

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(一)科

佳作

082816

**OMG!造霧者**

學校名稱：臺南市關廟區五甲國民小學

作者：  小六 陳怡秀  小六 周妍  小六 葉昀諭  小六 劉子睿  小六 郭曜禎	指導老師：  謝文山  陳坤龍
--	-----------------------------

關鍵詞：鐵氧芯、磁致伸縮、共振

# 摘 要

我們研究「磁致伸縮」這有趣的題目！有趣在無法想像水一滴到棒子，馬上就氣化霧化，這怎麼可能？於是，我們透過科展研究，瞭解為什麼發生這現象！

研究結果發現：鐵氧芯的震動頻率非常關鍵，頻率對了！才會出現最佳氣化。鐵氧芯的頻率與長度相關，頻率讓鐵氧芯的 NS 極快速改變，使長度出現微小變化，巨觀的表現就是讓水氣化；鐵氧芯太長太短太粗或太細，都不能產生有效震動來出現氣化，只有棒徑 1cm 的鐵氧芯，才是最適合氣化的條件。鐵氧芯這種有點硬的材料，居然會在實驗時直接被震斷，我們發現震斷的地方，通常出現在共振最激烈的地方。

最終我們引進點滴設計，讓水滴自動滴下、持續氣化，提升研究的實用價值！

## 壹、前 言

### 一、研究動機

在牙科洗牙潔牙的工具，和我們這次科展研究主題有關。傳統上是用超聲波洗牙讓牙結石脫落，新型態的潔牙是透過磁場運動來清除牙結石，減少對牙齒劃痕損傷[12]。

這種透過磁場運動的原理正是我們這次科展討論的主題「磁致伸縮」。



磁致伸縮超音波器械依靠不同形狀、長度和類型的工作端，能進行線形和橢圓型運動，頻率18-42kHz，振幅30微米。它的工作原理是：工作頭的體部內的磁性換能器的長度隨磁場方向的變化伸縮，帶動工作尖運動，將電能轉換為機械能。磁性換能器通常由鎳等強磁性材料薄片組成。編輯：楊二



圖 1：「磁致伸縮」原理的潔牙工具[9、10、11]。本文內所有中括號[9]內數字(由左至右)，標示該圖在參考文獻編號註明出處。多張照片出處相同則僅標示單一數字。

老師拿影片給我們：「這實驗非常神奇，影片中水滴在棒子上會有水霧出現。」這有顛覆我們三觀~

希望科展團隊能找找看裡面的奧秘，問我們有沒有興趣研究研究...

我們幾個同學看了以後，覺得可以拿來好好研究，為什麼會發生這種事！

問題來了！這原始影片本身沒有字幕，內容不是英文也沒翻譯，推測是俄語。我們決定以後，指導老師想辦法找出基本原理、開始借器材給我們實驗。

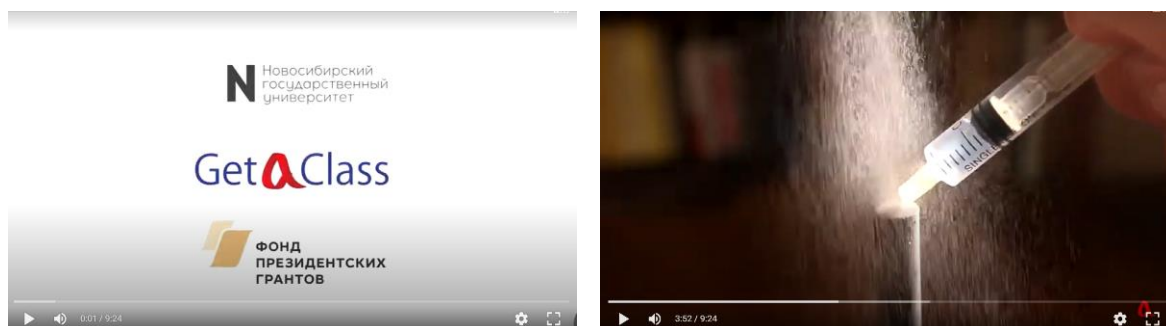


圖 2：影片出自「Get a Class」注射筒滴下的水遇到棒子瞬間氣化[18]

## 二、文獻回顧

實驗原理是應用**磁致伸縮效應**，當鐵氧芯棒(以下簡稱鐵氧芯)受到來自**外界快速變化的磁場**，會使鐵氧芯本身的長度發生小小變化，如下圖 3。

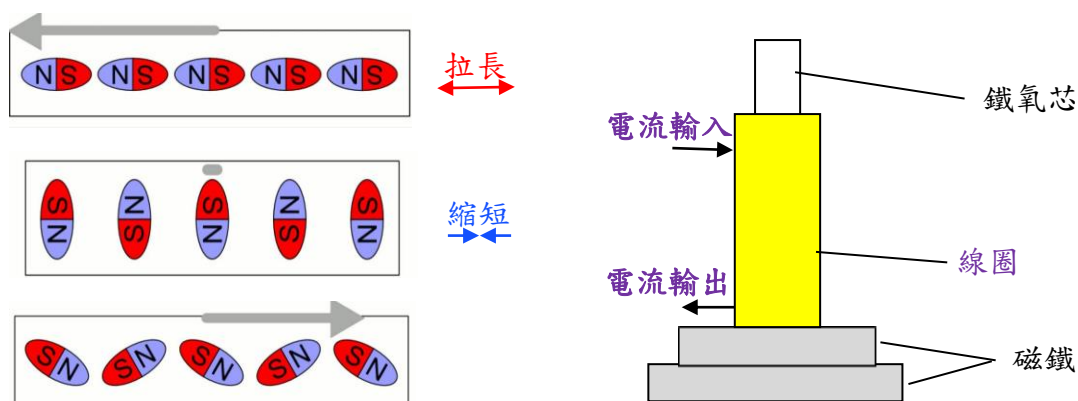


圖 3：圖左維基百科以動畫形式說明磁致伸縮原理，我們截圖說明[改自 6、3]。

而**外界的磁場來自哪？來自線圈提供**。

六上自然提到**電流磁效應、線圈、電磁鐵**。安培右手定則可以判斷出磁場 N 極方向。電池的電是直流電，有固定的正負極讓電流從正極流入。**如果我們讓電流出現正負交替的改變，那磁場的 N 極也會跟著快速在改變**。

圖 3 左圖的灰色**箭頭**表示來自外界磁場(線圈)N 極，這 N 極它會快速改變方向，這對鐵氧芯有什麼影響？鐵氧芯內部每個小小的磁鐵 N 極，都跟隨這線圈的磁場 N 極一起變化，這種 NS 極快速改變方向，讓它的長度發生小小伸縮。

目前，在科教館網站提到「磁致伸縮」相關實驗，只有第 58 屆(民國 107 年)台北市的麗山高中一件「金箍棒變身—鐵棒在外加磁場下磁致伸縮及側向調控」[8，圖 4]。**題目一看就知道跟我們的研究完全不同**。他們使用鐵棒、不鏽鋼棒和我們使用鐵氧芯不同。他們並沒有提到出現手摸棒面滑順、水滴霧化、鐵珠震盪跳躍的現象。

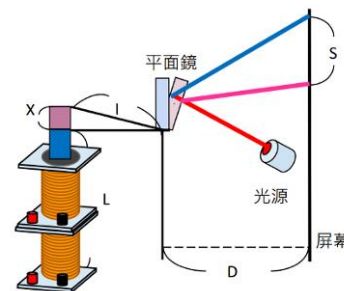


圖 4：麗山高中科展[8]

值得一提的是超聲霧化器，在寒夜開暖氣時幫助提高濕氣，避免空氣乾燥減少呼吸的不舒服。這是電子模組讓壓電片發出超聲波，極快速的振動使水霧化，運用電致伸縮效應[7 或稱壓電效應]。雖然都是超聲霧化，但原理是不同的。

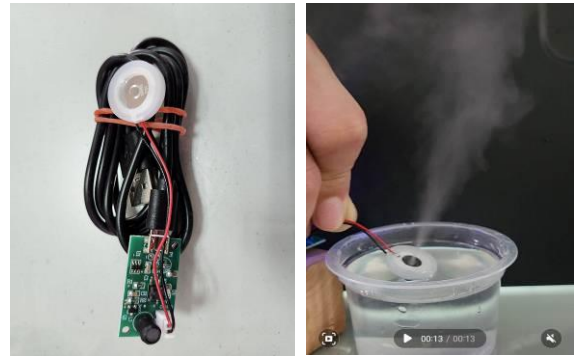


圖 5：壓電片。從壓電片噴出霧氣[1]

南一「自然與生活科技」相關的部分是六上電與磁的世界，提到電生磁的線圈、電磁鐵(安培右手定則)。五下聲音的世界有音高頻率的觀念，人耳能聽到的頻率在 20~20KHz，超過 20KHz 是超音超聲波耳朵聽不到[19、4]。

### 三、研究目的

- (一) 研讀實驗相關原理，設計實驗、研究實驗如何操作。
- (二) 決定應變變因，以哪種觀察比較有利。
- (三) 研究不同長度 L 下鐵氧芯的最佳頻率。
- (四) 研究不同匝數的線圈對氣化頻率的影響。
- (五) 研究不同棒徑下鐵氧芯的最佳頻率。
- (六) 研究棒長太短時，如何才有機會提高氣化的可能。
- (七) 研究頻率 f 與棒長 L 間的關係。
- (八) 研究如何預知頻率值。
- (九) 討論鐵氧芯發生震斷的可能原因。

