響煙箱出口的速率是最大的。我們從這個實驗發現

空氣的聲速(20°C下)34300cm/s >> 單擺擺動的速率 > 煙圈自煙箱出口的速率

- 3.煙圈出口孔徑也會影響煙圈自煙箱出口的速率，我們仔細探究數據所顯示的原因可能是：出口孔徑小，同一時間被推擠出來的煙量少，而要讓煙分子互相推擠以便在集煙箱中跑 5cm 路徑的擴散速率就會變慢了？照理講，通口孔徑愈小，擴散速率愈快才是，所以，也有可能要讓我們視覺判斷出煙圈的集煙量需到一定數量後，才判讀出煙圈出現了。

## [研究四] 讓音波功重現江湖

實驗六、以喇叭播放聲音使不同的介質在輕塑膠容器模板上呈現高低不同的跳動以探究聲音不同頻率及振幅大小的研究

準備器材：投影片、膠帶、熱熔槍及熔膠、米粒、黃豆、紅豆、保麗龍、水、喇叭、錄音機、數位相機

步驟：1.將白色及上色的保麗龍剪成小顆粒備用。如右圖。

2.將一張投影片剪出如喇叭口大小的圓，以膠帶緊貼在喇叭口上。

3.再拿一張投影片卷成圓形，用膠帶黏好，再以熱熔膠固定在步驟1的投影片上，最後一張投影片則剪成蓋子大小，以便播放音樂時，避免介質顆粒跳出。自製裝置如右圖。

4.喇叭對準聲音輸入口播放事先錄好的音樂，播放音樂時，以數位相機拍攝短片以觀看不同介質在投影片模上下跳動的情形。【錄製的實驗短片亦由現場電腦中播放】



喇叭的模板上已放保麗龍顆粒 播放音樂時，顆粒開始跳動 音樂響度及頻率不同時，保麗龍顆粒跳動的高低也不同

討論：1.可明顯看到不同聲音強度時，保麗龍等輕質顆粒在模板上跳動的高高低低不同，平均大約最高點在模板中央的地方。

2.模板在喇叭上需黏好呈平板狀、而捲成圓柱形的投影片筒，若不加蓋則內部輕質顆粒如保麗龍…等，均跳動不佳，等加蓋黏好，形成內部空氣激烈擾動時，內部的輕質材料才會快速高高低低不停的跳動。



