中華民國第55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

第一名

080823

別開聲面—隔空滅火探究分析

學校名稱：臺南市關廟區五甲國民小學

作者：	指導老師：
小六 黃資雅	謝文山
小六 黃曜霆	劉炳告
小六 郭冠廷	
小六 方譯蔓	
小六 洪廷宇	
小五 盧柏凱	

關鍵詞：聲音滅火、共振、駐波

得獎感言

經過一年奮鬥，總算在炎熱多雨的暑假中結束令人難忘的〝科展〞。

初開始只是覺得好玩有趣，為什麼隔著水晶杯的燭火可以被吹滅？

看起來簡單的做起來卻是最難！

老師允許我們拿現有的零件、設備來組裝設計實驗器材，盡情的去測試它的可能。

一開始，我們根本無法將火熄滅，幾乎每天都要到實驗室做研究、改進、尋找條件和測數據。每天在實驗室裡找我們要的東西，有時候心裡覺得自己好像是在浪費時間，覺得自己的努力似乎沒有成效，大多的時間是在旁邊等待。

付出越多時間總算是有慢慢的累積經驗，一點一滴的做出有趣的結果。

這次研究給我們一個啟發，我們不能對一個未知的實驗，就用經驗來判斷它可不可行，不可行就認為是迷人的魔術、是騙人的把戲，這不科學！須要想辦法來試試看！

為了參加市展、全國展，我們不知道請了多少的公假、多少的科目被我們就此犧牲掉，比賽前為了練習口頭報告，我們利用晚上在一起討論報告的內容。

在那段時間總覺得自己為什麼要進科展、為什麼一定要出去比賽，好多好多的不平在心中發芽。

但是，看到老師跟著我們一同經歷那些喜怒哀樂，就覺得自己的努力不是真正白費，至少從中我得到了比得獎還要珍貴的經驗以及友情。

這是今年夏天最美麗的收穫！

大合照

參觀闖關活動

作者合影

摘　　要

這是對**聲音滅火－聲音隔空滅火**的可行性提出探討！

來自**陳坤龍老師**的一段影片，我們探討它的變因，重要的是發現它居然和**“琴音滅火”**有關。

以鼓式風扇取代嘴巴，飲料杯當共振杯，兩個相同玻璃杯分別當吹氣與接收端。

沒有正對燭火吹氣或是在燭火與吹氣之間有阻礙，那一定不能滅火，這說明一定要有風－氣流的影響；共振杯太高太短都不行，太高氣流進不去共振杯中，太短是風直接吹滅燭火。必須要有共振才能增加玻璃瓶口的氣流振動達到滅火效果。

最後研究以喇叭來滅火，在浩瀚的 20~20KHz 中找到以 170Hz 與它相關倍數頻率能順利滅火的。

壹、研 究 動 機

在陳坤龍老師的臉書《動手玩實驗室》粉絲專頁中有一段影片，居然對一個牛奶瓶吹氣，另一個罩有杯子的牛奶瓶中燭火會熄滅，這怎麼可能？

是魔術吧！我們自己試著 DIY。發現根本不可能！不管怎麼試都不可能熄滅！騙人是魔術~害我們浪費時間~

指導老師：「陳老師不可能騙人造假！」要我們自己去問。

看到陳老師回覆，才覺得這果然是科學，當下認爲這是一個科學研究的好題目！

究竟是什麼原因造成熄火？是吹氣的氣流？還是瓶子的共振？還是這兩個都有！別的杯子行不行！我們決定挑戰這題目！

取自陳坤龍老師臉書《動手玩實驗室》**[註：照片人物不是科展作者本人]**

更有趣的事情，總是發生在意想不到的地方！在《趣味科學館 7》書中提到一則我們原本就想做的題目－[雖然沒有風，點燃的蠟燭卻熄滅了]，它是用鋼琴琴音滅火，這更讓我們匪夷所思、無法想像！

看起來這兩個之間，存在著某些關聯，就讓我們一起看下去！

琴音滅火[9]

貳、研 究 目 的

一、探討吹氣滅火的可能、初步實驗與設計實驗器材。
二、哪種風扇可以用來當嘴巴吹氣與風速測量。
三、探討吹口角度 θ 對燭火燃燒的影響。
四、研究 AB 杯的距離 L 對燭火的影響。
五、蠟燭燭燄高度 H 的影響。
六、改變共振杯高度對燭火的影響。
七、改變共振杯寬度實驗。
八、A 杯長度 h 改變對燭火的影響。
九、B 杯長度 D 改變對燭火的影響
十、探討不同粗細的 AB 杯對燭火的影響
十一、探討雙耳型喇叭滅火實驗
十二、以單邊喇叭滅火實驗研究

參、研究設備及器材

器材名稱	各式平口玻璃杯	各式飲料杯	各式牛奶杯	鼓式風扇
器材數量	5 個	不限	不限	1 個
器材名稱	電腦圓風扇	水晶杯	調光調速器	電源供應器
器材數量	1 個	10 個	1 組	1 組
器材名稱	各式音響喇叭	風速計	碼表	圓規
器材數量	3 個	1 組	1 組	1 個
器材名稱	打火機	油土	鑽孔機	升降臺
器材數量	不限	不限	1 組	2 組
器材名稱	木工工具	數學積木	鐵條	廢棄珍珠板
器材數量	1 組	不限	不限	不限
器材名稱	Audacity 軟體	麥克風		
器材數量	網路下載	1 組		

肆、研究過程

研究架構示意圖

一、相關文獻探討

(一) 五下自然與生活科技中第四單元「聲音與樂器」提到聲音經由空氣、介質的振動傳遞到耳朵，才聽到聲音。

聲音的傳遞是一種波動現象，可以用「**三要素**」來描述，分別是**音色**(波形)、**音高**(高低音，頻率)、**音量**(大小聲，跟振幅的平方有關)。

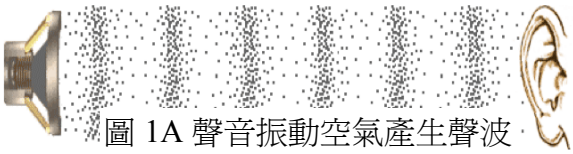


圖 1A 聲音振動空氣產生聲波

管樂器能發出悅耳的聲音跟管內空氣柱的長短有密切的關係，當空氣柱越長發出的頻率越低，越短聲音越高。

一般人能聽到的頻率是 20~20KHz，頻率越小聲音越低沉、越高越尖銳，單一頻率聽起來並不是那麼舒服。

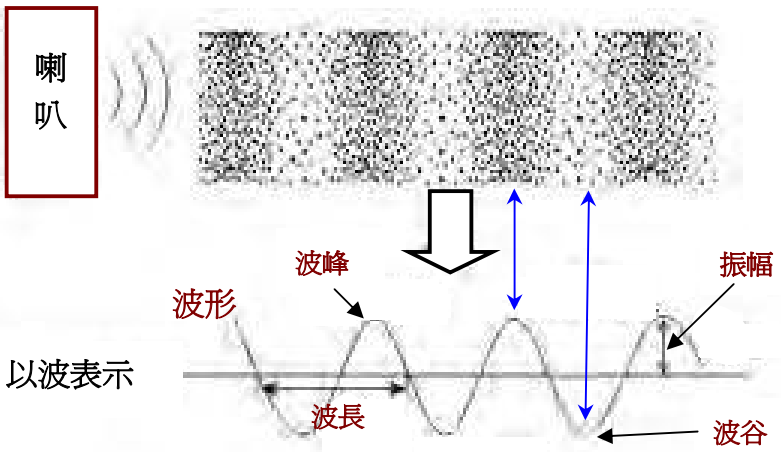


圖 1B 聲音振動與聲音三要素

(二) 在陳坤龍老師的【**動手玩實驗室**】粉絲網頁有段影片，嘴巴往吹牛奶瓶吹氣，另一個套有塑膠杯的牛奶瓶，它中間有支燃燒中的燭火會「應聲」熄滅！

這種奇異的隔空打“火”神功，跟聲波在瓶中的共振共鳴有關。

聲波在玻璃管中，就會形成駐波，有些地方振動特別激烈(波腹)、有些地方卻沒有振動(節點)的情形。

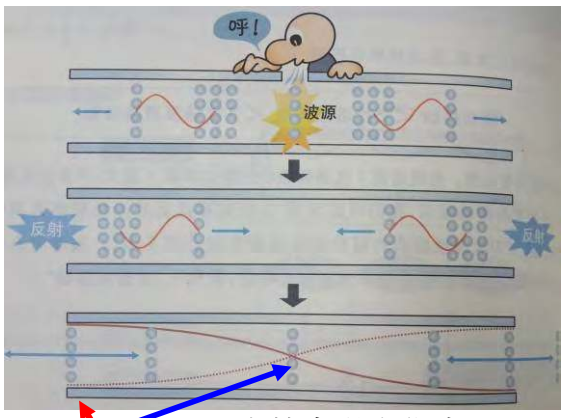


圖 1C 在管中形成駐波[5]

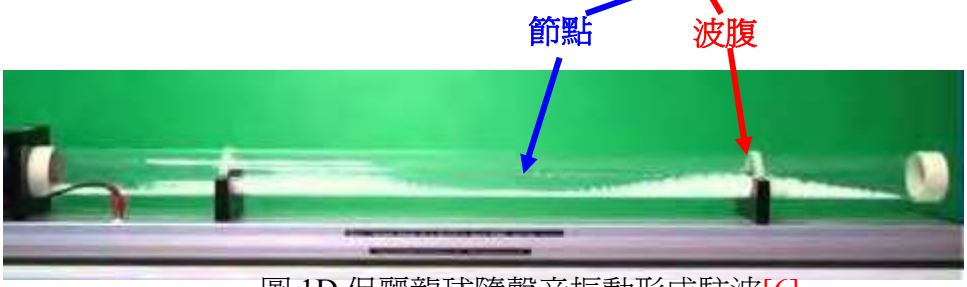


圖 1D 保麗龍球隨聲音振動形成駐波[6]

大多數的樂器在製造時，會考慮到共鳴。透過共鳴箱的設計，可以使振動的空氣量增加，如小提琴或吉他的音箱[10]。

(三) 在《趣味科學館 7》琴音滅火一節中提到產生共鳴的條件：要知道共鳴的音高、燭火要處於共振點位置、蠟燭燭芯的長度。

1.我們使用的是一端閉管的平口玻璃瓶(圖 1E)，這瓶的頻率 f 可以由 $\mathbf{f=\frac{Nv}{4L}}$ 或是 $\mathbf{f=\frac{Nv}{4(L+0.4d)}}$ [10]決定。