## 貳、研究設備及器材[此部分照片均出自 1]

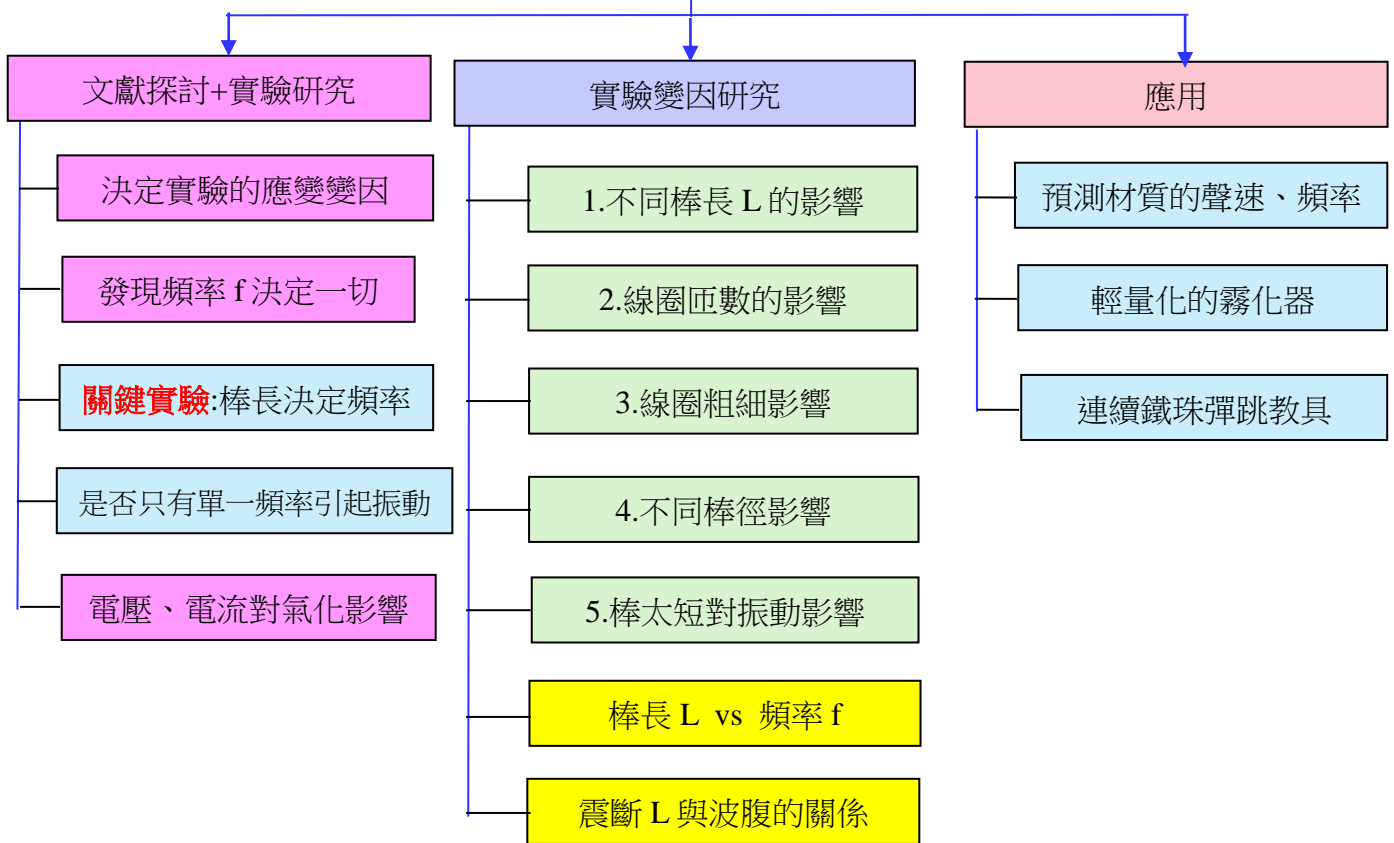
				
漆包線	鐵氧芯棒	電子游標尺	LED	可調式電源供應器
				
訊號產生器	訊號產生器	散熱器	電源供應器	電熱刀



### 叁、研究過程與方法

實驗架構圖示

鐵氧芯磁致伸縮-造霧者研究



# 一、實驗與組裝說明

## 1.1 它居然會發出聲音

實驗必須纏線圈，線圈只要纏一層不需要纏很多圈，通直流電，這裡六上「自然」提到線圈、電磁鐵可以用「安培右手定則」來了解 N 極方向，通電來產生磁場。

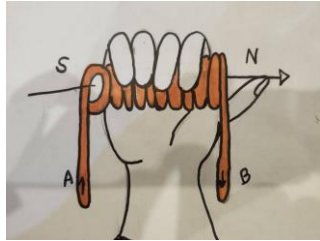


圖 1.1 安培右手定則線圈[3]

- 1.四小指電流方向
- 2.拇指磁場 N 極方向

額外多加了一個訊號產生器的頻率訊號，會讓原本直流的電流出現正負交替變化的電流。

在線圈中放入的鐵氧芯，它跟在電磁鐵的鐵棒不同，它被用在收音機中、也是變壓器的組成材料，**本身不具磁性，會被磁鐵吸引而磁化**。鐵氧芯本身材料是氧化鐵是不導電的陶瓷材料、真的硬它的硬度高、本身有脆性就是不堪一摔[5]。



圖 1.2：電波時鐘裡的鐵氧芯(左)。鐵氧芯**無法**吸住刀片，可以被磁鐵磁化。鐵氧芯 用在人體收音機(右)。[20、1、1、2]

帶有交流訊號的電流通過線圈，一樣會讓線圈產生磁場，這有變化磁場會造成鐵氧芯長度大小的變化，這種長度的變化稱為**磁致伸縮效應 (magnetostrictive effect)**，這種有趣的現象是在 19 世紀中葉被人們發現。

有些物質（一般是金屬氧化物）在磁場作用下，會伸長或縮短，去掉外加電流以後又恢復原來的樣子。這種磁致伸縮只對一般鐵磁性物質有影響，但長度改變很小，大約百萬分之一，通常用 ppm 代表。例如金屬鎳約 40ppm[6]。

這麼微小的長度變化是科學家在實驗室中發現，一般人根本沒能力測量。我們發現這現象會引起的一個觀察就是刀片靠近時會發出聲音，很吵。

## 1.2 纏線圈

線圈只纏一層在 PVC 管上，先以束帶固定一端，在 PVC 管上黏雙面膠才開始纏，每圈儘量靠近、排列整齊美觀並計數，用束帶再固定最後一端，將多餘的 PVC 管鋸除，以砂紙磨平並保留 1cm PVC 長度以作為塞入環型磁鐵內固定用，最後將漆包線線徑、圈數紀錄在 PVC 管上。



圖 1.3：纏線圈、去除絕緣漆、鋸 PVC 管、線圈上面可以明顯看到計數。[1]

## 1.3 電晶體 IRFZ44N 的散熱，這非常要緊

實驗需要一個簡單電路，連接不複雜；這顆 IRFZ44N 電晶體具有快速開關的功能，可以讓大電流通過，必須有效地散熱，不然非常容易燒掉。

拆下報廢電腦主機的散熱器，它本身有熱管、鰭片、風扇和散熱平台可以良好的冷卻高溫，電晶體 IRFZ44N 使用時會出現燙手的高溫。

從報廢電腦拆下的電源供應器直接給散熱器的風扇 3.5V 的電。



圖 1.4：IRFZ44N 電晶體。電源供應器可以提供 3.5V 直流電。拉出電晶體接在散熱器上，我們發現沒開風扇，溫度上升快速真的熱，容易燒掉。一開始用歐洲夾，容易誤觸短路、直接用筷子綁在散熱器，不理想，凌亂容易搞混，電晶體燒掉要替換也很麻煩。[1]

最後我們用透明壓克力壓住，鎖上散熱器螺絲，美觀又方便替換。

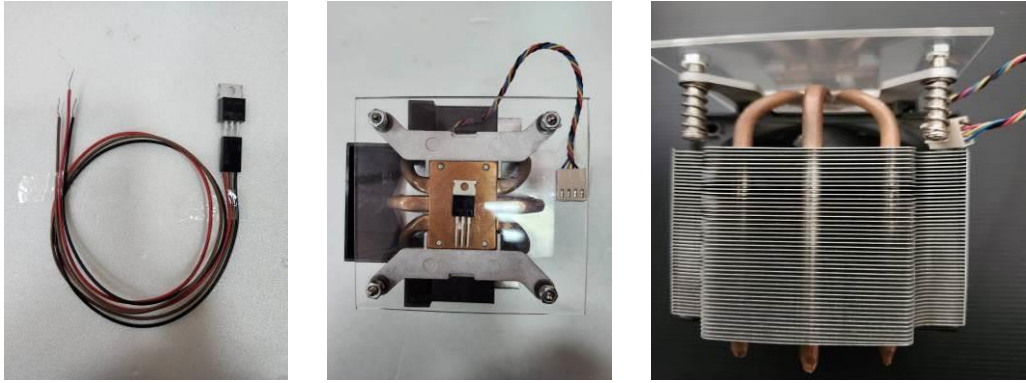


圖 1.5：初期不熟悉操作，至少燒掉 15 顆 IRFZ44N。電晶體是耗品一定要好折好裝。[1]

### 1.4 電路圖示

實驗時有 LED 與線圈並聯，方便觀察有沒有電流過線圈，LED 亮起表示線圈有作動方便觀察；在實驗過程不當操作會讓電晶體燒掉、電流電壓調整不當、電路沒連接好有斷路，都會讓線圈失效，LED 燈亮可以避免盲目亂摸索。

電路圖如下：

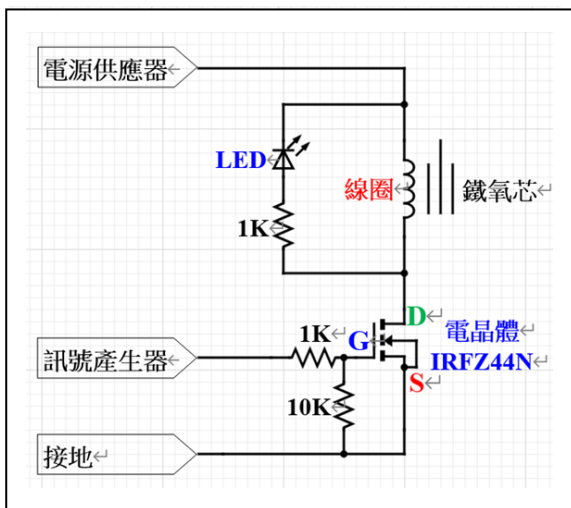


圖 1.6 電路圖[1]