## [研究五] 讓光跳出聲音的律動

實驗七、電射光筆照射喇叭上隨著聲音跳動的光碟，反射出聲音的律動並能看出不同聲音跳動的振幅、波長、頻率與波形的關係

準備器材：喇叭、報廢光碟片、膠帶、雷射筆、電子琴、電腦報表紙、自製含兩側鋼條的木支架、長方形玻璃平板、卷筒、自製可調式自動轉輪、數位相機

步驟 1.以自製含兩側鋼條的木支架承接玻璃平板，玻璃平板上再將電腦報表紙由左側拉至右側的卷筒上，黏好備用。

2.報廢光碟片剪成一小圓盤，以膠帶黏貼在喇叭上，喇叭與錄音機接好準備播放的音樂。

3.鐵架以鐵夾夾住雷射筆向下照射喇叭上的光碟片，使跳動的光碟片能將光反射至有電腦報表紙的卷筒上，以自動轉動的方式將紙帶動並自動捲帶。

4.同步驟 3，播放音符或音樂，以數位相機拍攝跳動的畫面，並卷動紙軸記錄出光在紙上跳動的頻率及波形。【錄製的實驗短片亦由現場電腦中播放】



喇叭上黏貼剪下的小光碟片



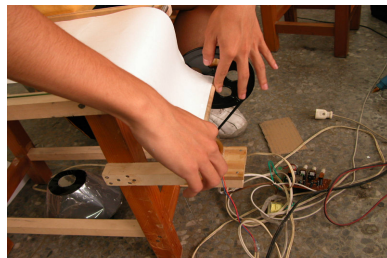
自製含兩側鋼條的木支架



木支架承接玻璃平板