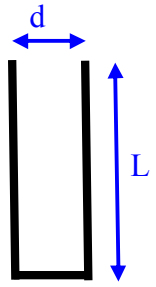


圖 1E 玻璃管 L、d

其中 N=1,3,5…；L 是瓶身長度，d 是瓶口內徑

聲速 V=331+0.6t (m/s)，t 是攝氏溫度。也就是相同溫度下空氣中聲音傳播的速度都相同。

2.燭火位置將由實驗決定；蠟燭太長燃燒旺盛，會不容易熄滅。

二、初步實驗測試

準備兩個相同的羊奶瓶洗淨，拿飲料杯將它們底部挖洞讓一個羊奶瓶瓶口能穿過。

將蠟燭懸掛在漆包線，裝上有飲料杯的牛奶瓶。

陳坤龍老師的秘訣是：

1.蠟燭要固定好在羊奶瓶口，沒固定效果差。

2.吹氣必須對著火燄吹，要快。

圖 1F 羊奶瓶+共振杯(飲料杯)、杯上有漆包線

三、設計實驗與製作器具

深入的研究它，不可能用嘴巴吹，每個人吹的力道強弱也不同，就用電腦風扇來取代嘴巴。並設計製作風扇底座、軌道、支撐架。

風扇底座可以在有標有刻度的軌道上滑動方便讀出數據。支架可以懸空蠟燭並且輕易的控制它的升降高度。準備等大的玻璃瓶與水晶杯。

圖 1G 鼓式風扇與軌道

圖 1H 蠟燭懸空設計

四、實驗名詞說明

1.A、**B 杯**：把放有蠟燭的玻璃瓶稱爲 A 杯；風扇口的玻璃瓶稱爲 B 杯。

2.共振杯：A 杯所套的水晶杯、飲料杯都稱爲共振杯。沒有它，風一吹就熄，這是風吹熄的，不是我們要的。

3.L：AB 兩杯的距離。θ：B 杯和風扇間的角度。

4.風扇口必須對著蠟燭燭火；朝其他方向不行；風扇到 A 杯中間不可以再有物品擋住；風扇口必須必須適當的用紙板遮風。

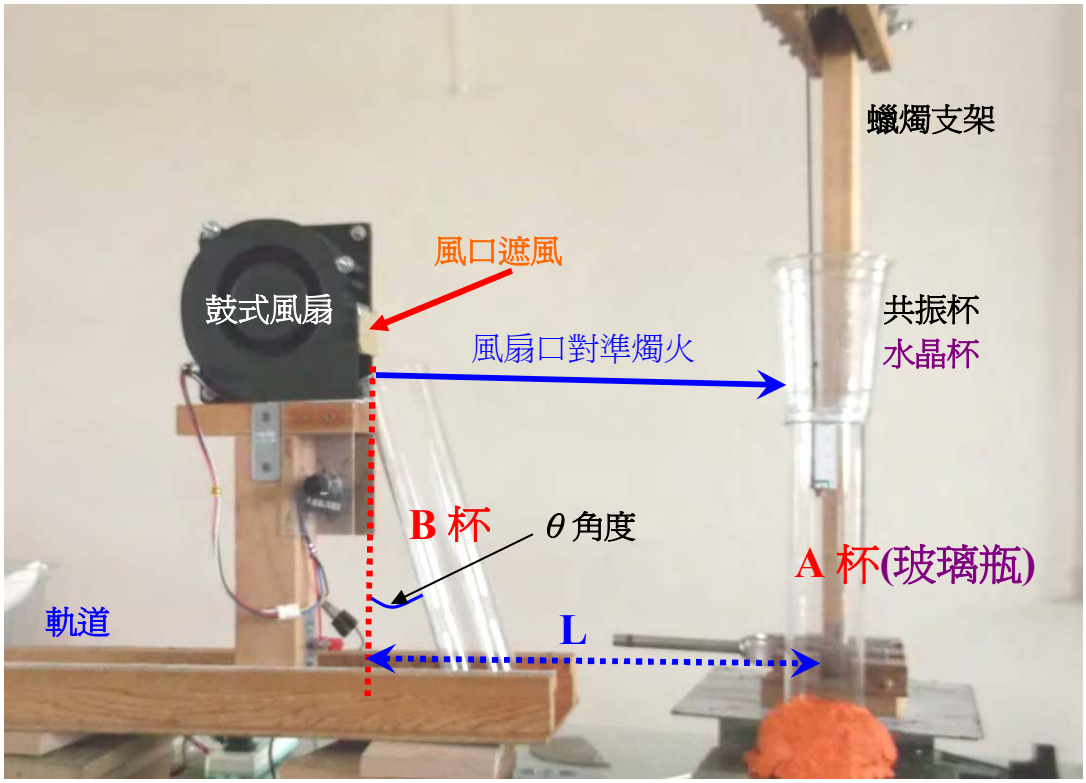


圖 1I 吹氣滅火實驗圖示說明

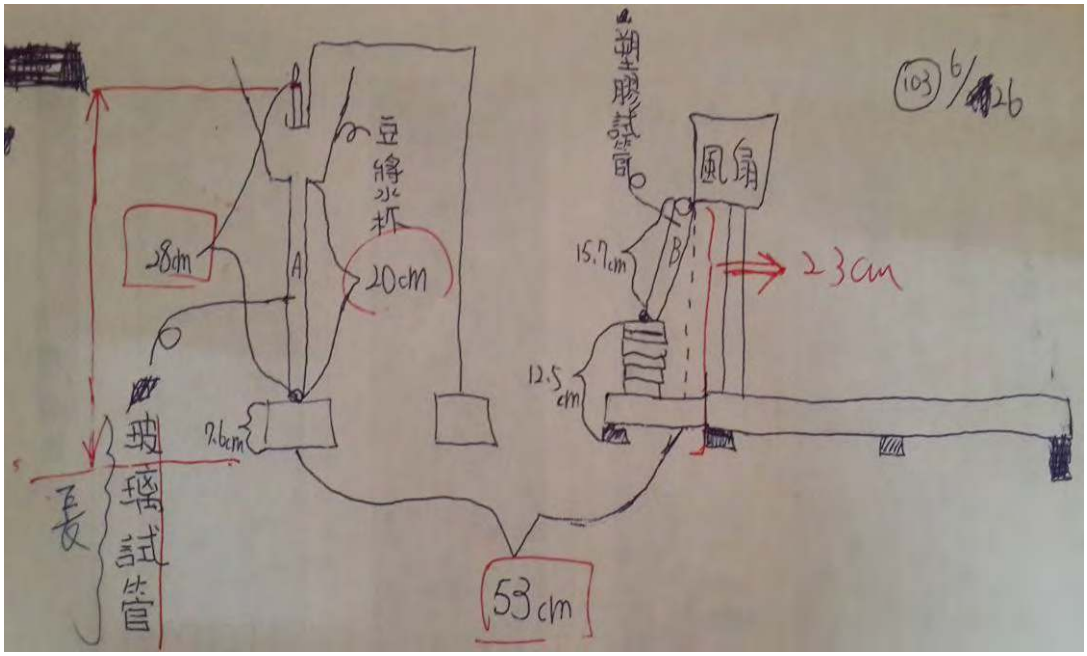


圖 1J 手繪吹氣滅火實驗圖示

五、Audacity 軟體使用

使用 Audacity 軟體，直接從網路下載；關於它的使用查詢「阿簡的生物筆記」有教學方法。

(1)Audacity+麥克風可以進行錄音分析，我們使用麥克錄下標準直笛的聲音－固定單音，再以軟體內建的頻率分析，找出標準直笛發出的頻率 Mi 對比網路找到它相關頻率值[8]，發現吻合的剛剛好。

根據我們比對結果，其實每一個音階唱名都如此，誤差很小這誤差來自選取“峰”的位置精準度。

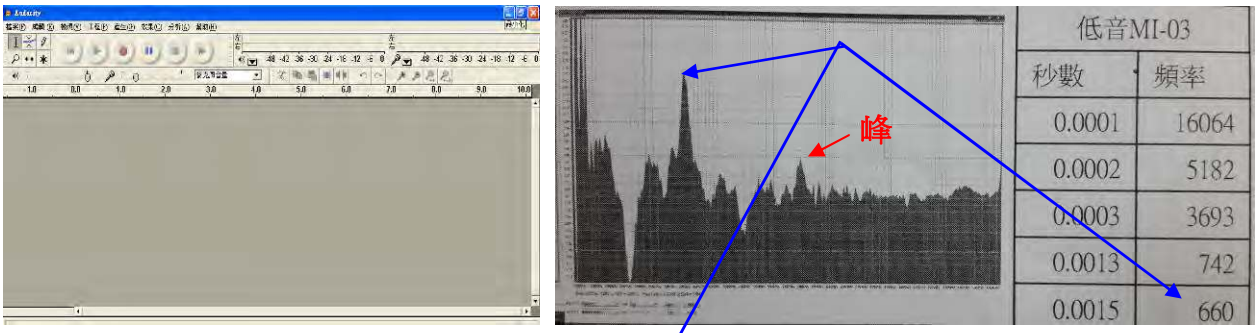


圖 1K　Audacity 免費軟體與頻率分析(拍攝自實驗報告)

音階唱名	標準頻率 f_s（Hz）
Do	523.25
Re	587.33
Mi	659.26
Fa	698.46
Sol	783.99
La	880.00
Si	987.77
Do	1046.5

圖 1L 音階唱名與頻率對照表[11]

圖 1M 直笛

(2)遭遇困難：用 Audacity+麥克風錄下風吹和敲擊玻璃管的聲音，藉此找出玻璃管頻率，再用該頻率來滅火，沒想到產生的頻率圖複雜異常；直接代閉管頻率 f 公式計算也不行！

這是我們遇到的困境，直接琴音滅火有困難。

(3)解決方案：山不轉路轉，改用 Audacity+喇叭音響，在 Audacity 的功能中能產生單一頻率的正弦波，調整它的振幅(音量)大小，用最最辛苦的方式搜索浩瀚無垠的聽覺範圍內的頻率，測試看它能不能滅火。