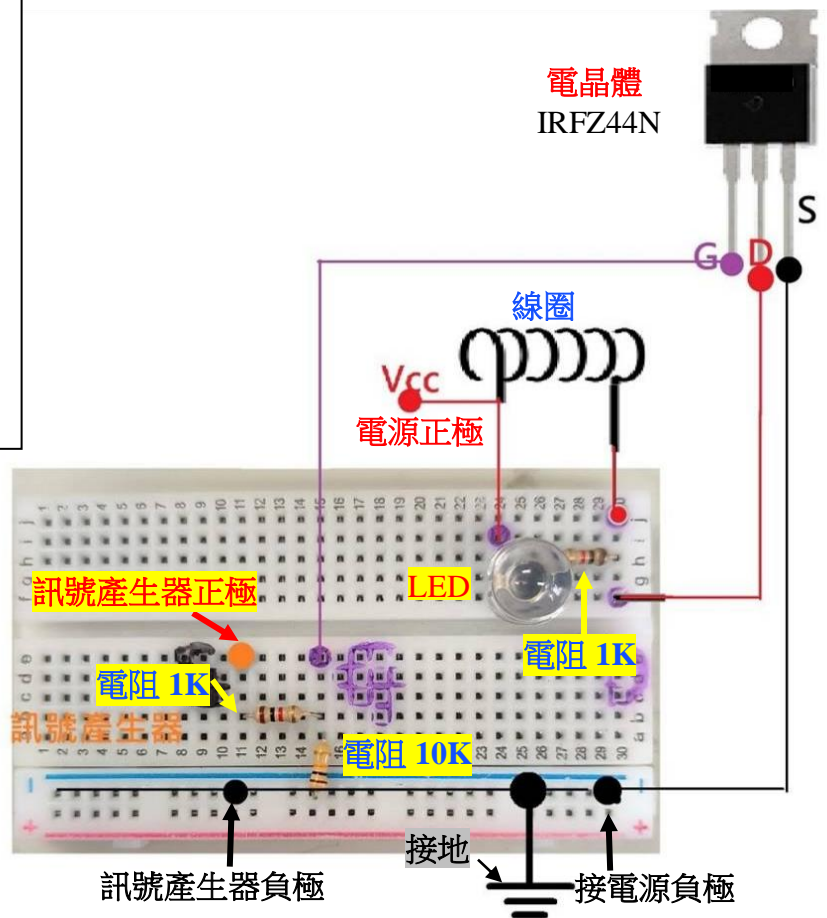
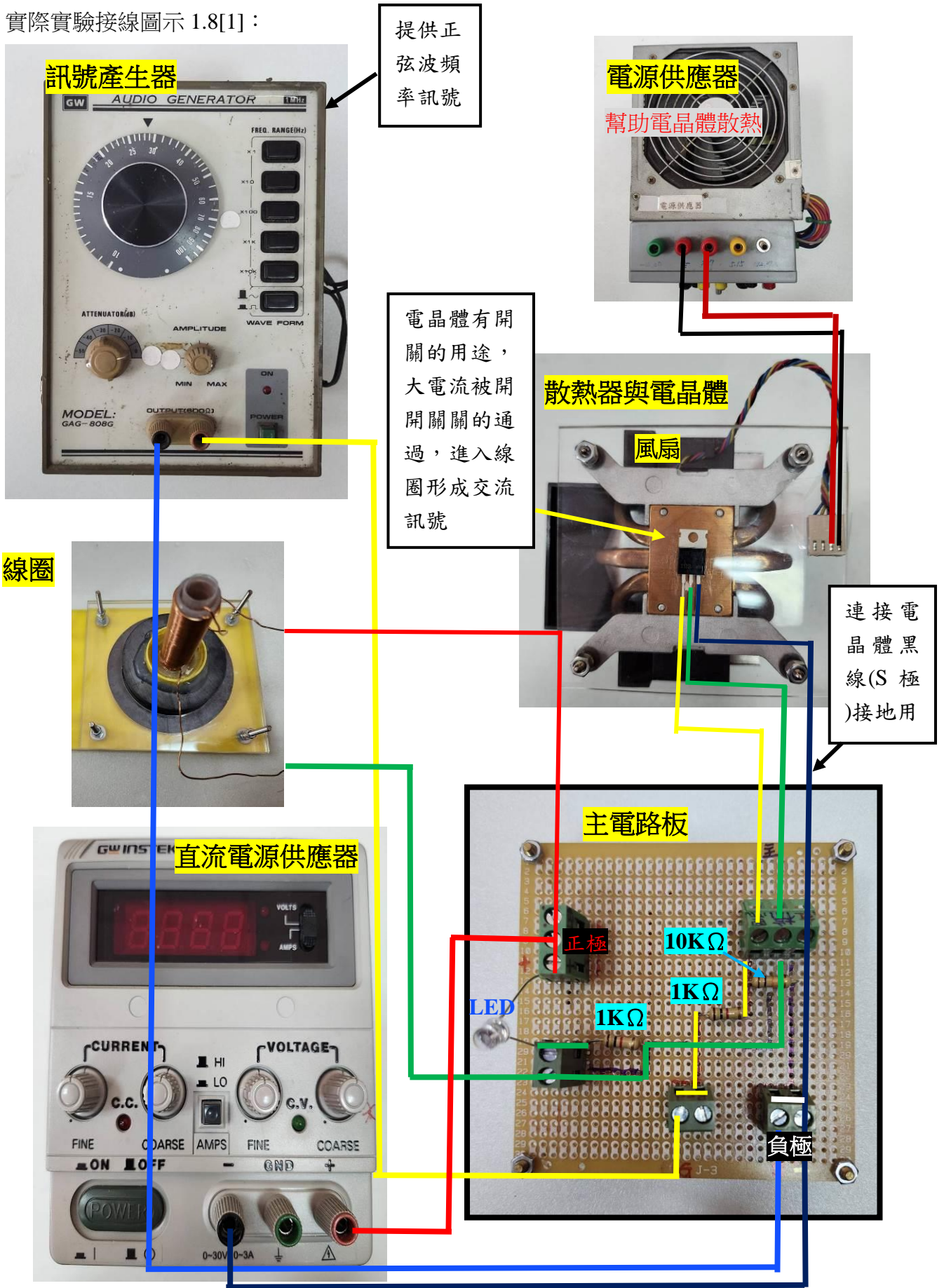


圖 1.7 電路說明[2]



實際實驗接線圖示 1.8[1]：



線路看起來複雜其實還蠻簡單，依照提示，多接個幾次就會，使用時必須有同學幫忙 Double check !

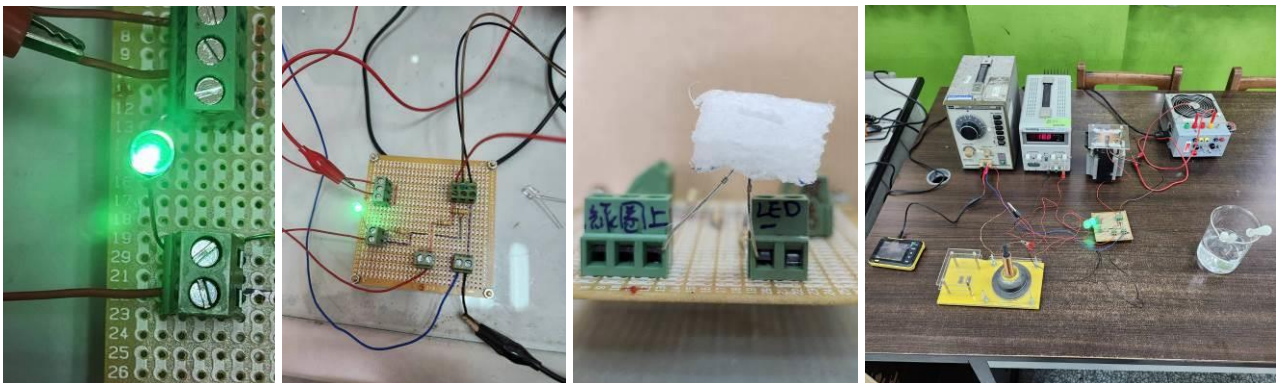


圖 1.9：實驗時 LED 一直保持常亮眼睛會受不了，我們幫它帶上一個泡棉帽子遮光。實驗圖示(最右)[1]。

### 1.5 三個重要的變數：頻率 $f$ 、電壓 $V$ 、電流 $I$

實驗中有三個主要的變數第一個最重要的就是頻率，**頻率跟鐵氧芯的長度有關**，在訊號產生器中有兩個選擇正弦波、方波，我們選擇常用的正弦波訊號，已知 14cm 的鐵氧芯的頻率大都在 20KHz 左右。

訊號產生器給的頻率是沒有數位顯示數值，只有大概輸出範圍，我們找到一台不錯的示波器，操作簡單，只要把它兩個接頭接到訊號產生器兩端，很輕易地讀到輸出頻率，實驗時只要小心調整旋鈕就能讀到精準地頻率值，不會「憑感覺、好像、大概」的盲目亂調整。



圖 1.10：訊號產生器刻度粗，不容易知道所調的頻率究竟是多少，很容易錯過。**頻率範圍選擇  $x1K$  表示在 KHz 範圍**。人耳的聽力範圍一般在 20~20KHz，比 20KHz 大的是超音波。**我們頻率選擇是落在稍微高頻的區域**。波形(wave form)選擇是像波浪的**正弦波**。示波器可以精準讀到訊號產生器的頻率，可以一面看著示波器頻率(Fre:20.365KHz 白框處)進行精細調整。[1]

接著是可以調電壓、電流的電源供應器。在一連串失敗經驗後歸納出，電壓比較可以大幅度調整，電流比較不好調，甚至調整不了亮紅燈。

總結實驗，一定要先調電壓再調電流，電流不可以調太大。



圖 1.11：將示波器紅、黑鱷魚夾接到訊號產生器訊號出口處(圖左)。電源供應器接出正負極，調整電壓(Voltage)、電流(Current)時，先粗調(Coarse)再微調(Fine) (圖中、右)。[1]

## 二、初步實驗歸納

### 2.1 決定觀察哪種應變變因最優—以滴水成霧為主！

最初的實驗中，一直摸不清應該怎麼觀察？觀察的重點在哪？後來我們歸納出幾種情形：

1.出現高頻率聲音。真的很吵，聲音似乎會穿透牆面，隔壁班同學在午休時都說那種聲音聽到後都很难入睡休息，這持續下去會被抗議。好險經過一段時間摸索，我們終於確定鐵氧芯發出的高頻聲時，幾乎不會出現我們想要的結果，不是我們觀察的重點。

2.手摸鐵氧芯棒面。本來粗糙的截面在有良好振動時，摸起來會感覺滑滑地很好摸。

3.刀片發出聲音。刀片接觸鐵氧芯面，因為棒體振動而使刀片發出聲音。

4.水滴液面變化。以滴管或針管滴水在棒面，觀察液面變化。有時會看到水珠出現氣泡、霧面不透明、氣化、甚至一接觸到棒面馬上氣化。

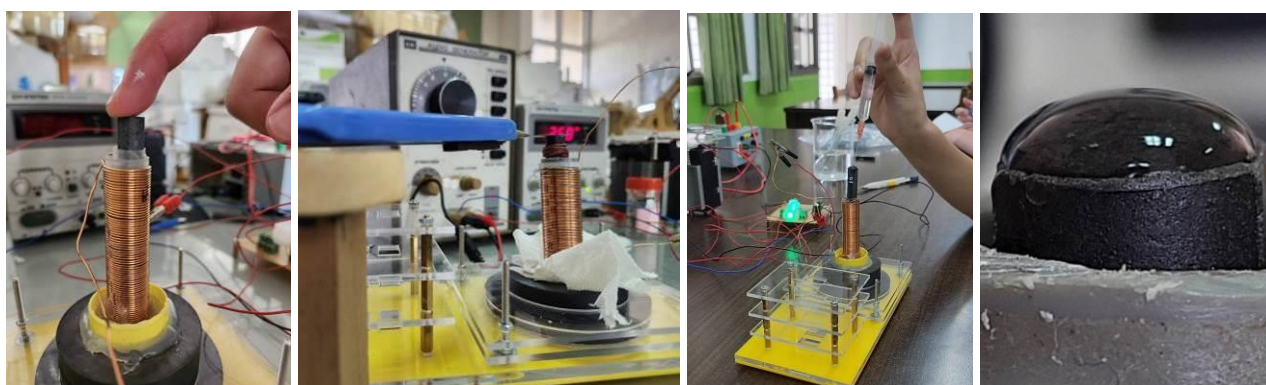


圖 2.1：手摸鐵氧芯棒會感覺滑滑的，不是粗粗的感覺。刀片放上去，沒有通電時刀片會被吸住，通電時頻率「對到」，會發出震動的高頻聲。針筒滴管加水在棒面觀察液面的變化[1]。