將電腦報表紙由左側拉至右側的卷筒上，黏好備用



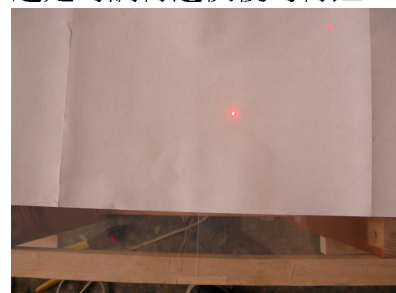
手拿雷射筆向喇叭上的光碟片照射



這是可調轉速快慢的轉鈕



這是大小的轉輪與轉軸



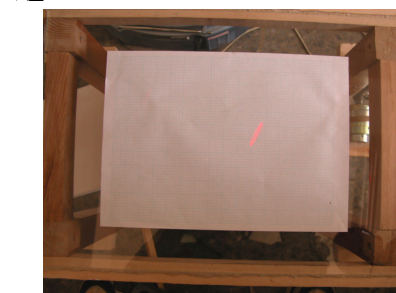
雷射光筆由下向上反射到達紙面形成明顯的光點



以鐵架鐵夾固定光筆以免晃動

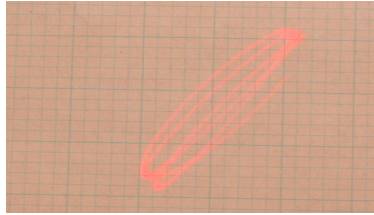


調整光筆反射後光點在紙上的位置 這是音符定點展開的 Do

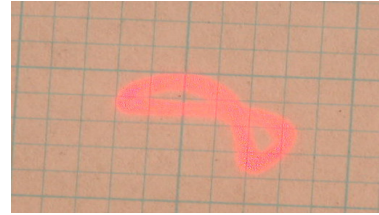




這是音符定點展開的 Do



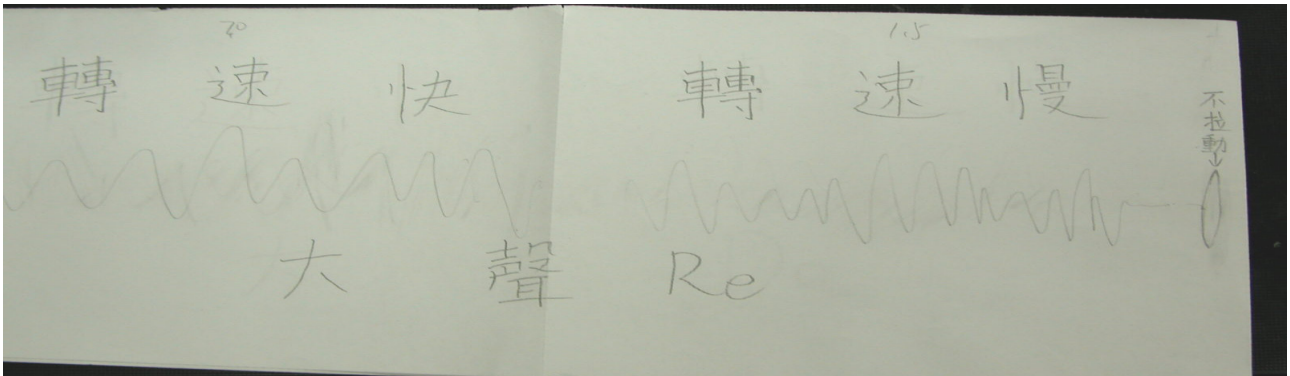
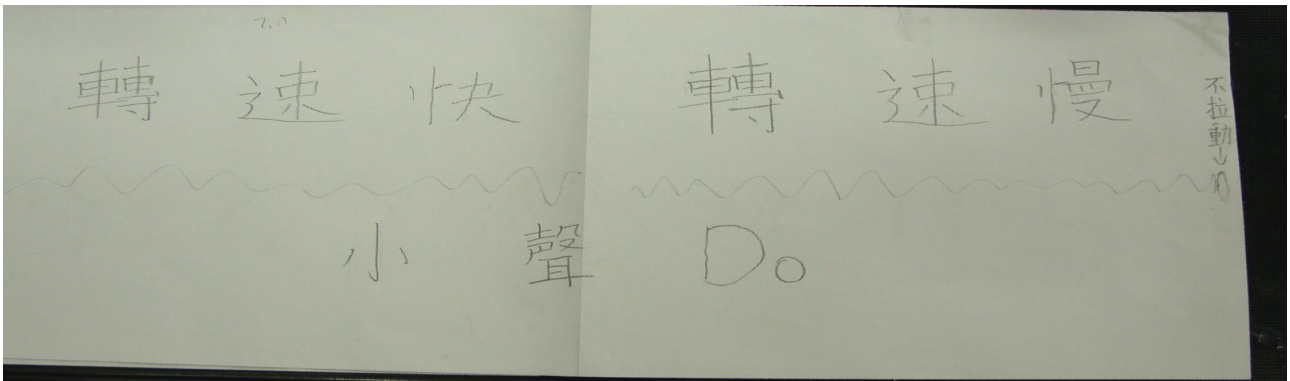
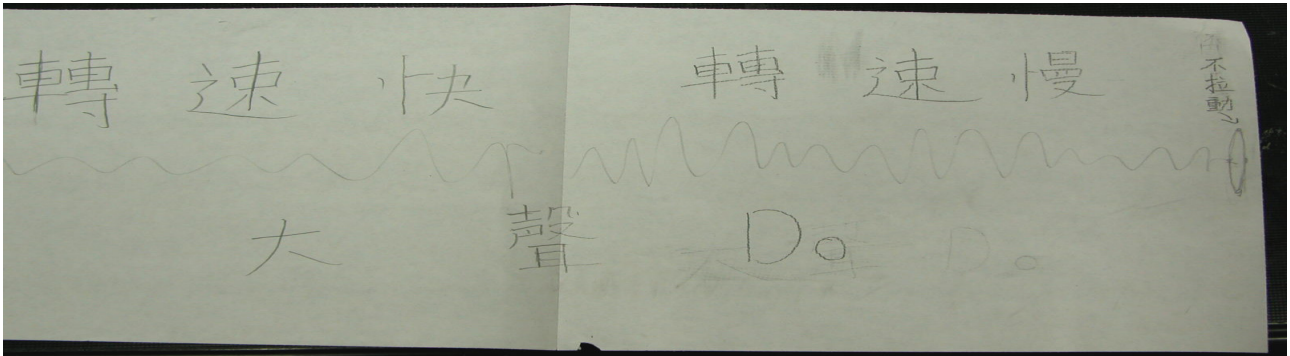
這是音符定點展開的 Re