我們終究成功找到相關頻率！

伍、研究方法與結果

實驗一、哪種風扇可以用來當嘴巴吹氣與風速測量

風扇有兩種，鼓式與電腦圓風扇，究竟哪種可以用來當做嘴巴？

兩種風扇都有五種風速，這五種風速跟距離的關係測量方法如下：

風扇與風速計的距離由 5~45cm，每 5cm 測量一次。每調整一段風速，都讀取 5~10 秒內的風速最大值。

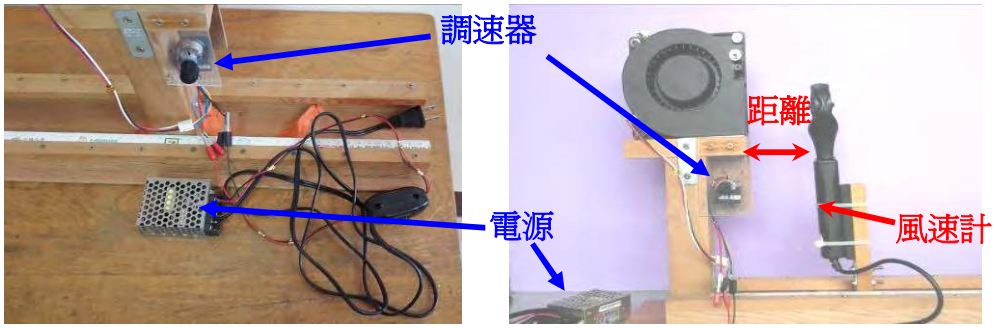


圖 1a 鼓式風扇、調速器、電源；風速計必須對準風扇中心

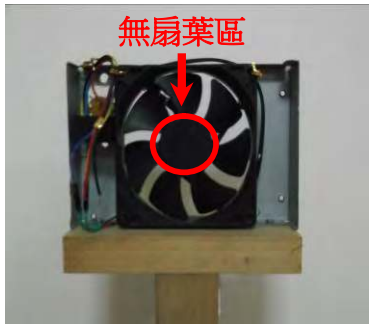


圖 1b 電腦風扇

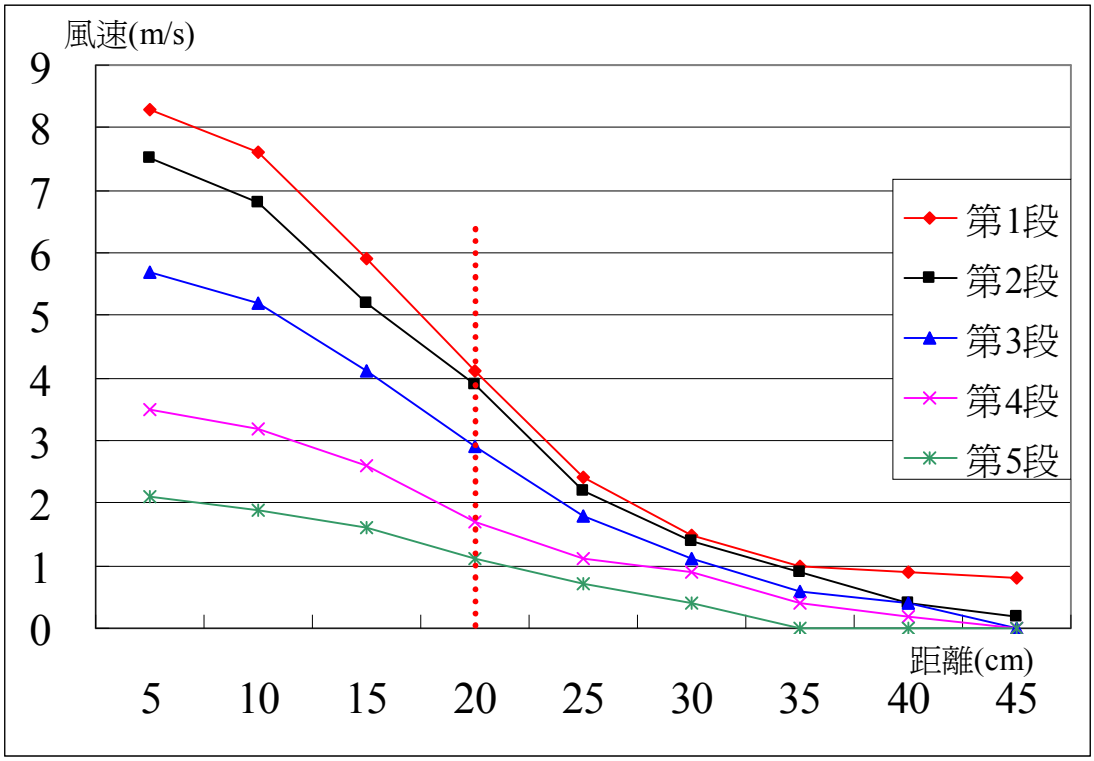


圖 1c 鼓式風扇五段風速隨距離增加而衰減

結論：

1.圖 1c 中**風速都是由最大值開始遞減**，在距離出風口 20cm 還有最大風速的一半；以第一段風速最大、第五段最弱。

它的出風口小，風能及遠！這風扇跟我們嘴巴吹氣的情形一致。

往後實驗時，**我們統一採第一段風速爲主**(出口 5cm 處風速 8.3m/s)。

2.電腦圓風扇變化跟嘴巴吹的情形完全不同，這款風扇我們不採用(圖 1b、d)！

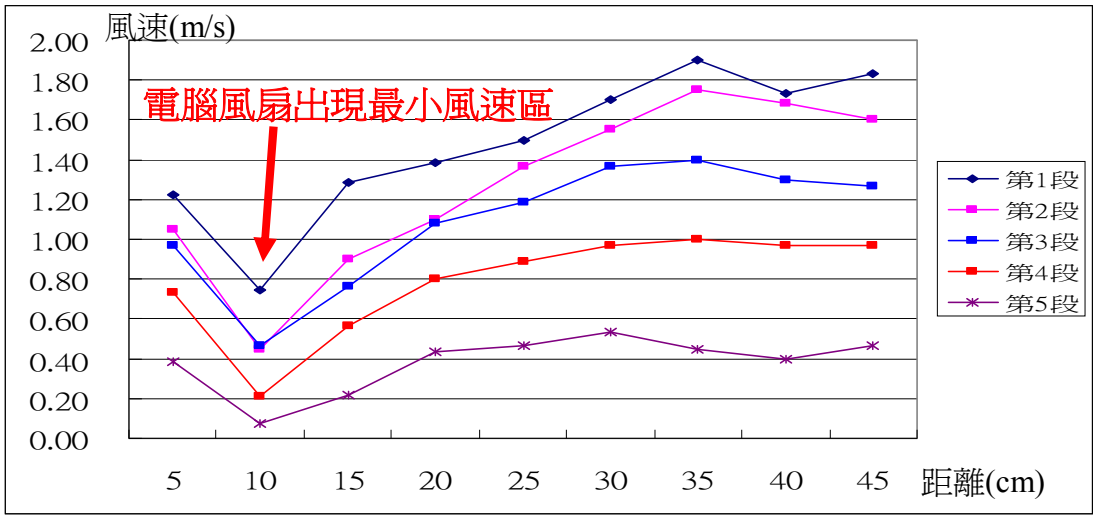


圖 1d 一般電腦風扇五段變速風速與距離關係

實驗二、探討吹口角度 θ 對燭火燃燒的影響

當嘴巴吹玻璃瓶會有一定的角度才能吹出聲音，這讓我們想到 B 杯和風扇間應該也會有特別的吹出角度，來影響燭火！

實驗如下：

1.鼓式風扇風速第一段，AB 杯的距離 L 是 30cm，A 杯中蠟燭蠟心距瓶口高 1cm；AB 杯為平口玻璃杯口徑 4.8cm、高 22cm；共振杯為水晶杯。

2.一打開風扇，立刻以碼表測量熄滅時間；**通常 20 秒以上火燄不動就可以當作不影響處理**(實驗圖示在 p5 圖 1D)。

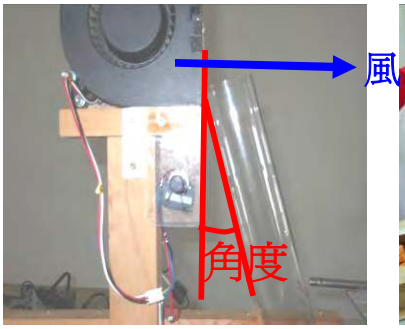


圖 2a B 杯的角度

圖 2b 調整 B 杯的角度

表 2.1：B 杯角度影響熄滅時間

角度(θ)	0	5	7	9	11	13	14	16	18	20	30	43
時間(s)	20↑	20↑	20↑	20↑	8.75	7.17	11.67	6.00	8.00	20↑	20↑	20↑

註：這裡 20↑，表示超過 20s 以上未熄滅。

結論：

1.能熄滅燭火的角度只集中在狹窄的角度範圍，**大約在 11~18 度間**；**往後的實驗都固定以 16 度來觀察。**

2.只觀察 20 秒是因爲在陳坤龍老師的影片中，熄滅的時間只有 1~2 秒。

3.這裡更大的角度我們無法作，原因是風被玻璃管擋住，吹不出來。

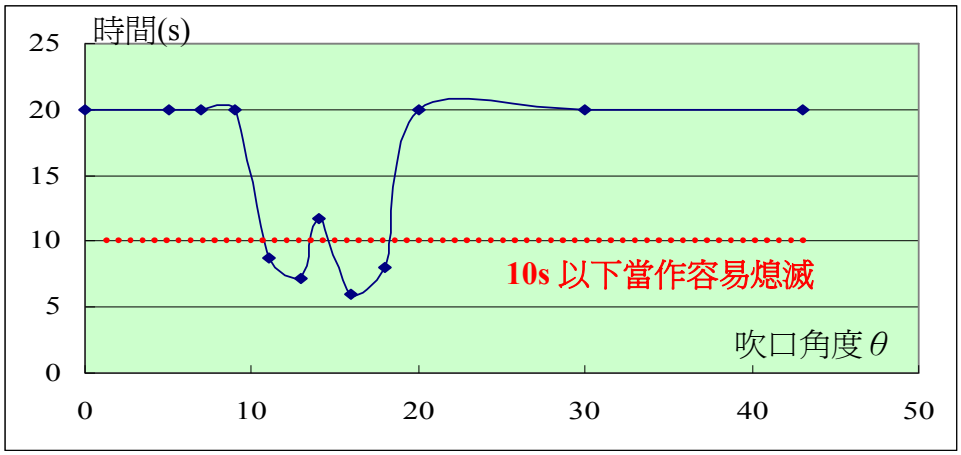


圖 2c　B 杯角度 θ 對燭火熄滅的影響

實驗三、研究 AB 杯的距離 L 對燭火的影響

AB 杯間距離 L 遠近對燭火熄滅會產生怎樣的影響？

實驗步驟：

1.鼓式風扇風速爲第一段，A 杯中蠟燭蠟心距瓶口高 1cm；A、B 杯均爲平口玻璃杯口徑 4.8cm、高 22cm；共振杯爲水晶杯。

2.操作變因是 AB 杯的距離 L 從 20 到 50cm，每 5cm 改變一次並測量。

這裡 AB 間的距離 L 是指鼓式風扇出風口到 A 杯中心(圖 3a)。

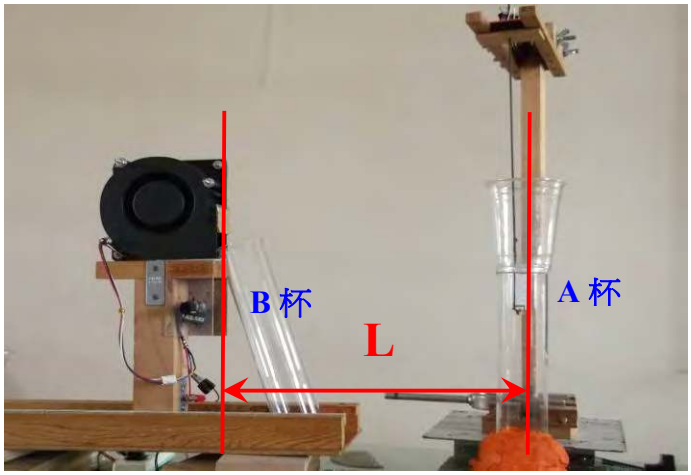


圖 3a　L 的距離圖示

討論：

1.40cm 以上當距離變大，越不可能熄滅杯中燭火。不可能到遠處仍然可

以發揮作用熄滅燭火，應該有個距離範圍。

能熄滅燭火的距離在 20-30cm 內！

表 3.1：L 距離的影響

AB 間距離 L(cm)	20	25	30	35	40	45	50
觀察 20s 內是否熄滅	O	O	O	O/X	X	X	X

註：O 熄滅、X 繼續燃燒

2.在 35cm 處是**處在一種既可以很快熄滅，也可以持續燃燒的尷尬位置！**

3.爲什麼小於 20cm 沒有實驗？這是實驗器材擺放有一定的最小距離。

往後實驗固定在 L=30cm 處－這是一定熄滅的地方進行各種變因的討論。

實驗四、蠟燭燭燄高度 H 的影響

蠟燭究竟要擺在 A 杯中哪個位置上？沒做實驗不清楚。

以蠟燭和 A 杯瓶口的高度爲 H(圖 4a)，瓶口當起點，蠟燭跟瓶口等高時 H=0cm，比瓶口高 H＞0，低於瓶口 H＜0。

實驗如下：

1.風速選第一段；AB 杯 L 距離 30cm；AB 杯均爲平口杯口徑 4.8cm、高 22cm；共振杯是水晶杯；θ=16 度。

2.**調整 A 杯蠟燭高度方法**

(1) 將鐵條彎成 L 形，蠟燭放在短邊上。

(2) 將**長尾鐵夾中心打洞**讓鐵條穿過，這樣就**能平衡穩住燭心一定在玻璃瓶中心**，也很容易升降鐵條來調整的燭火高度 H。

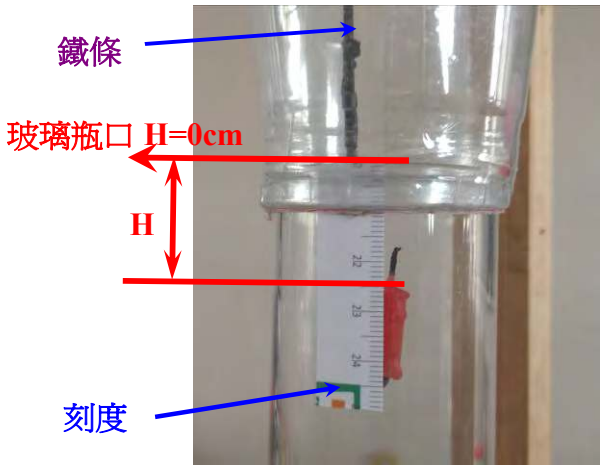


圖 4a　A 杯的燭燄高度 H 標示

圖 4b 蠟燭

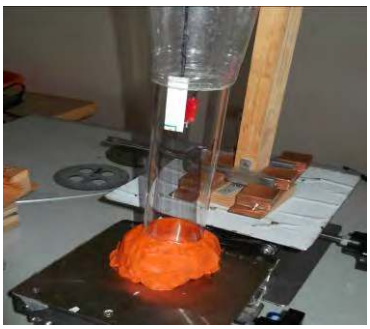


圖 4c 調整鐵夾與油土固定玻璃瓶

(3) 這實驗有聰明的作法，不能夠一公分一公分的改變。先將燭火點燃放在 H=0cm 處慢慢得往上或往下小小的調整高度，放到它**最容易最快熄滅的位置**，再記錄高度，重復進行這步驟！