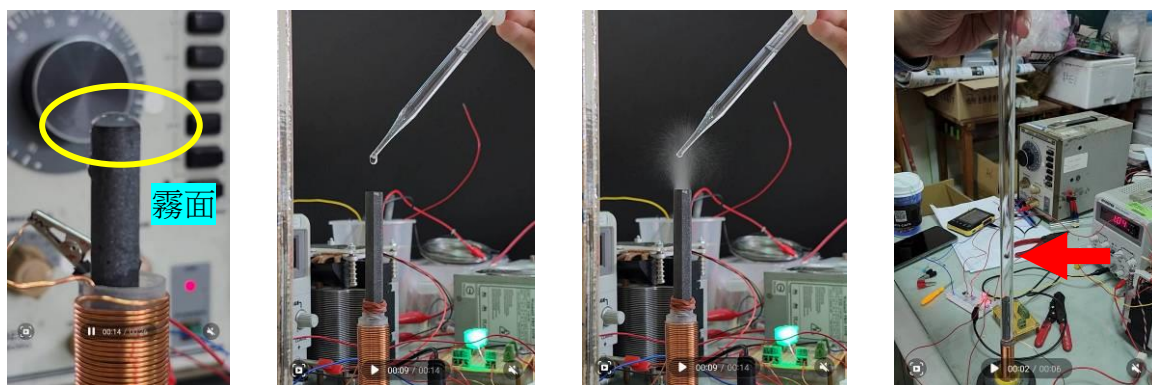


圖 2.2：液面變化會看到有氣泡產生使得液面模糊霧化。滴下水滴到棒上即刻發生氣化。鐵珠(紅色箭頭所指處)在透明管中來回彈跳[1]。

**5.鐵珠彈跳。**鐵珠(其他堅硬不帶磁性的物體也可以)從高處自由落體後，接觸到鐵氧芯面會開始彈跳。這並不是簡單的鐵珠接觸硬物的反彈跳，而是**棒體振動造成鐵珠持續彈跳**。這彈跳高度甚至可達 50~100cm 以上，是超過原落下高度的。

**6.雷射光照射到鐵氧芯面**，反射到牆壁觀察振動的幅度。後來發現棒體振動產生的都是高頻聲音振動快速，不容易看出變化而放棄。

我們發現實驗觀察順序應該是先放刀片、手放在棒面上感受到頻率對了，摸起來就滑滑的、或刀片的振動聲音變大，再改換滴水觀察是否氣化，為此**找出氣化時最佳的頻率條件、電壓、電流**。

## 2.2 調整頻率、電壓、電流到出現最佳氣化的方法

**實驗**以 75 匝的線圈，使用長 14cm(粗 10mm) 鐵氧芯，底部有大、中兩塊環形磁鐵進行測試。實驗時調整頻率、電壓、電流，找出氣化最佳條件(圖 2.3)。

我們有**初始參考頻率就是長 14cm 鐵氧芯頻率大概在 20kHz 左右**。實驗時可以由示波器讀取訊號產生器的訊號頻率值(KHz) (圖 2.3)。



圖 2.3：示波器讀取訊號產生器的訊號頻率(左圖)。線圈底部必須有磁鐵，線圈內有鐵氧芯。**注意鐵氧芯不可以有任何一端一邊用膠粘住，必須是活動的**，可以用棉花或橡皮筋稍微固定棒身別讓它傾斜[1]。

水滴在鐵氧芯出現不透明的霧面時的頻率如表 1。

表 1：訊號產生器的訊號頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
訊號頻率	21.64	21.39	19.96	21.53	21.53	22.79	23.35	19.96	21.52

**實驗**在頻率 21.52KHz 下，努力調整電壓、電流直到讓水滴出現氣化，此時最佳的電壓是 24.2V、電流 1.20A，功率是 29.04W (功率 P=電壓 V x 電流 I)。

**結論 1.**根據實驗優先調整頻率比較重要，再調整比較好調的電壓，最後才是電流。

**結論 2.**表 1，雖然訊號產生器頻率調在 20KHz 處，它的頻率並不是固定在一個值，會有上上下下小變動，因此頻率我們取平均值。訊號產生器的訊號頻率平均值 21.52KHz。

**結論 3.**當頻率正確，電壓、電流太小不會出現氣化，功率越大氣化效果越好。電壓、電流讓線圈的磁場變大，加速磁致伸縮的現象。錯誤的頻率達不到振動要求不會出現霧面(水滴中出現許多氣泡造成霧面)。

**結論 4.**電壓超過 20V 時，氣化效果明顯。可是太高也不好有風險，可能使電源供應器出現紅燈，LED 燒掉。我們發現電壓在 20~22V 上下、電流在 0.8~2.0A 效果不錯。

### 三、不同匝數線圈對鐵氧芯的影響

我們取 65、75、90 匝線圈，在線圈中放入長度 14cm 粗 10mm 鐵氧芯，底部放大、中兩塊環形磁鐵，當出現氣化時紀錄頻率的變化。使用電壓 22.4V、電流 0.82A。

線圈匝數	漆包線粗細(mm)	線圈長(cm)	總長(cm)
65	0.65	4.8	6.5
75	0.65	6.2	8.0
90	0.65	7.0	8.5

註：線圈長、總長的不同請看下圖 3.1 右說明



圖 3.1：90、75、65 匝線圈。使用相同粗細的 PVC 管纏線圈。線圈長、總長的說明。[1]

實驗結果：(頻率單位 KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
65 匝訊號頻率	20.38	19.94	20.38	20.40	20.37	20.43	20.41	20.38	20.34
75 匝訊號頻率	20.41	20.44	20.43	20.37	20.39	20.40	20.44	20.38	20.41
90 匝訊號頻率	20.41	20.36	20.41	20.44	20.42	20.45	20.42	20.42	20.41

**結論：**我們以三種不同匝數的線圈，對同一支鐵氧芯實驗，找出氣化的最佳的頻率，很明顯地看到在線圈匝數 65~95 匝間，頻率變化在 20.34~20.41KHz 幾乎完全沒有影響。另外，我們以較粗的漆包線纏 65 匝線圈在相同條件下實驗，測量的頻率也是在這範圍內。

這說明在一定圈數下，都能讓鐵氧芯出現磁致伸縮效應，這效應應該只和鐵氧芯長度有關。

#### 四、就只會有一種頻率嗎！

我們好奇使用相同長度和棒徑的鐵氧芯，在相同的線圈匝數下，會只有一個最佳氣化頻率嗎？我們想看看會不一樣嗎…

選擇長度 14cm、棒徑 10mm 的鐵氧芯放進 75 匝線圈內，底部放大、中兩塊環形磁鐵，在電壓 22.4V、電流 0.82A 下，調整在不同頻率下出現氣化的頻率值。

**結論：**

1.實驗時，我們反覆來回不斷地改變頻率值，直到出現水滴氣化。從示波器的頻率值，紀錄五組。

實驗結果：各組最佳氣化頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
第一組	20.46	20.43	20.47	20.44	20.48	20.41	20.41	20.40	20.44
第二組	19.86	19.40	20.35	20.41	20.40	20.44	20.46	20.45	20.22
第三組	19.86	19.87	19.90	20.37	20.35	20.38	20.29	20.33	20.17
第四組	20.46	20.38	19.92	19.44	19.44	20.43	20.41	20.41	20.11
第五組	20.43	20.38	20.41	20.40	20.33	20.40	19.92	19.83	20.26

2.現在可以回答我們的問題了。**就只會有一種頻率嗎？看起來似乎如此。**

如果我們的頻率是在低頻區 100~1000Hz，那幾十到幾百的變化，顯得重要。但是，在我們觀察的五組實驗中，20.11~20.44KHz 是在高頻振動區，小數點以下的變化就是幾百個赫茲變化，對高頻振動而言顯得不那麼重要，就是**集中在平均值 20.24KHz 上下小小改變、變化不大。**

3.只要偏離稍多都看不到氣化現象。以第五組最佳滴下水滴會直接氣化到乾。

## 五、鐵氧芯長度跟線圈總長差不多時

這實驗在講什麼？就是鐵氧芯跟線圈總長差不多，不用露出多少，**這樣是不是可以節省鐵氧芯的材料**，不用那麼長！如右圖一般！

我們選擇長度 7cm、粗 10mm 鐵氧芯放進線圈匝數 65、75、85、90 內，底部放大、中兩塊環形磁鐵，找出最佳氣化頻率。



圖 5.1 實驗說明[1]

實驗結果：各組最佳頻率(KHz)

實驗組別	電壓 V	電流 A	功率 W	平均頻率	是否氣化	備註
65 匝線圈	25.0	0.72	18	40.64	無	有聲音
75 匝線圈	22.7	0.52	11.8	40.90	無	刀片振動聲大
85 匝線圈	22.7	0.45	10.2	40.83	無	有振動
90 匝線圈	22.7	0.52	11.8	40.64	無	刀片大聲

結論 1.鐵氧芯長 7cm，預估頻率在 40 KHz。在這頻率上上下下來回精細尋找，可以讓刀片振動到最大聲，再換成水滴，不但調整頻率也調整電壓、電流，尋求氣化最佳條件。**結果無論怎麼認真都找不到可以讓水滴氣化的頻率。**

結論 2.這說明長 7cm 鐵氧芯和線圈的個子差不多高時，是剛剛露出一點，**棒子有振動但無法達到最佳氣化**。所以**當鐵氧芯棒長度不足時是無法出現氣化**。

鐵氧芯長度與線圈長度接近效果都不行，我們有使用鐵氧芯長度小於 7cm 的 5(實際 4.7)、6cm 實驗，刀片有振動聲、手摸滑順、水滴表面有霧化，**但都無法達到氣化**。

**實驗**那麼有沒有什麼方法？讓原本不行的變可行！可不可以「墊高」，就是把鐵氧芯用泡棉墊高！

我們以長度 8(實際 7.7)cm、棒徑 10mm 鐵氧芯放進線圈 75 匝數內，底部放大、中兩塊環形磁鐵，在 PVC 管中**加入 2 層泡棉**增加出頭機會，觀察頻率與氣化效果。