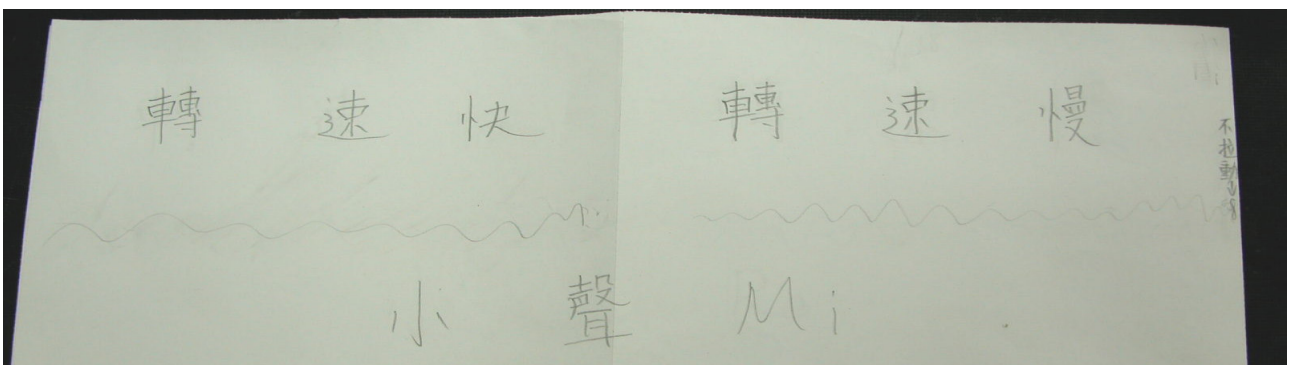
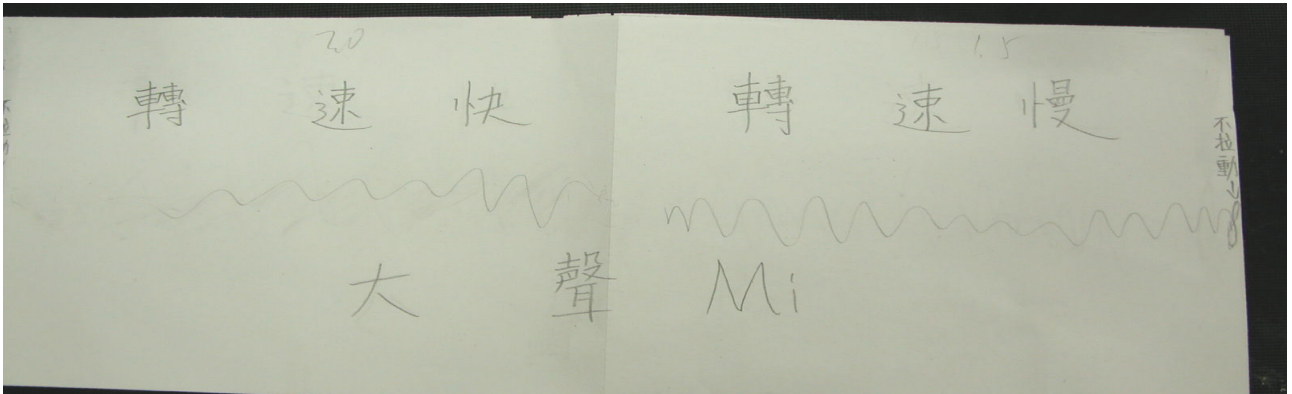
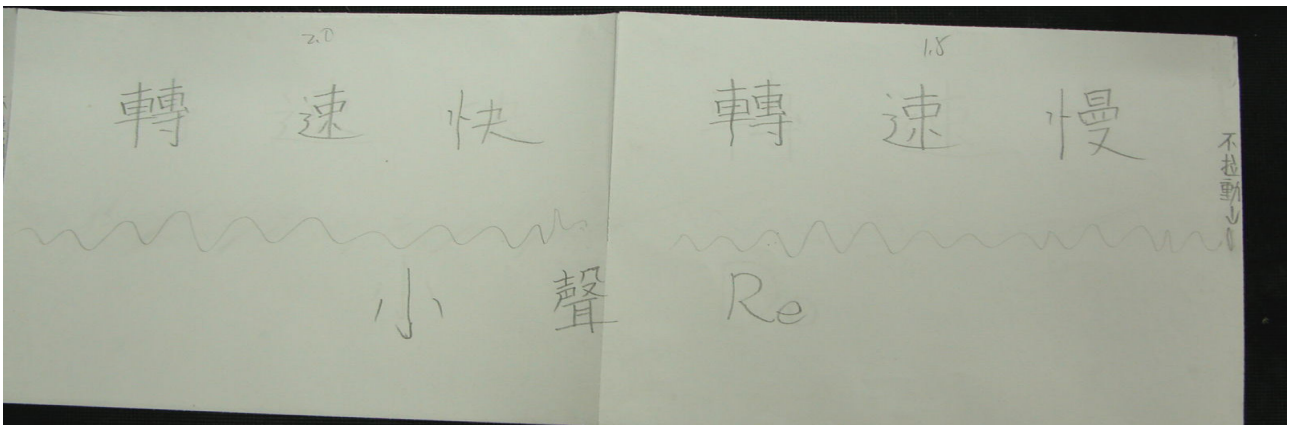