表 4.1：H 距離影響燭火熄滅時間

H(cm)	9	8.5	7.9	7.8	7.7	7.6	7.5	7.4	7	6.5	6	5.9
時間(s)	1.3	2.0	2.0	1.0	3.0	1.7	2.8	2.6	2.6	4.0	1.8	3.0
H(cm)	5.6	5.5	5	4.5	4	3.9	3.8	3.5	2.9	2.7	2.5	2
時間(s)	2.0	2.0	2.7	2.0	3.0	4.0	3.0	3.3	2.0	2.7	3.7	4.3
H(cm)	1.5	1	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	-0.3
時間(s)	4.8	4.3	5.8	4.0	8.0	5.0	10.0	2.0	11.0	7.0	6.7	5.0
H(cm)	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1	-1.1	-1.2	-1.5	-2	-2.5
時間(s)	4.0	8.5	5.0	18.0	5.0	5.0	25.7	17.5	9.0	37.0	50↑	50↑

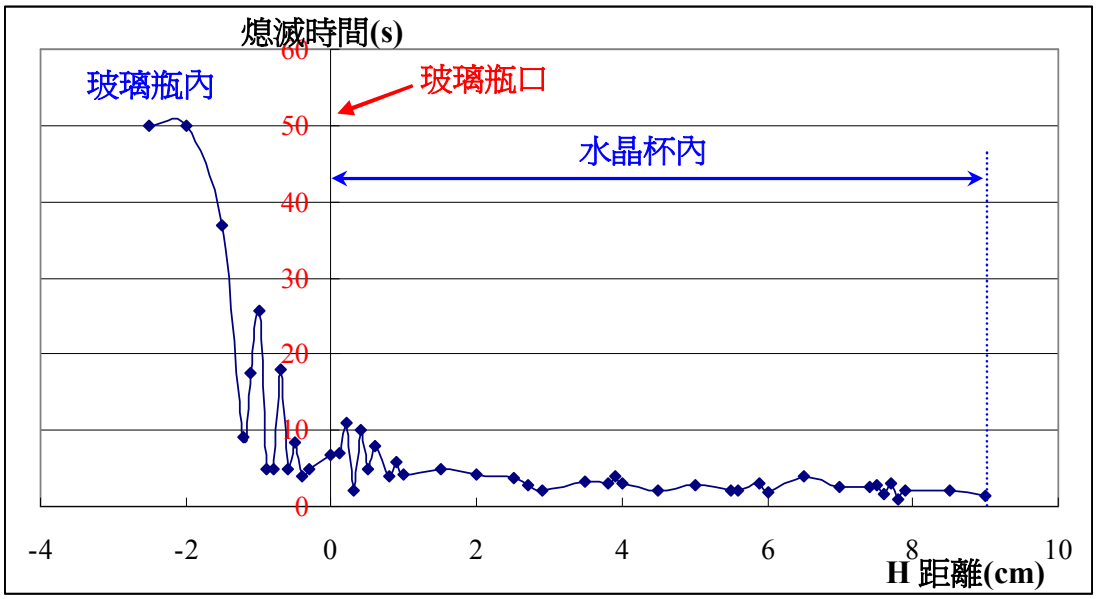


圖 4d　H 距離的影響

結論：

1.在水晶杯內所有距離的燭火都會熄滅！

2.**H** 在接近水晶杯杯口處最容易熄滅，這是瓶口處受風吹影響最大；

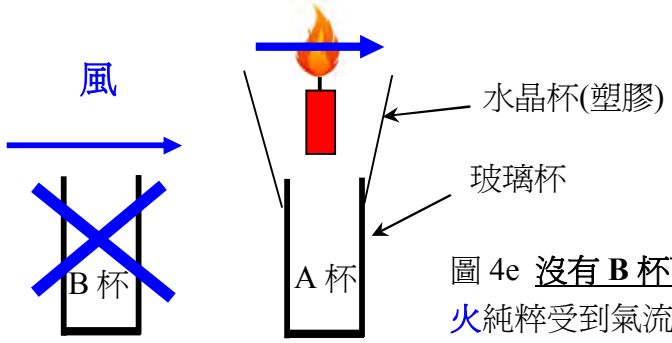


圖 4e **沒有 B 杯下**，**靠近水晶杯緣燭火**純粹受到氣流擾動而熄滅。

經實驗證實：**拿掉 B 杯**，僅用風扇，發現**近水晶杯口燭火熄滅的最大原因是氣流擾動**(圖 4e)。

※3.燭火在接近 H=0cm 處，**沒有 B 杯情況下，單靠風扇氣流無法將水晶杯內的燭火熄滅。**

也就是 B 杯存在有它的意義(圖 4f)。將在**陸、討論**中說明。

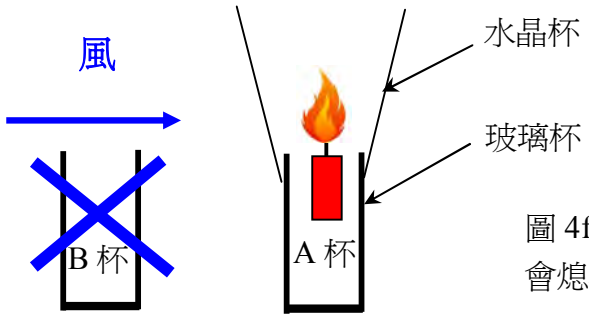


圖 4f <u>沒有 **B** 杯下</u>，**靠近 H=0 處**，不會熄滅。

4.**燭燄在玻璃瓶內從 1.5cm 到瓶底，火燄都持續燃燒幾乎不晃動－越深越不受影響！**

<u>這觀察使我們喜歡把燭火放在 **H=1cm** 附近(最容易熄滅處)，以便觀察其他變因影響。</u>

實驗五、改變共振杯高度對燭火的影響

我們對之前實驗所用的水晶杯有“高度”的質疑？是越長越好嗎？

搜集不同的飲料杯從中挑選出口徑、高度大小都相似，材質有軟質與硬質，軟質杯高 17cm、硬質高 16.2cm；在底部挖洞方便套入 A 杯。

實驗條件：

1.風速爲第一段；AB 杯的距離 L 是 30cm；燭火 H 是 1cm；θ=16 度；A、B 杯均爲平口杯口徑 4.8cm、高 22cm。

2.每完成一個實驗就剪去一段軟硬杯的高度 1.2cm，測量對燭火的影響。

圖 5a 飲料杯每次都固定剪去 1.2cm 長度；挖去底部；實驗中

表 5.1：軟硬質杯剪去長度、剩餘長度與燭火熄滅時間

剪去次數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
剪去累積長度(cm)	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8	12
A.硬質杯剩下長度(cm)	16.2	15	13.8	12.6	11.4	10.2	**9**	**7.8**	-	-	-
A.熄滅燭火時間(s)	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	3.99	-	-	-
B.軟質杯剩下長度(cm)	17	15.8	14.6	13.4	12.2	11.0	9.8	**8.6**	**7.4**	6.2	5.0
B.熄滅燭火時間(s)	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	20↑	**2.89**	2.43	4.03

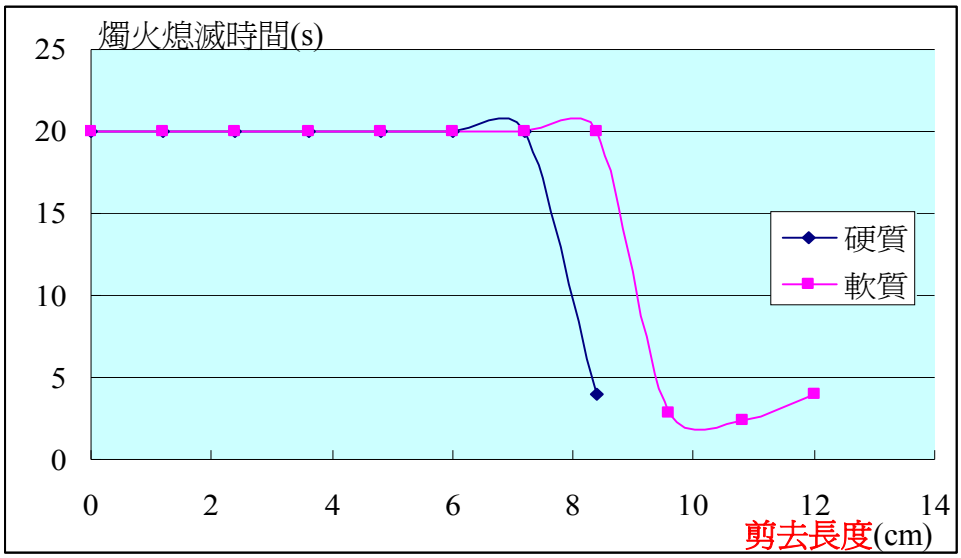


圖 5b 軟硬質杯剪去的長度對燭火的影響

結論：

1.軟杯剪去 9.6cm 剩 7.4cm 時、硬杯剪去 8.4cm 剩 7.8cm 時，燭火進入熄滅區，比這再短一定熄滅！

不管軟硬杯大約都只剩 7.4~7.8cm 左右。

※這說明杯子的高度是受到限制的，不是可以一味的長！太短也不行，太短受風的影響高於一切，風一吹就熄滅。手的觸覺就能感受到杯內的風動。

2.在杯子變短實驗過程中，明顯看到燭火搖晃越來越激烈，短到一定長度燭火就熄滅。當杯子短到一定程度，風除了會繞過杯子，還會從上方進入杯子中去干擾燭火(圖 5c)。

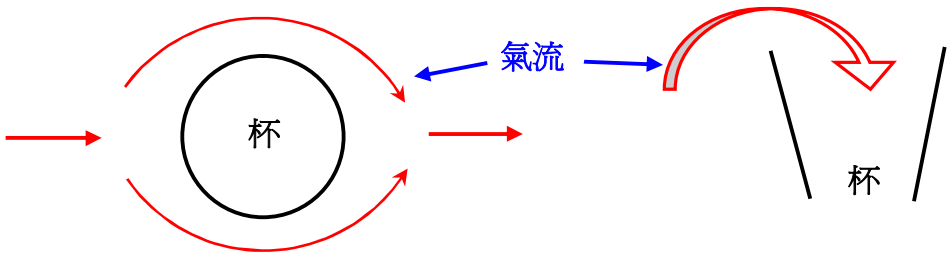


圖 6c 氣流順著杯緣繞過杯子、也進入杯中干擾火燄燃燒

3.還可以直接拿杯子來上下調整移動(不剪去高度)，看看到哪個位置火燄最容易熄滅！

我們發現硬質杯與玻璃杯兩者距離約 7.4cm 時，火燄熄滅！跟我們直接剪去結果相同(圖 6d)。

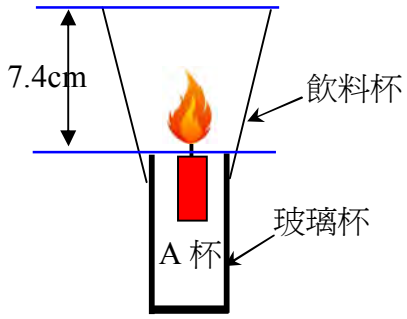


圖 5d 飲料杯與玻璃杯

4.我們很幸運一開始是用**水晶杯(高 9.2cm)**來實驗，套入 A 杯後會降高度約 1~1.5cm，結論跟這研究情形一致。

4.共振杯－水晶杯、飲料杯，在這裡所扮演的角色就跟吉他的音箱或喇叭的尾端(喇叭尾)效果一樣，具有加大音量的效果－幫助 A 杯中的燭火加速劇烈的搖晃，使燭火熄滅。將在柒、討論中說明。