預估頻率 35~36.36KHz。

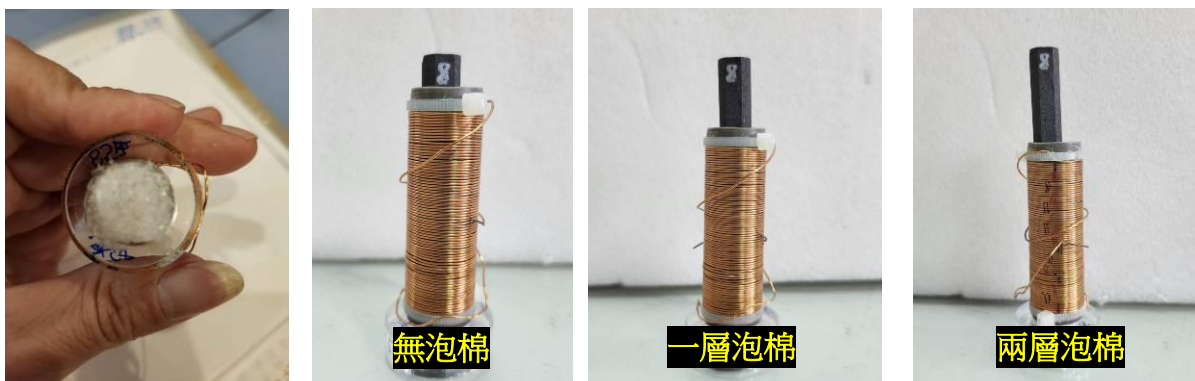


圖 5.2：塞入泡棉墊高，幫助鐵氧芯多露出頭。從左到右分別是沒加入(露出 0.6cm)、一層泡棉(高出 1.7cm)、二層泡棉(高出 2.5cm)。鐵氧芯上面的數字是它的長度值[1]。

實驗結果：加入 2 層泡棉墊高，五組最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
第一組	36.56	36.51	36.36	36.46	36.61	36.42	36.51	36.52	36.50
第二組	36.61	36.41	36.71	36.56	36.61	36.41	36.71	36.56	36.57
第三組	36.51	36.61	36.57	36.56	36.51	36.46	36.57	36.56	36.54
第四組	36.37	36.46	36.61	36.61	36.31	36.72	36.66	36.61	36.54

表：加入 2 層泡棉墊高，各組使用電壓、電流、頻率與結果

實驗組別	電壓 V	電流 A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
第一組	22.2	0.51	36.36	36.50	無	刀片有聲音摸起來滑順
第二組	22.2	0.51	36.36	36.57	有	需轉棒身水滴劇烈霧化
第三組	22.2	0.51	36.36	36.54	有	水面有蒸發摸滑順
第四組	22.2	0.51	36.36	36.54	有	一滴下去馬上氣化到乾

結論：

- 1.本實驗再度說明同長度的鐵氧芯只有一組最佳頻率。
- 2.第三、四組的平均頻率一樣，實際上我們非常認真「粗調」再「微調」，只是平均的結果是一樣的。第四組的情形最優水一滴下去馬上氣化。
- 3.原本實驗的棒長是 7cm，這個小實驗的棒長比它多 0.7cm 並且以泡棉墊高出頭。**實驗說明鐵氧芯棒要適度地出頭，必要的墊高有需要。不過，棒真的太短時墊高也沒有用。**這裡我們墊高泡棉 2 層，僅一層效果「似乎」不優。

## 六、不同長度 L 對鐵氧芯最佳頻率影響

我們選擇 75 匝線圈以不同長度 5(實際長 4.7)、6、7、8(7.7)、10、12(11.8)、14(13.8)、16、20cm 相同粗細(10mm)的鐵氧芯進行實驗；一樣底部放大、中兩塊環形磁鐵，調整到出現氣化的頻率。



圖 6.1：準備不同長度鐵氧芯進行實驗。很明顯看出 12cm 鐵氧芯被震斷的情形。它一被震斷就沒辦法再將水滴氣化。[1]



實驗結果：不同長度下最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
長 5cm	62.40	62.09	62.50	62.22	61.79	61.81	62.07	62.37	62.16
長 6cm	47.06	47.23	47.14	47.6	46.80	46.89	46.98	46.80	47.06
長 7cm	40.51	40.64	40.77	40.90	40.64	40.58	40.51	40.77	40.67
長 8cm	36.37	36.46	36.61	36.61	36.31	36.72	36.66	36.61	36.54
長 10cm	28.44	28.50	28.53	28.47	28.57	28.44	28.47	28.44	28.48
長 12cm	24.02	24.06	24.08	24.02	-	-	-	-	24.05
長 14cm	20.43	20.38	20.41	20.40	19.92	19.83	19.87	20.33	20.20
長 16cm	18.60	18.62	18.17	18.16	18.60	18.17	17.71	17.58	18.20
長 20cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-

註：長 12、20cm 的鐵氧芯出現「-」是因為鐵氧芯一開始就被震斷了。

表：各種長度使用電壓、電流、頻率與結果

實驗組別	電壓 V	電流 A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
長度 5cm	22.3	0.41	56	62.16	無	手摸滑順
長度 6cm	22.4	0.49	46.67	47.06	無	水滴有明顯振動
長度 7cm	22.2	0.47	40	40.67	無	刀片大聲水滴沒變化
長度 8cm	22.2	0.51	36.36	36.54	有	一滴下去馬上氣化到乾
長度 10cm	22.4	0.82	28	28.48	有	氣化明顯一直到乾掉
長度 12cm	22.4	1.02	23.33	24.05	有	連續震斷 2 根
長度 14cm	22.4	1.22	20.29	20.20	有	滴下瞬間氣化
長度 16cm	19.9	0.98	17.5	18.20	無	找不到

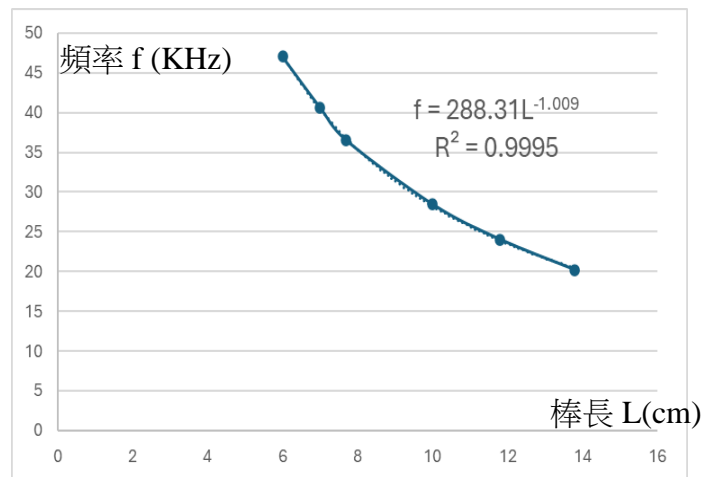
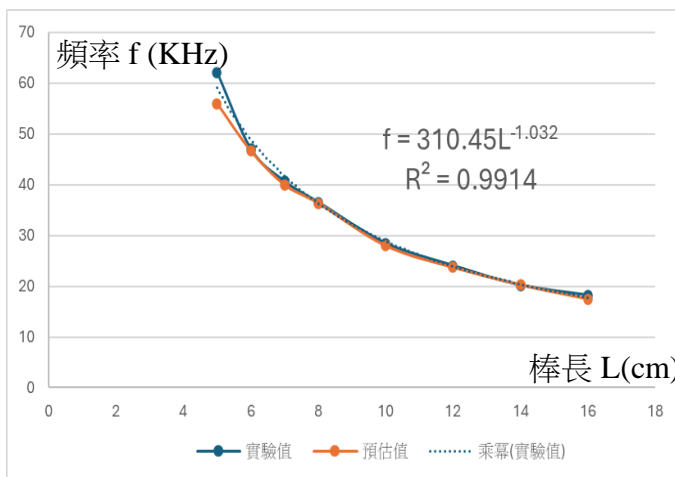


圖 6.2：將棒長 L 跟最佳頻率 f 作圖，加入趨勢線方程式與 R 平方(R 平方用來觀察實驗曲線和趨勢線是否匹配吻合，愈匹配吻合 R 平方越接近 1)。

圖左它們之間的關係  $L \cdot f = 310.45$ ，R 平方 0.9914；圖右是扣除長度短的 5cm 棒長(它偏差大)，得到  $L \cdot f = 288.31$ ，R 平方 0.9995，吻合度更大。

結論：

1.在下頁表格，5cm 鐵氧芯它的實際頻率和預估值有落差。雖然可以感覺滑順卻找不到最佳氣化頻率(此實驗沒有墊高)。

2.鐵氧芯長度在 5~7cm 間，找不到最佳氣化頻率(沒墊高)。

3.鐵氧芯長度在 8~14cm 間，有最佳氣化頻率。

4.長 16cm 鐵氧芯是找不到甚至感覺不到振動。而 20cm 粗 10mm 的鐵氧芯一上去就被震斷了。

這說明一件事實，鐵氧芯棒太長太短都不好或不行。

5.棒長  $L$  跟它的最佳頻率  $f$  作圖，它們互為倒數成反比，乘積是一個常數。我們在伍、討論再進行探討。

## 七、不同棒徑 $\phi$ 對鐵氧芯最佳頻率的影響

我們選擇相同長度 14cm、棒徑粗細  $\phi$  是 7、10、13、15、17、18、20 mm 的鐵氧芯，線圈匝數 85 進行實驗；一樣底部放大、中兩塊環形磁鐵，其中有用刀片來觀察最佳頻率與氣化關係。

為了能放入粗的鐵氧芯，我們重新以粗的 PVC 管重纏 85 匝的線圈。

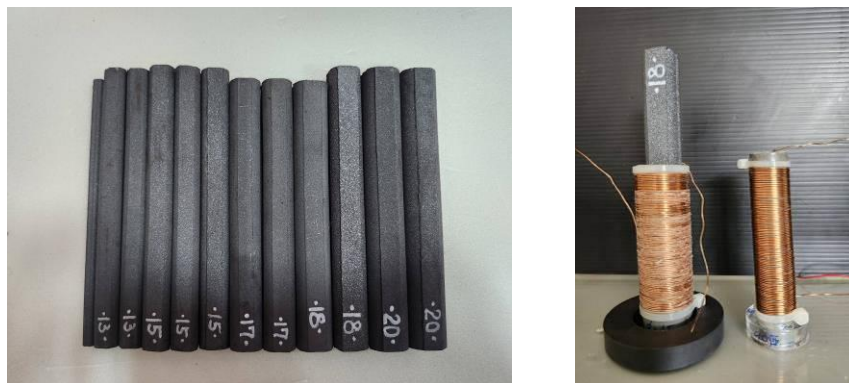


圖 7.1：不同粗細的鐵氧芯。為了可以放入粗的鐵氧芯特別纏一組 85 匝線圈實驗[1]。

實驗結果：各種棒徑  $\phi$  的鐵氧芯最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
$\phi$ 7mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\phi$ 10mm	21.03	17.01	20.96	21.03	20.03	20.98	21.01	20.39	20.31
$\phi$ 13mm	20.06	20.08	20.10	20.13	20.05	20.06	20.05	19.61	20.02
$\phi$ 15mm	20.55	20.58	20.62	20.57	20.58	20.63	20.62	20.58	20.59
$\phi$ 17mm	20.62	20.58	20.71	20.60	20.60	20.60	20.63	20.70	20.63
$\phi$ 18mm	20.62	20.13	20.34	20.13	20.14	20.13	20.16	20.17	20.23
$\phi$ 20mm	20.20	20.13	20.14	20.17	20.14	20.16	20.13	20.16	20.15