這是音符定點展開的 Mi



在自製可調式自動轉輪玻璃台上，隨著光點在捲動的紙帶上畫出音符





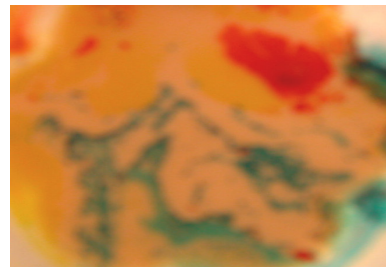
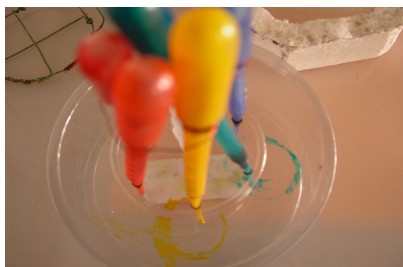
- 討論：1.方格紙的厚度稍厚，光點不是很理想，而且還要一張一張黏接，後來我們決定以電腦報表紙代替，果然效果好多了。
- 2.由現場的電子琴直接彈奏低音的 Do、Ra 或 Mi 最後以雷射筆反射光源達到描圖紙下的速度還是太快了，原本想學第一個測光速的人，利用轉動的鏡子使光速路徑變長，而能將偵測時間變長到可以記錄為止。但是這樣似乎仍太複雜了。或許有較容易做到的方式，例如：我們將錄下的 Do、Ra、Mi 或音樂經由聲速轉換器，使它從錄音機中出來的速度變慢，對拷幾次就變更慢了，結果，對拷幾次的聲音根本聽不出誰是 Do、誰是 Ra？只能再腦力激盪了。
- 3.我們原以為：聲波傳遞的路徑太短而光點在紙上跳動的速率太快了，不可能在不調整任何速度的情形下畫出音符。但是我們還是決定試試看！我們以視覺暫留的現象定出音符定點展開的上、下、左、右的光點，再畫出音符的完整畫面；另外，以鉛筆在捲動的紙帶中練習多次以後，才能適應手上的筆配合著聲波的 Do、Ra、Mi 音符的律動，畫出以不同的速度讓紙帶捲動的聲波波形。

## [研究六] 讓聲音帶出舞動的色彩

實驗八、以油性顏料滴在不同形狀障礙水面上觀察色彩帶出水波行進及反射的情形

準備器材：油性顏料、亞麻仁油、輕質塑膠容器、塑膠滴管七支、熱熔槍、過期奶粉、水、廚房紙巾、圖畫紙、濾紙、膠帶、喇叭、錄音機、數位相機

- 1.在輕質塑膠容器水槽上裝水二分滿，將過期奶粉加入攪拌使呈均勻程度。
- 2.塑膠容器蓋以熱熔槍在定位點打出配合塑膠滴管外徑大小的孔洞。
- 3.亞麻仁油將油性顏料調至適當濃度，以滴管能吸取且滴入奶水中不立即擴散為原則。
- 4.播放搖滾音樂、輕音樂…等不同旋律及節奏的音樂，以觀察油性顏料在水中擴散的情形並拍攝記錄之。等音樂停止後，準備將舞動的色彩以不同的紙材吸附留存。
- 5.放置廚房紙巾時需小心伸入水中，避免水產生擾動，以便能水平放入油面沾取油性顏料擴散的圖騰。提起圖畫紙時亦需小心水平向上拿起，最後置於陰涼處等待乾燥。
- 6.同步驟 4~5，只是改紙材為圖畫紙或濾紙，比較各種紙材吸附油彩的情形，記錄如下。