實驗六、改變共振杯寬度實驗

接著改變共振杯的瓶口寬，這難度高！

因爲瓶身要保持一樣高，那剪去底部會造成洞太大，套不起玻璃杯。

解決方法是不剪去底部，直接在 3 種飲料杯挖洞，直接套到玻璃杯中；讓所有飲料杯都維持露出 9cm 高度，

關鍵在於在玻璃杯和飲料杯中間加塑膠墊片，讓飲料杯下方空間不會影響實驗變因。

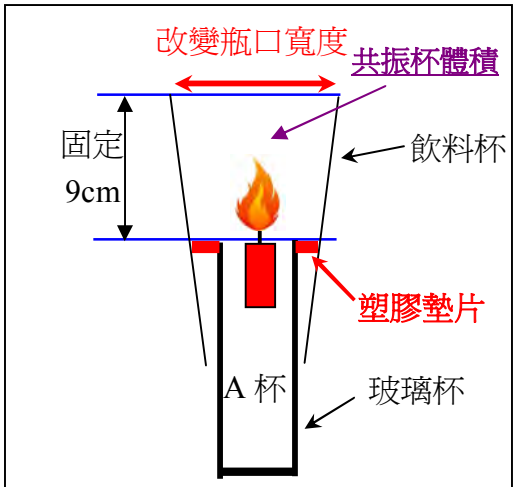


圖 6a 改變瓶口寬度示意圖

實驗條件

1.風速爲第一段；AB 杯的距離 L 是 30cm；燭火 H 是 1cm；θ=16 度；A、B 杯均爲平口杯口徑 4.8cm、高 22cm。

2.以三種不同口徑的飲料杯(表 6.1)輪流當共振杯，測量對燭火的影響。

圖 6b 由左至右：大中小飲料杯，其中大、中兩杯有塑膠內墊

表 6.1：三種飲料杯尺寸與實驗結果

飲料杯種類	瓶口寬(cm)	總體積(ml)	共振杯體積(ml)*	熄滅時間(s)
大杯	10.4	1050	750	2.86
中杯	8.3	800	430	4.89
小杯	7.5	400	370	6.07

註：這裡，共振杯體積是指<u>塑膠墊片上方的體積</u>。

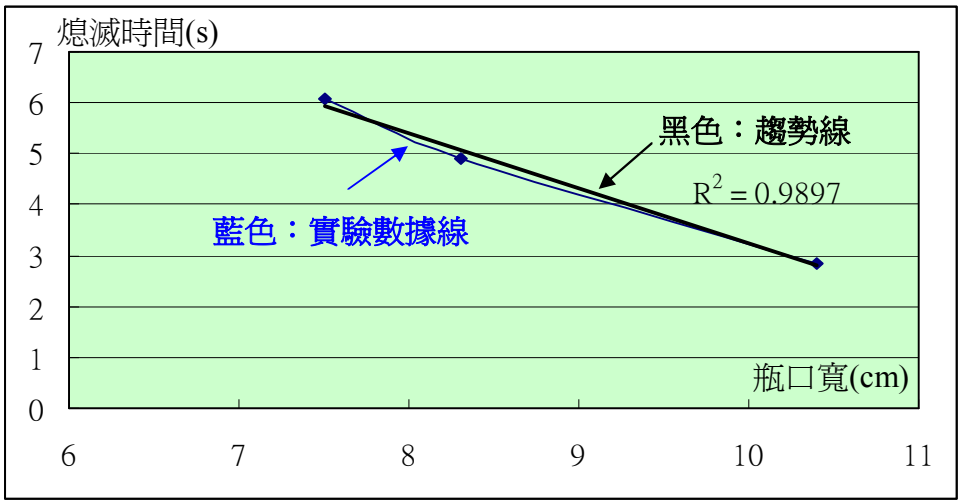


圖 6c 三種尺寸瓶口寬 vs 熄滅時間

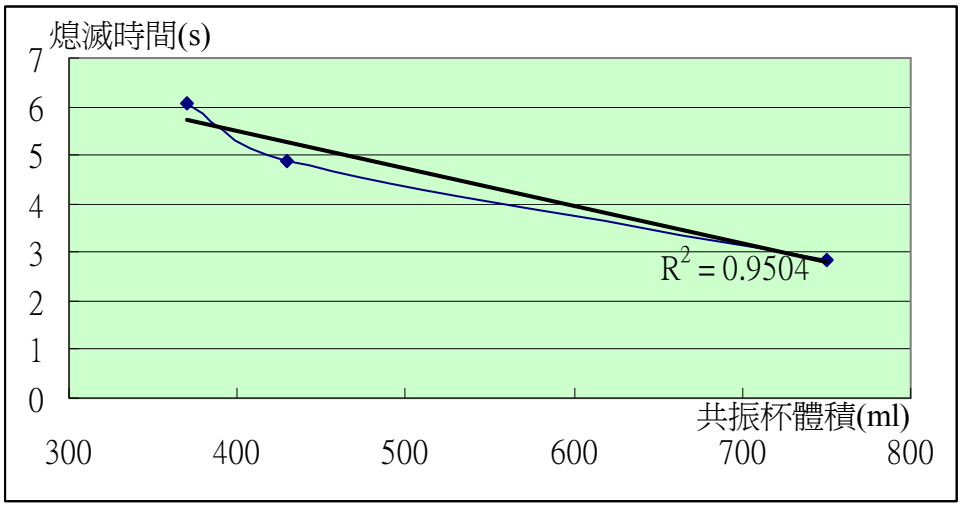


圖 6d 三種尺寸的共振杯體積 vs 熄滅時間

結論：

1.三組口徑不同的共振杯都在 10 秒內熄滅。

2.在圖 6c、d 中，因為 R^2 的數值越接近 1，表示越和黑色的趨勢線吻合，越成線性關係。

從 R^2=0.9897>0.9504，可以看出熄滅時間和口徑有比共共振杯體積更接近直線的正比關係。

3.因為不容易找到更大口徑的杯子，但大口徑的杯子造成共振效果佳。

實驗七、A 杯長度 h 改變對燭火的影響

這是以固定長度的 B 杯嘗試去吹滅有高度變化的 A 杯的燭火，觀察有沒有影響！

直接改變玻璃杯的長度，是不可能的任務！我們根本找不到那麼多尺寸的玻璃杯，倒不如用水來改變 A 的高度－以液面與玻璃瓶瓶口的差 h(cm)來觀察。

實驗條件：

1.風速為第一段；AB 杯的距離 L 為 30cm；燭火 H 是 1cm；θ=15 度。A、B 杯均為平口玻璃杯口徑 4.8cm、高 22cm；共振杯為水晶杯。

2.水位每上升 1cm 就測量熄滅時間；後來在玻璃杯 $\frac{1}{8}$ 處有特別測量。

圖 7a　A 杯以水－液面墊高底部，改變 h 長度進行聲音滅火實驗

表 7.1：A 杯 h 距離改變的影響

h(cm)	0	1	2	3	4	5	5.5	6	7	8
時間(s)	6.00	8.33	13.33	4.00	5.20	6.25	3.00	15.38	20↑	10.38
h(cm)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
時間(s)	9.44	6.63	3.67	10.14	9.83	11.78	20↑	20↑	20↑	

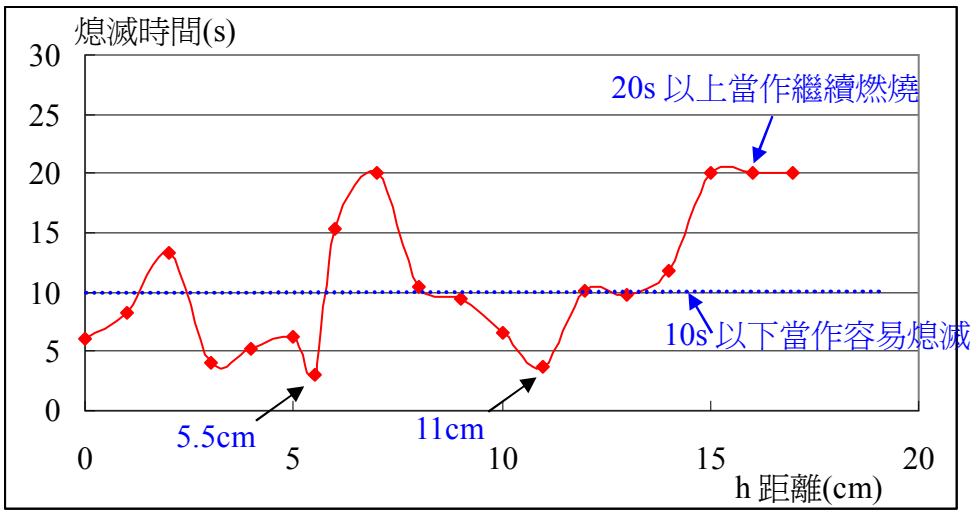


圖 7b　A 杯 h 距離改變的影響

結論：

1.從表 7.1 中似乎看到某些位置的火燄似乎特別容易熄滅－在 5.5、11cm 處，它正好是玻璃瓶內部長度(22cm)的 $\frac{1}{4}$、$\frac{1}{2}$，還有一點是 $\frac{5.5}{2}=2.75\text{cm}\ (\frac{1}{8})$，在**大約 3cm 處也出現最小值 4.00s**。

整理如下：

表 7.2：A 杯中能夠熄滅燭火是處於特定比例位置上

A 杯中長度的比例	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
A 杯位置(cm)	2.75	5.5	11	16.5
h 長度(cm)	3	5.5	11	17
熄滅時間(s)	4.00	3.00	3.67	20↑
兩者是否吻合	O	O	O	X

2.另外觀察到一個特別的點：在 h=7cm 處火燄不容易熄滅；但是在它的兩倍 14cm 距離處，燭火熄滅的情形如下表：

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9
熄滅時間(s)	10	2	5	2	7	20	20↑	20↑	20↑

<u>我們認爲會有一些過渡的中間地帶，有著燃燒和熄滅的情形交互出現！</u>

實驗八、B 杯長度 D 改變對燭火的影響

這次實驗以吹氣<u>不固定長度的 B 杯</u>，去滅<u>固定長度 A 杯</u>的燭火。

B 杯長度改變，不能再用水來控制，這是因爲 B 杯傾斜一個角度，有水反而麻煩。

圖 8a 珍珠板+積木

<u>解決方法</u>是圖 8a 用珍珠板，剪裁出恰好可以放進 B 玻璃杯的尺寸，用積木來調整長度。

積木是固定邊長 1 cm，珍珠板厚 0.5cm。也就是說，B 杯長度 D(見圖 8b)最少長度是 1.5cm，實驗時每次增加 1 cm 的積木，來測量燭火熄滅時間。