表：各種棒徑  $\phi$  鐵氧芯使用電壓、電流、頻率與結果

實驗組別	電壓 V	電流 A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
$\phi$ 7mm	27.3	1.39	21	-	無	馬上震斷
$\phi$ 10mm	26.4	0.89	20	20.31	有	刀片有聲音+氣化
$\phi$ 13mm	21.8	0.39	20	20.02	無	太粗無法振動
$\phi$ 15mm	20.1	0.26	20	20.59	無	刀片有聲音
$\phi$ 17mm	22.1	0.29	21	20.63	無	會有聲音，水不會動
$\phi$ 18mm	27.1	0.22	20	20.23	無	有聲音沒氣化
$\phi$ 20mm	29.7	0.35	20	20.15	無	電壓電流變大聲音變大

### 結論：

- 1.一開始就訂幾種相同長度不同粗細的鐵氧芯，結果拿到的鐵氧芯長度還是有些不同。所以實驗時仍然需要認真的微調頻率。這也就是為什麼「預估頻率」會不一樣的原因。
- 2.鐵氧芯的粗細對氣化、振動是有影響的。
- 3.最細的鐵氧芯是  $\phi$  7mm 非常誇張，在預估頻率值按下電源，正要開始調整，就已經震斷了。我們認為它最佳氣化頻率就是在長度 14cm 的常用頻率。
- 4.除了  $\phi$  10mm 以外，其他比較粗的鐵氧芯都沒有出現氣化，刀片測試有聲音說明仍然有振動，推論是棒子太重，磁致伸縮的共振力量不夠引起振動，水滴根本振不起來。
- 5.難怪，網路上最好買到的棒徑  $\phi$  是 10mm。

## 八、底部磁鐵的影響

每個實驗都需要在線圈底部加環形磁鐵。今天我們就來研究一下它們的影響。

選擇長度 16cm、 $\phi$  10mm 的鐵氧芯，線圈 65 匝進行實驗；底部放中型環形磁鐵並逐一增加塊數。磁鐵外徑長 6cm、內徑孔洞 3cm，觀察最佳頻率與氣化關係。這裡電壓 20.0V、電流 1.03A、預估頻率 29KHz。

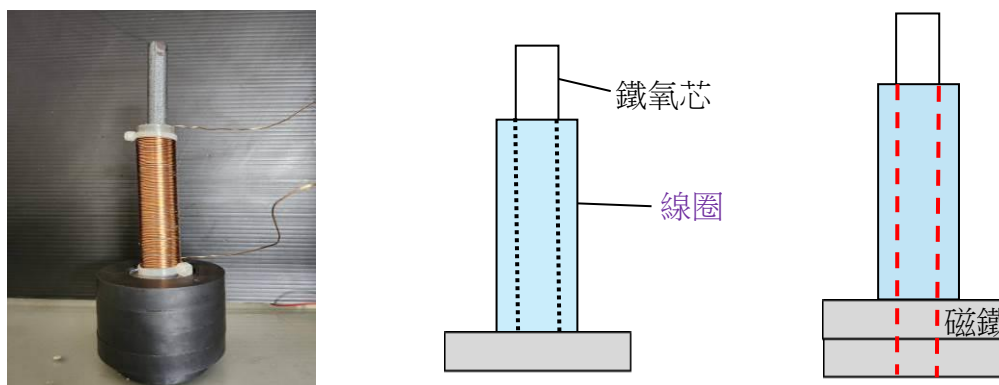


圖 8.1：實驗圖示。圖中表示鐵氧芯沒進到環形磁鐵內部，圖右鐵氧芯有進到環形磁鐵內部。實驗以圖中鐵氧芯不進入磁鐵為主。[1、3、3]

### 結論：

- 1.我們想說增加磁鐵會不會對水滴的氣化有加速的作用？磁鐵由 2 個變成 5 個，但結果都一樣水滴都有成功氣化。看不出差異！

實驗結果：最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
兩塊磁鐵	28.59	28.50	28.53	28.47	28.56	28.47	28.56	28.53	28.53

註：不論兩到五塊磁鐵，頻率、氣化效果都一樣。

2.我們實驗的鐵氧芯並沒有深入到環形磁鐵內部。露出的棒子越少會不利水滴氣化。

3.實驗說明底部磁鐵不用很多，1~2塊就可以，太多只是增加重量和成本。

## 九、支架設計

我們設計以壓克力底座、支架，讓實驗觀察更佳美觀、順利，現場不會很凌亂。

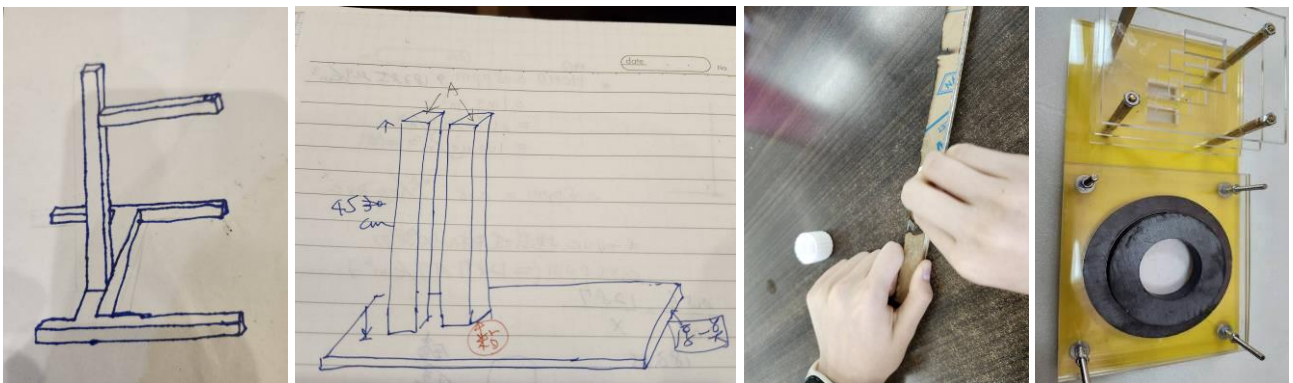


圖 9.1：先畫圖想想要怎麼把磁鐵、線圈、壓克力管架起來。找廠商精準雷切壓克力。雷切對於厚一點的壓克力會有燒焦需要擦拭乾淨。[3、3、1、1]

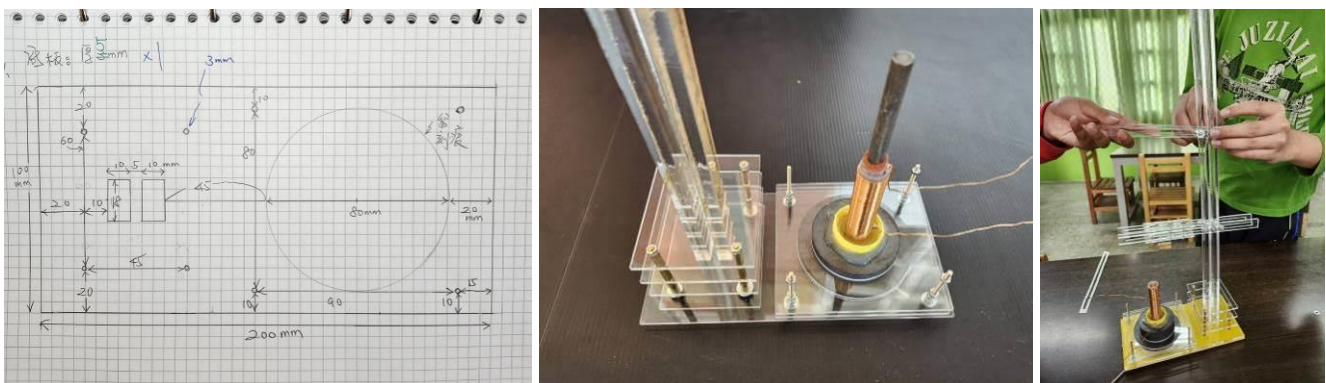


圖 9.2：尺寸圖。使用螺絲銅柱來建構支架，固定環形磁鐵，方便拆卸。[3、1、1]

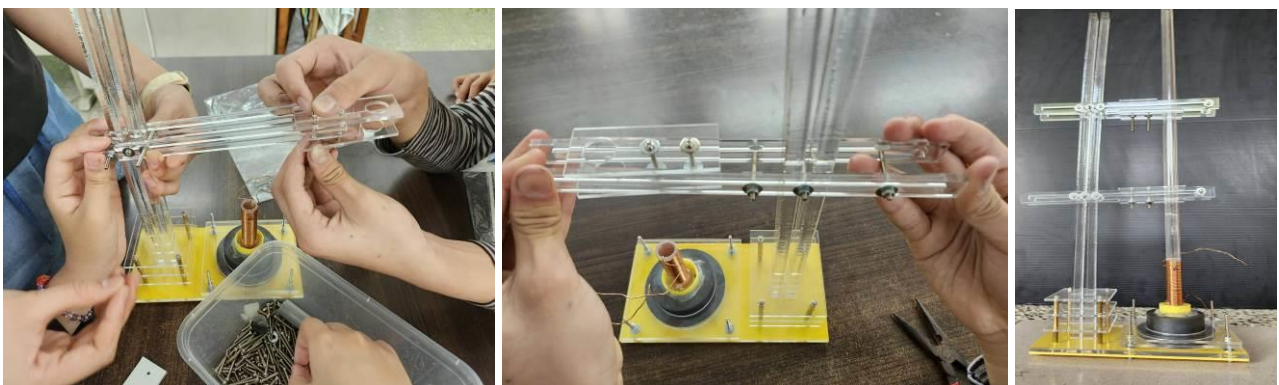


圖 9.3：壓克力管的夾子不好固定，同心協力一起完成。完成時有模有樣！[1]

## 肆、研究結果

### 結論一：

- 1.訊號產生器輸出的頻率並不固定，會有小小變動，測量後都取平均值。
- 2.鐵氧芯棒兩端都不可以用膠粘住，必須是活動的。
- 3.實驗有三個主要變數的調整會比較吃力。我們結論是優先調整頻率，錯誤的頻率達不到共振要求。出現振動，再調整電壓，最後才調整電流。
- 4.我們發現電壓在 20~22V 上下、電流在 0.8~2.0A 間氣化效果不錯。
- 5.已知 14cm 的鐵氧芯要施加的頻率大都在 20KHz 左右。
- 6.實驗時電路上必須有 LED 與線圈並聯，方便觀察有沒有電流過線圈。