容器蓋打出配合塑膠滴管 這是準備滴入的顏料滴管 油彩隨音樂起舞的情形  
外徑大小的孔洞

吸附紙材	廚房紙巾	圖畫紙	濾紙
搖滾音樂			
古典音樂			

討論：1.一開始以不同的油性顏料滴在水面上，試觀察幾次色料在水面擴散的情形並不理想。

而圖畫紙要去吸附油性顏料的過程也不如預期的順利…。

2.直到我們將實驗室過期的奶粉當溶液，才總算看出色料在水面擴散、重疊的樣子。

3.以不同紙材如圖畫紙…等去吸附油性顏料的過程也開始有些進展，很明顯的以圖畫紙吸附的效果最明顯，也同時看出不同節奏的音樂形成色彩的圖案也大不同。

## 六.心得討論與建議

- 1.在【空氣柱的共振】實驗中，若以音叉在量筒內空氣柱發生共鳴的量測，只能推測出  $1/4$  波長的共鳴節點，而無法推測出第二個  $3/4$  波長的共鳴節點。
- 2.在【修正空氣柱的共振並找出未知音叉頻率的方法】實驗中，以音叉頻率為  $500\text{ Hz}$  來計算聲速的話  $340\text{m/s} = 500\text{ 1/s} \times 0.68\text{m}$ ，想要順利測量出第一波 ( $\lambda/4$ )、第二波 ( $3\lambda/4$ )、甚至第三波 ( $5\lambda/4$ ) 的節點的話，管長至少為  $0.85\text{m}$  以上才可以做到。我們已成功的在這個實驗中①實際推測聲速與理論聲速的誤差可在  $10\%$  以內。②在同一介質條件下，可由聲波波速及已知音叉頻率推算出未知音叉的頻率。③我們求證到聲音最大的節點位置是  $\lambda/4$  和  $3\lambda/4$ ；也證明了聲音最小時的管柱高度位置(除了開口端的空氣分子有最大的運動自由度即波腹外)就是  $\lambda/2$  和  $\lambda$  也是波腹。
- 3.在【以自製的自動振動機找出繩波波速的方法】實驗中，①我們發現所看到的繩波第一節點並不是  $\lambda/4$ ，而且數值幾乎接近  $\lambda/2$ ！經仔細觀察自動振動機的擺動和產生的繩波後，波腹不在擾動繩波的長桿上而在桿左側不遠處，因此，使得觀察到的繩波第一節點應為  $\lambda/2$  再扣掉桿長及那一段桿長旁到波腹的距離，所以，我們最後決定第一節點的不予計算，而從第一~二波節點和第二~三波節點的間距算出真正繩波的波長。②在操作上，一開始的誤差也很大，後來才改由三人同時看準節點後，大家一起倒數 123、一起抓第一、二、三節點，才總算解決誤差太大的問題。③我們發現全部拉緊的繩子是無法擺動的，最後才研究出可以比間距多放下  $5\text{cm}$ 、 $10\text{cm}$  的繩長作為繩子緊、鬆的依據，而所得到的結果是繩波波速大小為：細繩(緊) > 粗繩(緊) > 粗繩(鬆)，我們也因此實驗證明了，當振動機擺動的頻率變大時，波節點的間距會變小，而波速差不多，而符合  $v(\text{同一介質, 波速同}) = f(\text{變大}) \times \lambda(\text{變小})$  的結果。
- 4.在【以自製的自動振動機找出彈簧波波速的方法】實驗中，本想測量各波節點的距離，但不管我們用每 20 圈、每 10 圈的彈簧處用短細繩綁住做記號，還是測不出準確的密部節點，只好用眼睛觀察、用數位相機拍攝自動錄影畫面了。經查各物質傳播的聲速「鐵的傳播速率  $5032\text{ 公尺/秒}$ 」，所以它真的傳遞速度太快了。
- 5.在【以自製的單擺調節器找出煙霧使聲音現形的方法並能探究頻率與波長的關係】實驗中，單擺移動的路徑相同，單擺擺動的頻率愈大，單擺擺動的速率愈大；單擺擺動的速率愈大，推動煙圈自煙箱出口的速率也愈大。所以，煙出口的速率和單擺擺動的速率關係最大，其次是出口孔徑大小，而影響最不明顯的卻是單擺撞擊煙箱的能量(伴隨產生的聲音能量)。比較所做實驗的各種波動速率大小依序是：空氣的聲速( $20^\circ\text{C}$ 下) $34300\text{cm/s}$  > 繩波波速 > 單擺擺動的速率 > 煙圈自煙箱出口的速率
- 6.在【以喇叭播放聲音使不同的介質在輕塑膠容器模板上呈現高低不同的跳動以探究聲音不同頻率及振幅大小的研究】的實驗中，是最明顯容易觀察到不同聲音強度時，保麗龍等輕質顆粒在模板上跳動的高低也不同。而且我們發現最高點平均大約在模板中央的地方，因為那個地方是聲波在密閉容器中共振最多、能量達到最強的位置。