實驗條件：

風速爲第一段；AB 杯的距離 L 爲 30cm；燭火 H 是 1cm；θ=16 度；A、B 杯均爲平口玻璃杯口徑 4.8cm、高 22cm；共振杯爲水晶杯。

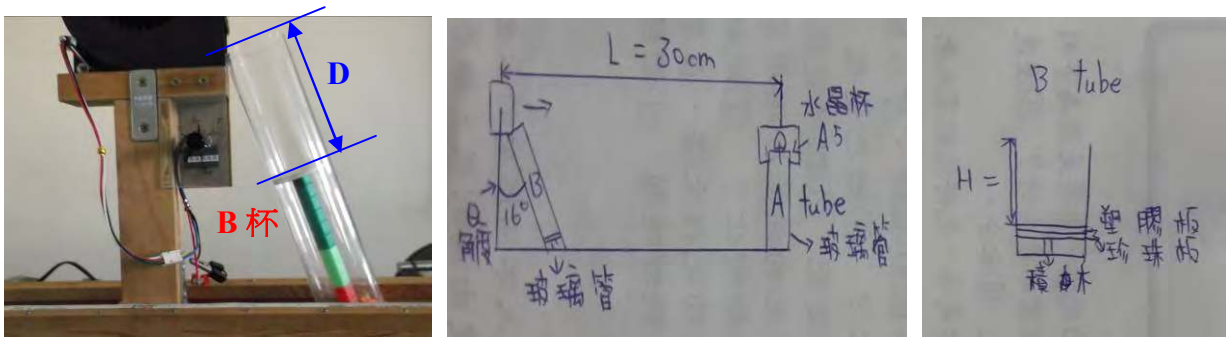


圖 8b　B 杯上的 D 長度實驗說明

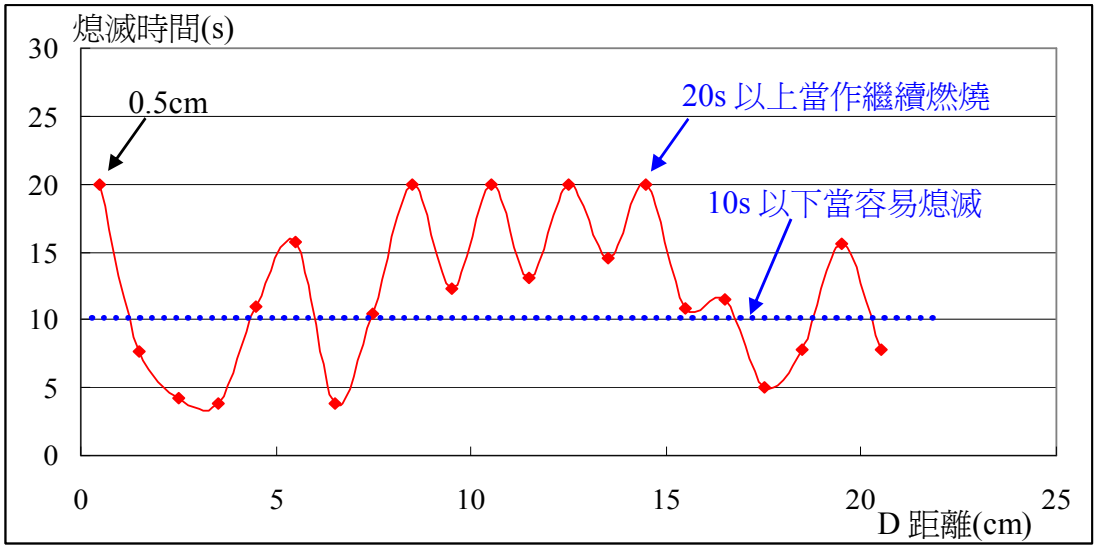


圖 8c　B 杯 D 距離改變的影響

表 8.1：B 杯中 D 距離改變的影響

D(cm)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5
時間(s)	20↑	7.71	4.17	3.80	11.00	15.67	3.78	10.5	20↑	12.30	20↑
D(cm)	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	
時間(s)	13.13	20↑	14.60	20↑	10.80	11.45	5.00	7.83	15.57	7.75	

結論：

1.關於 D 的影響如圖 8c、表 8.1，跟**實驗七**的圖形完全不同；和我們原先的預期不同。

2. D 長只有 0.5cm 時是無法吹滅燭火。

3.跟**實驗七**一樣似乎在某些位置的火燄特別容易熄滅(表 8.2)。

在表 8.2 中能夠熄滅的特定比例位置，幾乎都有偏離一小部分，而且幾乎都偏離 **1cm**。和上一節**實驗七**的表 7.2 在特定位置能幾乎吻合情形不同。

表 8.2：B 杯中特定比例距離

B 杯長度的比例	$\frac{1}{8}$		$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	
B 的位置(cm)	2.75		5.5		11	16.5	
D 前後長度(cm)	2.5	3.5	5.5	6.5	11.5	16.5	17.5
熄滅時間(s)	4.17	3.80	15.67	3.78	13.13	11.45	5.00
兩者是否吻合	X	O	X	O	X	X	O

註：D 的長度每次只能 1cm 變化。

實驗九、探討不同粗細的 AB 杯對燭火的影響

我們找到幾乎同一長度但不同粗細口徑的玻璃瓶 3 種：

玻璃瓶	粗	中	細
寬度(cm)	7.90	6.60	5.75
高度(cm)	27.2	29.9	28.2

實驗時，會墊高內部使大家等高！

分成 6 組進行不同口徑 AB 杯的聲音滅火實驗：

組別	1	2	3	4	5	6
A 杯	粗	粗	中	中	細	細
B 杯	細	中	粗	細	粗	中

註：以往實驗都是使用兩個同細瓶平口杯。

圖 9a 三種口徑玻璃瓶、燭火必須在 A 玻璃杯正中

圖 9b 特大號飲料杯當 A 杯的共振杯、實驗觀察圖

實驗條件：

1.風速定爲第一段；AB 杯的距離 L 爲 25cm；燭火 H 是 1cm；θ=16 度。

2.重點是找到特大號的飲料杯當 A 杯的共振杯，剪裁到一樣三種玻璃杯都可以放進去，而且都等高 9 公分。

結論：

1.是**以上六組都不會熄滅，時間都超過 20 秒以上**，當燭火晃動厲害時間延長也不會熄滅；

縱使用力調整實驗如角度值θ、固定風扇與 B 杯口，只有偶而一次熄滅，但也超過 20 秒。

2.這結果讓我們頗爲訝異！**不同口徑相同高度的玻璃瓶居然不會影響實驗結果，跟我們的預測相反－我們事前以爲會熄滅。**

那有影響的是瓶身的長度長短。

實驗十、探討雙耳型喇叭滅火實驗

既然隔空滅火是可行的，那**我們在想是不是可以直接靠聲音來滅火－直接從音響發聲來滅火！**

我們有三種音響喇叭，**第一種已經確定不可行**，它的聲音是分散式(圖 10a)！

圖 10a 音響喇叭

第二種我們戲稱是雙耳型的小喇叭，必須在喇叭出口加黏一塊塑膠板，中間挖一個洞讓聲音的振動氣流從中流出；實驗時喇叭口必須正對擺放，讓燭火在中心(圖 10b)。

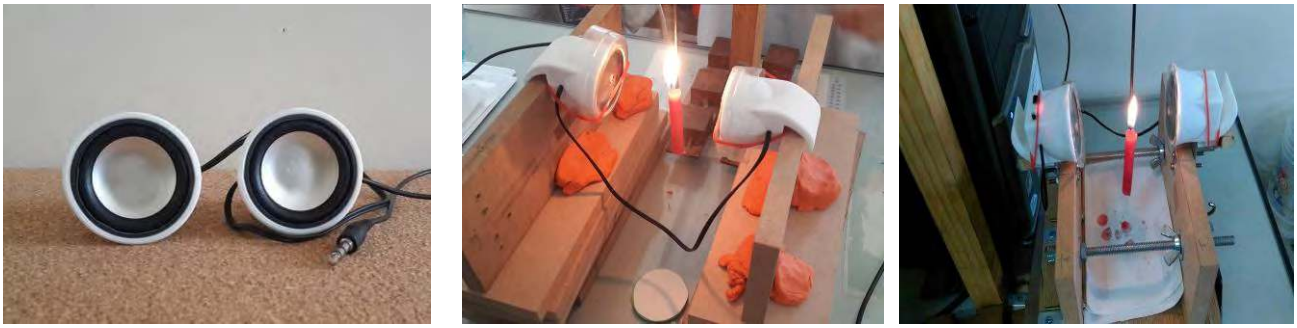


圖 10b 雙耳型小喇叭、雙向對面站立、實驗裝置

喇叭接上電腦，在 Audacity 軟體以**最最辛苦的方式**，**在廣大浩瀚的 20~20KHz 頻率範圍搜索**，嘗試著隨機+有系統＋逐一改變頻率，來找出能滅火的頻率~Mission impossible！

圖 10c 影片

皇天不負苦心人！在漫長無止境的失敗後，找到以 170Hz 正弦波的模式具有滅火的效果！

表 10.1：以 170Hz 改變振幅大小，進行滅火實驗！

振幅	0.4	0.6	0.8
熄滅秒數(s)	0.76	0.62	0.67

表 10.2：以 170Hz 的頻率的**整數倍**，進行滅火實驗(振幅爲 0.8)

頻率(Hz)	170	340	510	680	850	1020
整數倍	1	2	3	4	5	6
熄滅秒數(s)	0.67	0.66	0.96	1.41	4.44	9.96

表 10.3：以 170Hz 頻率的**半整數倍**，進行滅火實驗(振幅爲 0.8)

頻率(Hz)	42.5	85	170	255	425	595	765	935
倍數	0.25	0.5	1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
(分數表示)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{7}{2}$	$\frac{9}{2}$	$\frac{11}{2}$
熄滅秒數(s)	20↑	2.98	0.67	0.66	0.68	0.74	0.86	16.15

表 10.4：以 170Hz 頻率**振幅 0.6** 作倍數改變，進行滅火實驗

頻率(Hz)	170	255	340	425	595
倍數	1	1.5	2	2.5	3.5
熄滅秒數(s)	0.62	0.57	0.5	0.42	0.41

結論：

※各位一定注意到這裡和之前實驗有點不同！沒有 A 杯(共振杯＋玻璃杯)的存在，只有燭火！

我們原本實驗是以音響取代 B 杯，經過我們很久很久不斷得測試，猛然發現，以這種方式滅火，根本不須要有玻璃杯、也不須要有共振杯的存在。

1.**170Hz 的頻率可以滅火，另外 160、180Hz 也行**。<u>其他頻率不行！</u>

2.Audacity 軟體可以調整振幅，從 0.4~1(最大)都能將燭火熄滅(表 10.1)。

3.**170Hz 低整數倍數下都能快速的滅火**；但 6 倍以上的頻率太高，會出現 20 秒以上無法熄滅的情形(表 10.2)。

4. 170Hz 頻率的半整數倍中，$\frac{1}{4}$ 不行，從 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{9}{2}$ 都還能滅火，但 $\frac{11}{2}$ 以上的倍數就不太行！(表 10.3)

以上雙耳型的小喇叭滅火表現，<u>單獨一耳無法將燭火熄滅</u>。

實驗十一、以單邊喇叭滅火實驗

我們在想是不是可以用單邊的喇叭來滅火，第三種音響喇叭上場。

直接以喇叭對準燭火是沒用的，喇叭必須加裝聚音杯(拿水晶杯中間打一個小洞，套在喇叭上)；後來發現，只須拿塑膠片封住喇叭，中間開一小孔就能讓聲音集氣去振動空氣，空氣前進熄滅燭火(圖 11a)。

音響喇叭的擺放位置變得很關鍵，聲音出口必須正對燭火(圖 11c)。

圖 11a 音響喇叭單一邊喇叭滅火

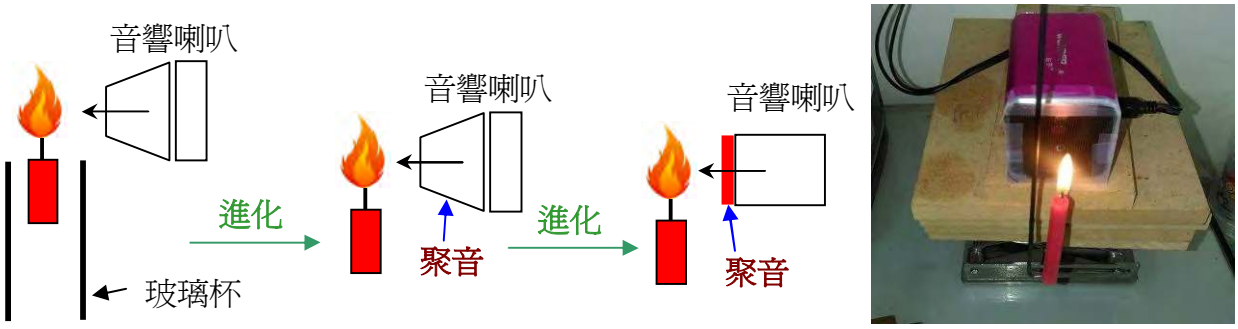


圖 11b 利用單邊喇叭滅火－**不須要**有玻璃杯和長的聚音杯存在

實驗方法：

1.當喇叭與蠟火相距 5cm，每次改變 10Hz 頻率的正弦波對燭火測試。

2.以相同頻率 180Hz 不同振幅(0.2~1)下，改變燭火和喇叭距離進行實驗[該實驗數據多詳見實驗記錄，在此以 Excel 圖呈現]。

表 11.1 不同頻率下的熄滅燭火時間

頻率(Hz)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
熄滅時間(s)	20↑	1.91	1.12	0.96	0.62	0.60	0.62	0.57	0.59	0.43	0.25	0.40
頻率(Hz)	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260
熄滅時間(s)	0.41	0.43	0.41	0.44	0.44	0.47	0.56	0.94	0.75	0.82	3.53	5.47
頻率(Hz)	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360~510		
熄滅時間(s)	2.66	2.69	4.62	2.93	4.28	20↑	**15.28**	5.94	6.59	20↑		