### 結論二：

- 1.使用 IRFZ44N 電晶體必須能有效地散熱，不然過程中非常容易燒掉。
- 2.實驗觀察順序是先放美工刀或手放在棒的頂端，頻率「對了」摸起來滑順、刀片有振動聲，再改滴水觀察是否氣化，找出氣化時最佳的頻率條件、電壓、電流值。
- 3.對同一長度(14cm)的鐵氧芯實驗，**在線圈匝數 65~95 匝間，頻率 20.34~20.41KHz 幾乎完全沒有變化。這頻率跟鐵氧芯的長度有關。**  
這說明在**一定圈數範圍下，都能讓鐵氧芯產生磁致伸縮效應**，這效應應該只和鐵氧芯長度有關。**多繞線圈只是增加線圈成本與浪費。**

### 結論三：

- 1.相同長度、棒徑的鐵氧芯，在相同的線圈匝數下，會只有一個最佳頻率嗎？是。
- 2.只要頻率偏離稍多，都看不到氣化現象。
- 3.鐵氧芯長度與線圈總長接近效果都不行，刀片有振動聲、手摸滑順、水滴表面有霧化，但都無法達到氣化。
- 4.這說明當**鐵氧芯長度不足時是無法出現氣化。**
- 5.鐵氧芯要適度地露出一定高度，必要的墊高有需要。不過，棒真的太短時墊高也沒有用。

### 結論四：

- 1.鐵氧芯長度在 8~14cm 間，有最佳氣化頻率。
- 2.太長 16cm 的鐵氧芯找不到甚至感覺不到振動。太長、太短都不能產生振動出現氣化。
- 3.**鐵氧芯有最佳氣化頻率時，非常容易震斷**，一被震斷馬上失去將水滴氣化的能力。
- 4.棒長 L 與頻率 f 有關。棒長 L 跟它的最佳頻率 f 作圖，發現它們互為倒數成反比，乘積是一個常數。
- 5.棒長 L vs 最佳頻率 f 作圖，得到  $L \cdot f = 288.31$ ，R 平方 0.9995。

## 結論五：

- 1.除了棒徑  $\phi$  10mm 外，其他比較粗的鐵氧芯都沒有出現氣化，刀片測試有聲音表示仍然有振動，但估計棒本身太重，水滴振不起來。
2.  $\phi$  7mm 是最細的鐵氧芯，一按下開關，正要調整，就已經震斷了。我們認為它最佳氣化頻率就是在長度 14cm 的常用頻率。最細的鐵氧芯容易被震斷。
- 3.網路上最好買到的棒徑  $\phi$  是 10mm，原來是最容易起振的棒徑。
- 4.底部的磁鐵不用很多，1~2 塊就可以，太多只是增加重量和成本。

## 伍、討 論

### 1.鐵氧芯的變化

鐵氧芯本身是沒有磁性的。一放到有磁鐵底座的線圈當中 (如下圖)，棒子上端馬上磁化吸住刀片，此時線圈是沒有通電的。

這鐵氧芯的磁性是受到來自底部磁鐵的磁化。

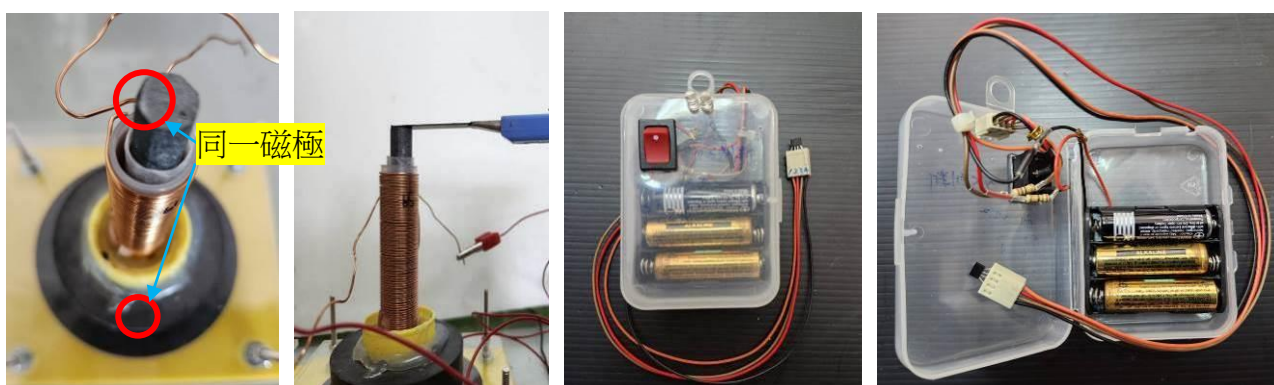


圖 A:放入鐵氧芯馬上磁化吸住刀片。自製磁極偵測器(霍爾元件)、內部[1]。

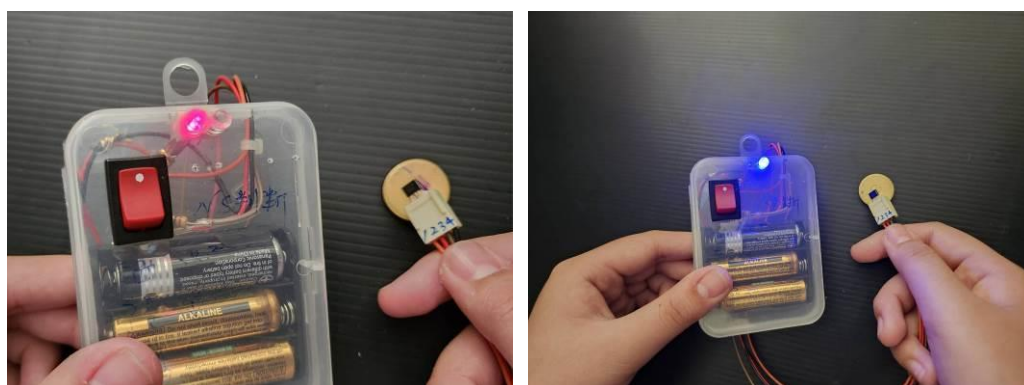


圖 B:霍爾元件接近 N 極 LED 亮紅燈，接近 S 極 LED 亮藍燈(校正步驟)。[1]

我們以磁極偵測器來偵測 NS 極，發現當線圈沒通電時，鐵氧芯頂端的磁極和第 1 塊磁鐵上方是同一極性(S 極)[見圖 C、D 說明]。

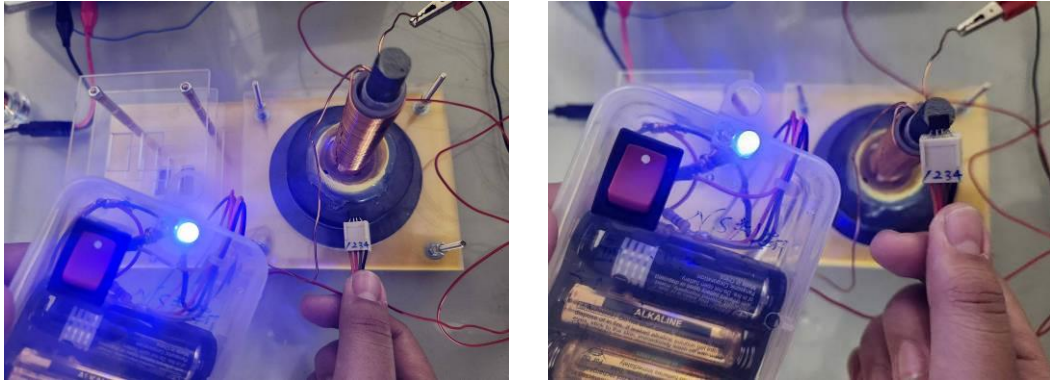


圖 C:磁極偵測器靠近底部第 1 塊磁鐵上端是 S 極，鐵氧芯上端一樣是 S 極。[1]

一旦通入高頻訊號，NS 磁極快速變化會對刀片快速吸放、振動發出聲音。此時測量鐵氧芯頂端磁性，居然是跟沒有通電時一致，都是 S 極。這是一個有趣的現象！

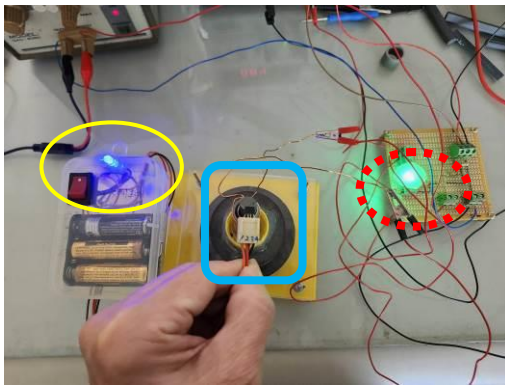
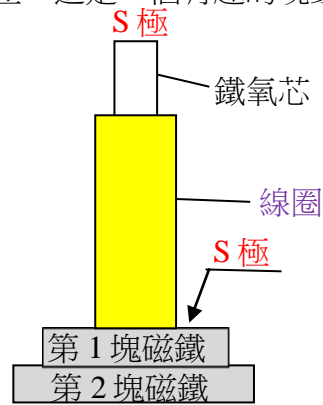


圖 D:圖左很明顯在有交流訊號下(通電下)，鐵氧芯頂部磁極是 S 極。[1、3]

圖右說明鐵氧芯頂部的磁性跟第一塊磁鐵磁性，有相同磁極 S 極。這磁性不會受到線圈交流訊號快速改變(頻率都是每秒一兩萬次數的變化)的影響。



## 2.最佳頻率

我們知道線圈、電磁鐵的 NS 極跟電流流入的方向有關係(安培右手定則)，直流電有固定的方向流入，因此有固定的 NS 極。那交流信號(電)時呢？它會一下往 A 進入、一下往 B 進入，造成它的 NS 極會快速變化。當 NS 的變化達到鐵氧芯變化的頻率時就出現磁致伸縮的現象(如下圖說明)。