- 7.在【雷射光筆照射喇叭上隨著聲音跳動的光碟，反射出聲音的律動並能看出不同聲音跳動的頻率與波形關係】的實驗中，聲波傳遞的路徑太短而光點在紙上跳動的速率還是太快了，我們以視覺暫留的現象定出音符定點展開的上、下、左、右的光點，再畫出音符的完整畫面；另外，以鉛筆在捲動的紙帶中練習多次以後，才能適應手上的筆配合著聲波的 Do、Ra、Mi 音符的律動，畫出以不同的速度讓紙帶捲動的聲波波形。
- 8.在【以油性顏料滴在不同形狀障礙水面上觀察色彩帶出水波行進及反射的情形】的實驗中，也是失敗了好幾次，改了幾次油性顏料的配方，最後才終於讓我們看到所期待的「聲音帶出舞動色彩的畫面」。
- 9.爲了比較及了解聲音的波動快慢，也爲了讓聲音現形，我們不知腦力激盪了幾次、挫敗了幾次，整個實驗室被我們眾多的道具給快佔滿了，發現這樣的設計有問題，就再找東西、找材料做做看，結果原先所設想的、所設計的可能一下子就被推翻了。原以爲參考資料不會有錯，結果還是要大改特改、經由仔細觀察及推算後，才能做出合理的實驗結果。(尤其在繩波的地方，爲了第一節點的觀念，讓我們來來回回做了不下十次冗長、繁鎖的實驗，最後才使我們更了解節點與波腹的意義…)。最後，我很感謝老師辛勤的指導與包容、同伴的努力與陪伴、爸爸的支援與幫助，一切的一切，就爲了圓夢…。我們何其有幸，能在有聲的世界盡情享受，真是多彩又多姿！又有多少人，是必須在無聲的世界中，靜默一生？希望世界上沒有這麼多不幸的人，也希望我們的努力能激起一些關懷弱勢族群人士的迴響與不吝嗇的付出！

## 七.參考資料

- 1.康軒自然第四冊第六章聲音 康軒文教事業
- 2.國中理化第一冊第三章聲音 國立編輯館
- 3.[http://www.phy.ntnu.edu.tw/~hwang/index\\_c.htm](http://www.phy.ntnu.edu.tw/~hwang/index_c.htm)/[國立台灣師範大學 物理系 黃福坤教授網站](#)
- 4.高中物理實驗復習寶典 實驗 15 共鳴空氣柱 吳笛、李興精編 台芝文化事業
- 5.歷屆全國物理科科展 國立台灣科學教育館

## 評語

030118 國中組物理科 佳作

聲音現形記瞧一瞧—聲音 Do.Re.Mi

本作品實驗器材創新，觀察之現象亦甚有趣，實驗題材廣，然如能以聚焦於某特定題目而予以加強物理現象之探討，將更為良好。對煙之速度之探討頗具創新，然數據之誤差控制及討論可再加強之！