結論：

1.不同頻率下只有低頻非常容易滅火(40~310Hz)，高頻 360Hz 以上燭火持續燃燒。

圖 11c 實驗影片

2.雖然振幅 0.2 的滅火距離短，但說明振動頻率很重要，不是**“大聲”**就一定贏。其他振幅 0.4~1 燭火持續燃燒最小距離大都落在 10~13cm。

我們用的喇叭是**小功率型**(3W)，有理由相信在大功率大尺寸的喇叭，滅火效果、距離會更好。

3.這和**實驗 10** 有一個共同的重點，高頻區都不容易滅火；

相異在**實驗 10 能滅火的頻率少**；這單邊喇叭的頻率比較多而且連續。

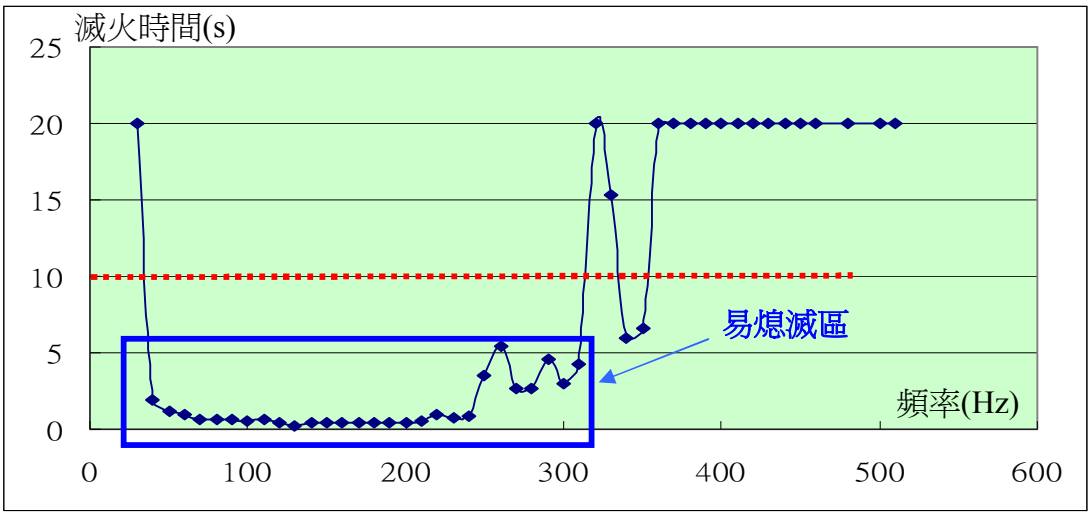


圖 11d 從 30~510Hz 不同頻率(振幅 0.8)滅火情形

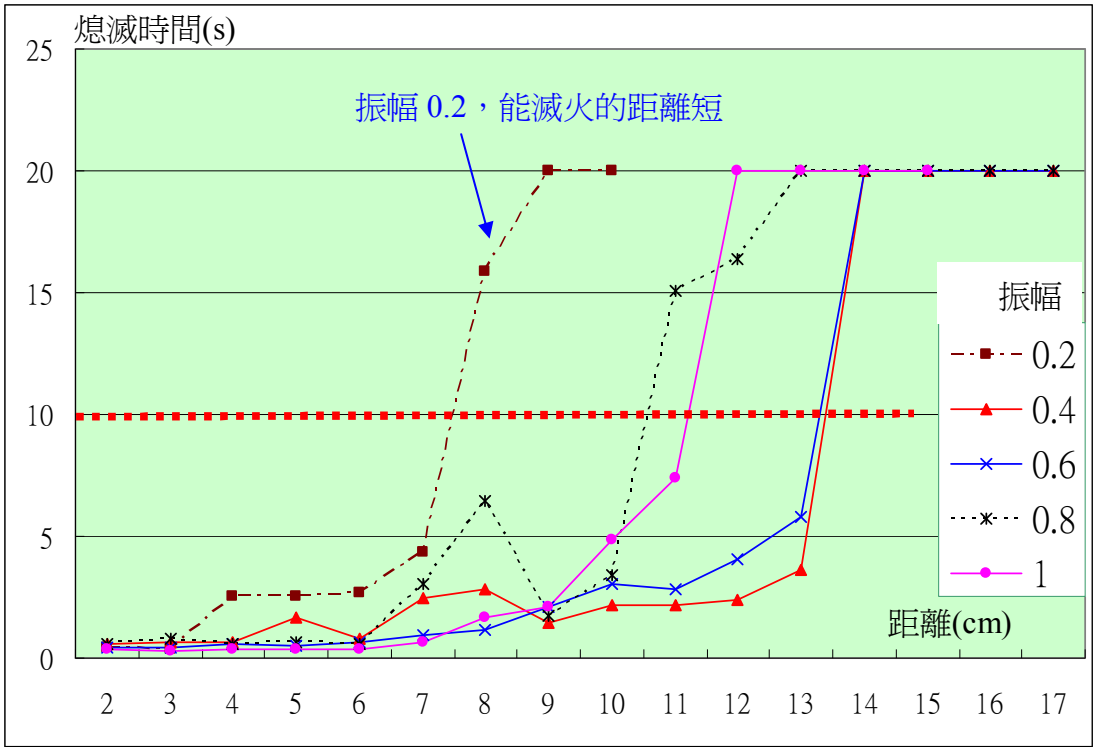
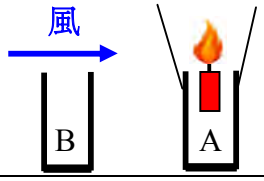
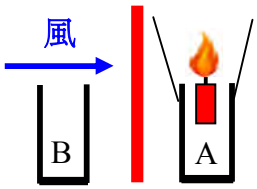
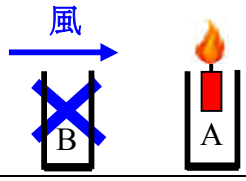
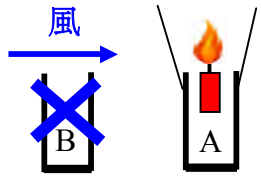
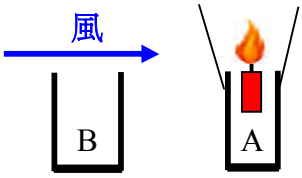


圖 11e 以 180Hz 頻率不同振幅(0.2~1)對不同距離測試熄滅時間

陸、討　論

一、瓶中蠟燭的熄滅因素探討

總結實驗所得：

第一種情形		1.AB 杯距離 L 適當 2.有適當長度的共振杯 3.等長的 AB 杯	熄滅	實驗三 實驗四 實驗五 實驗六	
第二種情形		其它條件如第一種情形但 A、B 中間有板子(紅)－障礙物遮蔽	燃燒	實驗三	
第三種情形		沒有 **B 杯**、共振杯，直接以風吹	熄滅	實驗四	
第四種情形		沒有 **B 杯**，直接以風吹	燃燒	實驗四 實驗五	
第五種情形		**AB 杯粗細不同時**	燃燒	實驗九	

這說明瓶中的蠟燭能被熄滅來自兩個因素：一個是吹氣氣流；風扇一定要對這蠟燭吹，太高的水晶杯、飲料杯是不能熄滅燭火，因爲**風進不去水晶杯中干擾燭火**！

沒有共振杯(飲料杯)的保護，蠟燭是直接被風吹熄。

第二個因素是**共振、共鳴**，沒有 B 管時，單純的風吹氣流是無能爲力；風吹 B 管會和 A 管產生共振共鳴，這也是燭火熄滅的主因。

二、玻璃瓶口氣流的振動方向

究竟瓶中空氣的振動是什麼方向？也就是這**瓶中所產生共振氣流的方向是上下振動、左右振動還是都有？**以下面的方法證明！

將細的 N 次貼粘在鐵條下方，一種粘成直的、一種粘成橫的；直的沒問題，但粘成橫的，會造成誤判，因爲它有兩種粘法，紙面垂直或平行桌面，只有平行桌面才是對的(圖 6.1~2)！

它可以讓我們輕鬆看到究竟是哪一個方向振動。

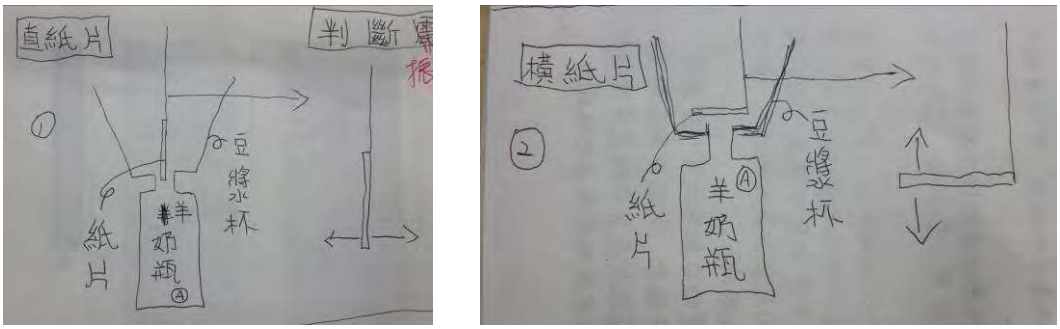


圖 6.1 左圖爲直紙片、右圖爲橫紙片

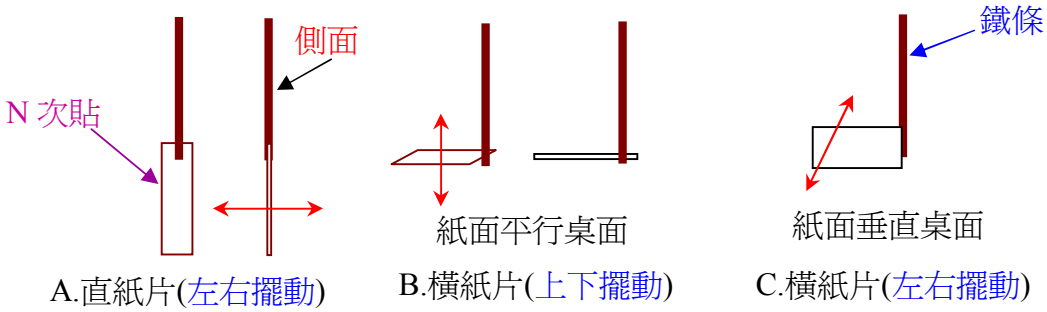
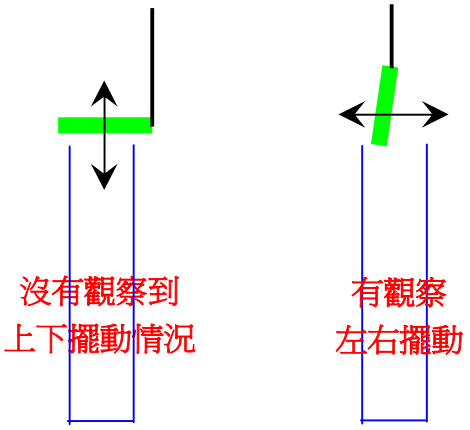


圖 6.2 N 次貼的粘法；其中 A、C 觀察前後或左右振動，B 觀察上下振動

實驗前，以爲燭火主要是受到上下振動影響，因爲氣流不斷的進進出出玻璃瓶擾動燭火造成熄滅；但**答案不是用想像的就一定對！**

結果是左右振動－跟瓶口平行的氣流左右擺動有關，上下振動不明顯(圖 6.3)。圖 6.4 在瓶口處有比較激烈的振動。



左右擺動

上下擺動

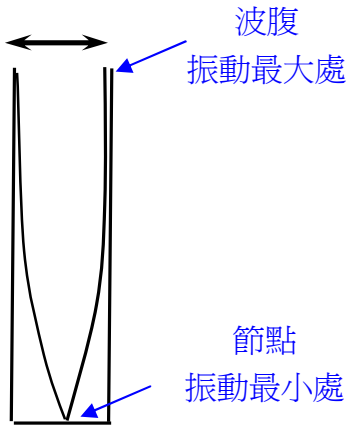


圖 6.3 瓶中氣流共振方向

圖 6.4 閉口端空氣振動情形

三、不同管長也能熄滅燭火

1.以固定長度的原玻璃管去吹滅不同管長燭火的實驗，那裝燭火的 A 瓶子必須滿足原玻璃瓶長度的 **1(等長)**、$\frac{1}{2}$、$\frac{1}{4}$、$\frac{1}{8}$ 就能夠熄滅；$\frac{1}{8}$ 長度太小恐怕會有誤差。

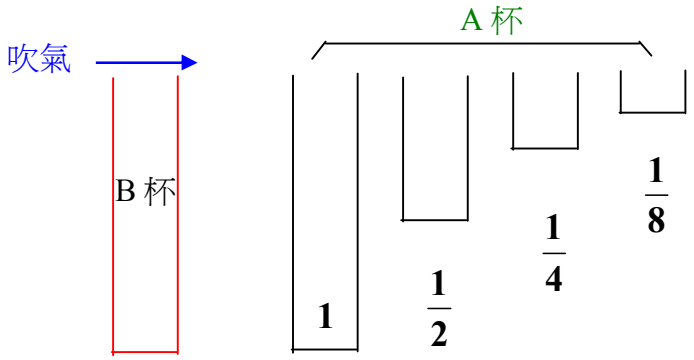


圖 6.5 由 B 吹氣，A 熄滅燭火的管長條件

這些特殊長度，由 $\mathbf{f} = \frac{\mathbf{Nv}}{\mathbf{4L}}$ 頻率公式，在 N=1 時：

管長 L 的倍數	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
頻率 f	$\frac{v}{4L}$	$\frac{v}{2L}$	$\frac{v}{L}$	$\frac{2v}{L}$
頻率 f 關係	$(\frac{v}{4L})$	$2(\frac{v}{4L})$	$4(\frac{v}{4L})$	$8(\frac{v}{4L})$

原來這些頻率也有倍數關係。

2.如果拿短的玻璃管去吹氣，固定長度的長玻璃管；那的短的玻璃管管長最好滿足下圖示，而且都有 1cm 的誤差(實驗八)。

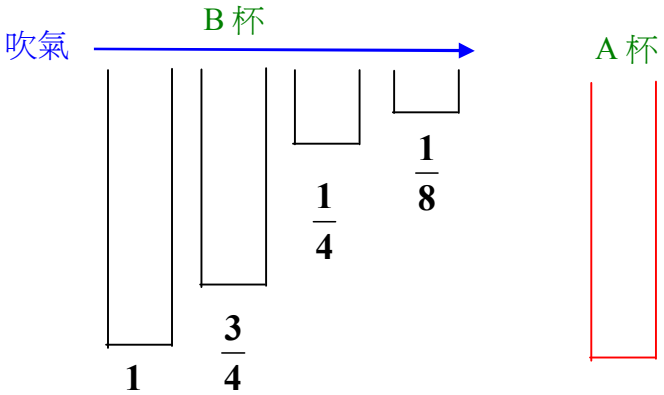


圖 6.6 由 B 吹氣，A 熄滅燭火，B 長度比 A 短時的條件

管長 L 的倍數	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
頻率 f	$\frac{v}{4L}$	$\frac{v}{3L}$	$\frac{v}{L}$	$\frac{2v}{L}$
頻率 f 關係	$(\frac{v}{4L})$	$\frac{4}{3}(\frac{v}{4L})$	$4(\frac{v}{4L})$	$8(\frac{v}{4L})$

四、不同口徑大小的玻璃瓶不能熄滅燭火原因(實驗九)

原本以為只要長度相同的玻璃管就能滅火，實驗結果不行。原本閉管頻率 $f=\frac{Nv}{4L}$ 要用修正後的 $f=\frac{Nv}{4(L+0.4d)}$ [10]公式才行，下表中看到頻率**會受到瓶口粗細 d** 的影響。

L 長 27.2cm，v 是 350.2m/s 經過計算得到頻率如下：

玻璃瓶種類	粗	中	細
口徑 d(cm)	7.90	6.60	5.75
頻率(Hz)	288.37	293.40	296.78

五、音響喇叭在 170Hz 頻率滅火！

今年(2015)三月底時圖 6.7~8 的新聞很夯，跟我們實驗很像。

兩個美國大學生對聲波滅火的研究，跟所有滅火原理一樣，將氧氣與可燃物質隔開，跟二氧化碳、泡沫滅火劑應用同樣的道理。

圖 6.7 聲波滅火[7]

『空氣中的氧氣會隨著聲波一起移動，聲波振動時在波峰時空氣密度高，在波谷時空氣密度低，只要頻率與振幅正確，**聲波能產生夠久的短暫沒有氧氣的區域**，火源得不到氧氣供應，就會熄滅[7](圖 6.8~9)。

圖 6.8 聲音滅火影片

他們發現用音樂滅火，是完全沒用，這是因為音樂的頻率複雜多變化；改用單一頻率聲波發現，2 ~ 3 萬 Hz 的高頻率聲波，只會讓火焰顫動，沒有滅火效果，原因是**頻率越高、無氧區間隔太短，只會讓火焰發發抖[7]**。

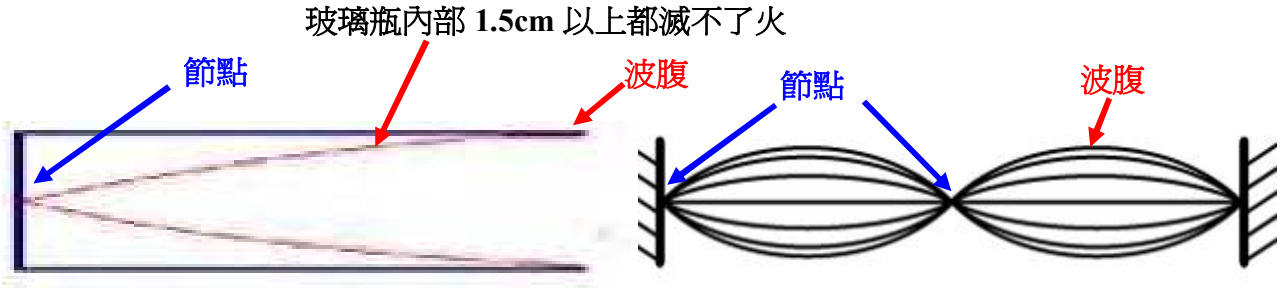
當頻率低到 30 到 60 Hz 時，無氧區間就長到可以讓火熄滅[7]。』

以上他們對聲波滅火的解釋！

我們認為過程所產生的氣流衝擊也是關鍵因素。

我們的聲音滅火跟他們所用的頻率不同，是 170Hz 及它相關的倍數頻率，不過也是可行的。

實驗中不管是最初的吹氣滅火或是後來的利用喇叭滅火**都是利用聲音在波腹處－具有最大的空氣振動－來進行滅火；**



玻璃杯倒過來看、一端封閉、一端開口　　兩端都封閉

圖 6.9 駐波節點、波腹說明

這就可以解釋爲什麼有些地方偏偏就滅不了火？因爲它不是在空氣振動最激烈的地方，也許只是僅僅部分激烈而已(圖 6.9)！

六、琴音滅火

圖 6.10 中的情形究竟能不能實現？以平口玻璃瓶(d=43.07mm、L=22cm、t=33℃、v=350.8m/s、N=1)代入 $\mathbf{f=\frac{Nv}{4(L+0.4d)}}$ 得到 f 爲 369.69Hz，以單邊喇叭滅火，失敗繼續燃燒！

但以 369.69Hz 的一半值(184.84Hz)成功！

但這成功是基於**實驗 11** 表 11.1、圖 11c(p.24)的結論，**不須玻璃杯也能滅火！**在有玻璃杯看起來就是「琴音滅火」的魔術。

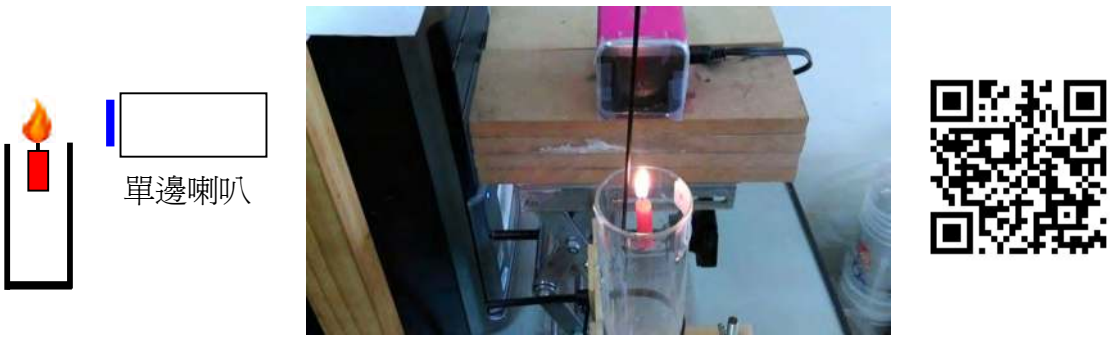


圖 6.10 琴音滅火實驗圖

柒、結　　論

實驗一開始並不是如預期的順利，初開始只是覺得好玩有趣，爲什麼隔著水晶杯的燭火可以被吹滅？

看起來簡單的做起來卻是最難！

還好實驗室的器材，老師允許我們拿現有的零件、設備來組裝設計實驗，盡情的去測試它的可能。

這次研究給我們一個啓發！

有時候我們不能憑空想像一些實驗，就用經驗來判斷它可不可行，這實驗就是最佳的例子！如果一開始都失敗，沒有技巧、方法根本不可能繼續做下去！

認爲跟劉謙一樣是迷人的魔術，不是科學！

這就是科學研究最特別的地方，激發學生與老師的想像能力，了解透過實驗的觀察、分析與歸納，也能找到許多有趣的事物。

對於 170Hz 喇叭能滅火，是個連老師都不看好會成功的例子！

大伙憑著不懈的毅力跨過寒假找尋近兩個多月以上！一旦找到，很快其他頻率都一一浮現~~~

連指導老師都很訝異！讚！

這實驗不單單只是具有趣味、魔術、科普樂趣，有理由相信在更大口徑、更大功率的喇叭應該會發揮更好的滅火效果，哪一天市面上會出現跟 ABC 滅火器一樣實用性高的聲頻滅火器！

捌、參考資料

1.自然與生活科技(五下)－聲音與樂器。康軒。

2.聲音的三要素 —響度、音調、音品，民 104 年 3 月 20 日，取自：
http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=modules/sound/section2

3.聲音的三要素，民 104 年 3 月 20 日，取自：
http://blog.xuite.net/jjpong/material/8478173-聲音三要素

4.數位音樂科技(一)：聲音檔案裡面是什麼？民 104 年 4 月 1 日，取自：
http://pansci.tw/archives/71260

5.火燄之舞－瓦斯火燄駐波，民 104 年 4 月 1 日，取自：
http://ftp.scu.edu.tw/scu/physics/demo.scu.edu.tw/T4/t4.htm

6.奇特的駐波圖形，民 104 年 4 月 1 日，取自：
https://www.youtube.com/watch?v=VwX_a8WutZ8

7.聲音滅火，民 104 年 4 月 1 日，取自：
http://technews.tw/2015/04/04/when-it-comes-to-putting-out-fire-gmu-students-show-its-all-about-that-bass/

8.蕭雅云等。敲出 Do Re Mi－木琴奧秘知多少。中華民國第 42 屆中小學科學展覽會。http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/42/pdf/e/1/040109.pdf

9.米村傳治郎等(2011)。趣味科學館 7(65-72 頁)。北京：科學出版社。

10.劉翠鵑。聲音的共振–共鳴。民 104 年 3 月 11 日，取自：
http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19239

【評語】080823

本作品源自「聲音與樂器」教材之聲波振動現象，經探討鼓式風扇、共振杯之氣流振動現象，試驗滅火之效果，在 20~20KHz 之範圍找出以 170Hz 與它相關倍數頻率能順利滅火，團隊經過多組複雜有趣的實驗，並獲致豐碩的實驗數據成果，並能歸納出重要的結論，為優秀的作品。