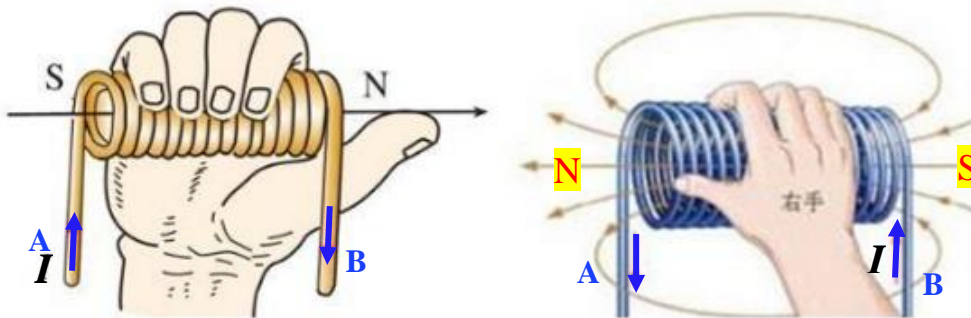


圖 E:當電流 I 由 A 進入，N 極出現在線圈右方(圖左)；當電流由 B 進入，N 極出現在線圈左方(圖右) [改自 15]。

實驗得到「頻率跟鐵氧芯的長度有關」，這頻率是線圈上的高頻訊號，一旦鐵氧芯發生磁致伸縮讓水滴氣化時，這頻率就是棒子在最長、最短間伸縮的最佳頻率，就是這兩個頻率彼此發生共振。

鐵氧芯伸縮快速，實驗時不可以將鐵氧芯綁得死死的，必須保持彈性方便它伸縮。

這也說明它材料的特性很硬才會伸縮明顯(摸的到，感覺的到滑滑的)、不過又很脆，共振時鐵氧芯最容易震斷！

### 3.聲音傳播的速度

這種伸縮就像一個波在長度 L 的鐵氧芯中來來回回快速的傳播，以每秒 f 的次數來回，這 f 就是我們說的最佳頻率。

參考清大戴明鳳教授在《測量聲音在鐵棒傳遞的速度》[16]影片中的方法得到鐵氧芯的速度 V：

1.速度  $V = \text{頻率 } f \cdot \text{波長 } \lambda$

2.棒長 L 和波長  $\lambda$  有這樣關係： $L = \lambda/2$  [見圖 F 右]

$\therefore \lambda = 2L$  代入 V 得到  $\therefore V = 2 \cdot f \cdot L$

3.在第 16 頁由實驗得到  $f = 288.31L^{-1.009}$ ， $R^2 = 0.9995$  ←

f 單位是 KHz

改一下方程式

$\therefore f \cdot L = 288.31 \text{ KHzcm}$  ← 我們以這關係估計不同長度的鐵氧芯的頻率值

$= 288.31 \times 1000 \text{ Hzcm} = 288310 \text{ Hzcm} = 288310 \text{ cm/s} = 2883.1 \text{ m/s}$

R 平方愈接近 1 表示  
實驗值與理論值(趨勢  
線)愈吻合匹配！

4.由  $V = 2 \cdot f \cdot L = 2 \cdot 2883.1 \text{ m/s} = 5766.2 \text{ m/s}$  這是在鐵氧芯中聲音(超聲)傳播的速度(聲速)。

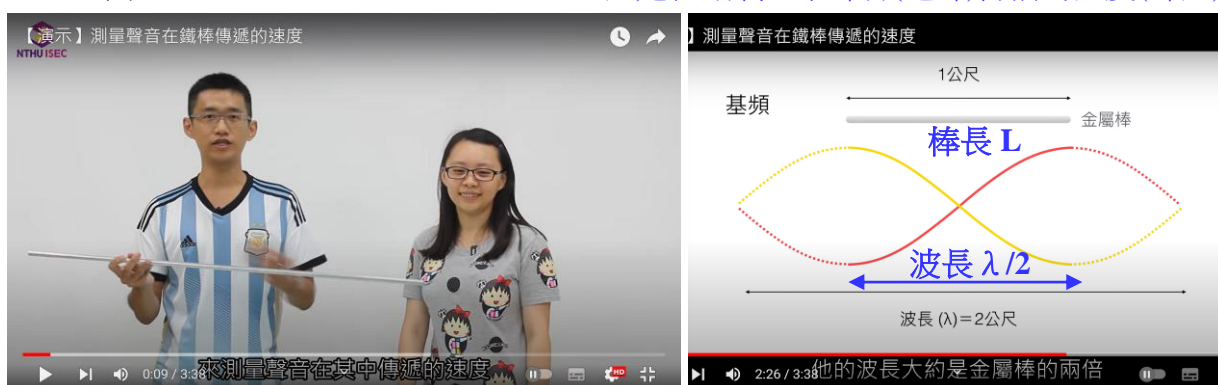


圖 F：戴明鳳教授《測量聲音在鐵棒傳遞的速度》是我們計算聲速的依據。[16]

同一種材料只會有一種傳播速度，這速度就是該材料特有的聲速。估狗鐵氧芯可能的聲速，見下表[13、14]。我們實驗得到鐵氧芯的聲速是 5766m/s。

淘寶賣家提到我們實驗用的是錳鋅鐵氧芯。可惜我們沒有找到錳鋅鐵氧芯的聲速值只能對比其他已知的相關數據(見下表一)，推論我們的數據應該非常接近它真正的聲速，因為 R 平方是 0.9995。



另外，從  $f \cdot L = 288 \text{KHzcm}$  可以預估不同鐵氧芯長度的頻率(下表二)，不同材質可  
 不可以適用這公式，不行。這裡 280、288 可以一起做為預估頻率的參考值。

表一：幾種鐵質材料的聲速值[13、14]

材質	聲速 m/s	材質	聲速 m/s
鐵(軟)	5960	鑄鐵(硬質)	5600
鑄鐵	4990	鑄鐵(軟質)	3500
氧化鐵(磁鐵礦)	5890	鎳鋅鐵氧體	4709

表二：不同長度鐵氧芯頻率預估值與實驗值誤差

編號	長度 cm	實驗頻率	預估頻率 1	誤差 1	預估頻率 2	誤差 2
1	5(4.7)	62.16	59.57	4.35	61.28	1.44
2	6	47.06	46.67	0.84	48.00	1.96
3	7	40.67	40.00	1.68	41.14	1.15
4	8(7.7)	36.36	36.54	0.49	37.40	2.79
5	10	28.48	28.00	1.71	28.80	1.11
6	12	24.05	23.33	3.09	24.00	0.21
7	14(13.8)	20.20	20.29	0.44	20.87	3.21
8	16	18.20	17.50	4.00	18.00	1.11

註：長度()中是真實長度。預估頻率 1 是長度 x 頻率=280。預估頻率 2 是長度 x 頻率=288。

#### 4. 為什麼鐵氧芯會被震斷！

為什麼手摸鐵氧芯頂端會感覺滑順？這是在棒子兩端是振動最厲害的地方波腹(下頁圖示)，它振動快速使得手摸出現順滑的感覺，實驗不可以將棒子兩端用膠黏住的主因。

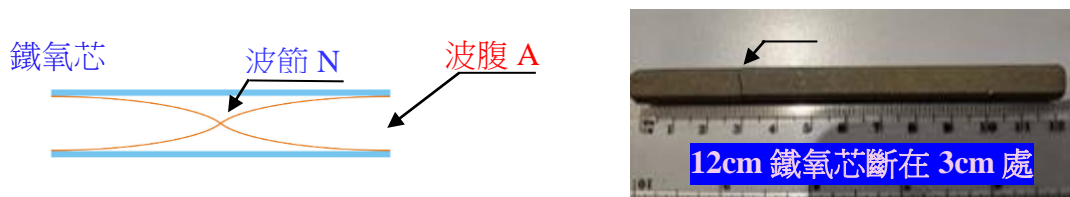


圖 G：波腹 A(Antinode 振動最大處)、波節 N(Node 振動最小處) [改自 16、1]

第一次觀察到是原本氣化的水滴，突然就動不了，怎麼調整頻率電壓電流都沒辦法，原來鐵氧芯在原地直接被震斷！發生不只一次，是什麼原因造成它斷了？

棒子本身有它自己的頻率，當它和線圈提供的頻率發生共鳴共振時，會加大振動的程度，最終使得鐵氧芯無法承受突如其來的巨大改變而斷裂。

一開始我們並沒有把斷掉的棒子丟棄，隨著斷掉的數量越來多越頻繁，我們有種感覺，棒子斷掉的地方應該不是很隨意的，我們把斷掉的長度和棒長相除，發現常常出現在 1/4 或 1/2 處，結果發現 1/4 處有 3 組、1/2 處有 4 組、斷在 35% 處有 2 組。這不應該是偶然，很明顯不

是隨機發生，而是有某種意義的！

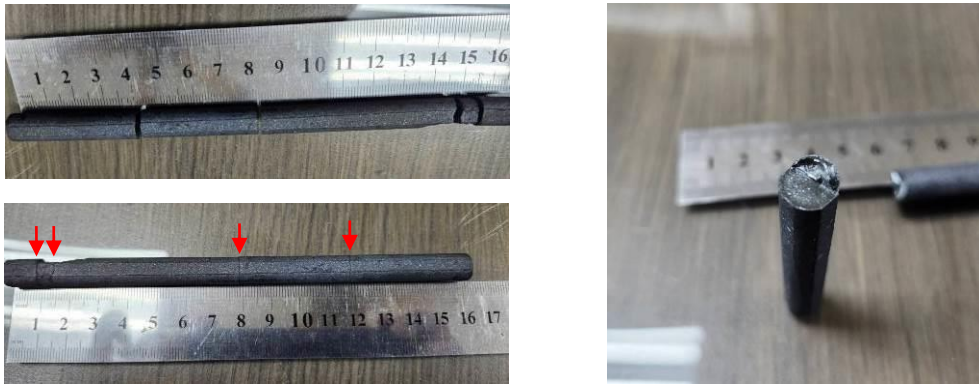


圖 H：左邊上下兩圖是長度 15.6cm 鐵氧芯被震斷成 5 節，它是唯一一個被震成這麼多節。幾乎所有斷面都非常平整如右圖。[1]

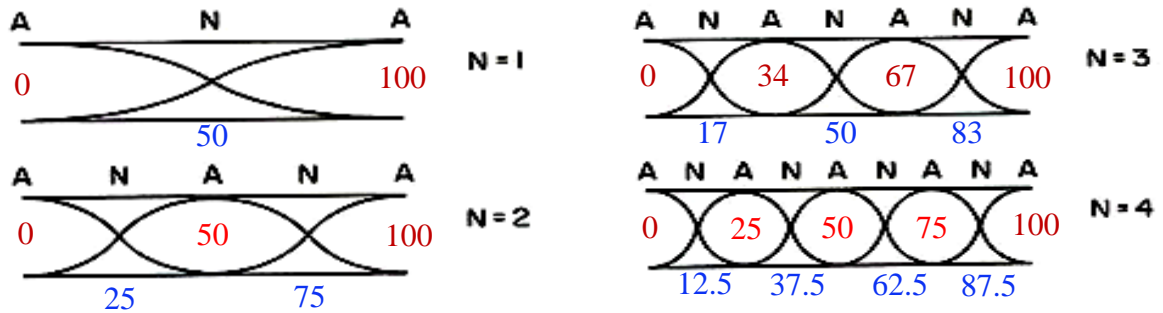


圖 I：波腹 A 以紅色數字%表示位置、波節 N 以藍色數字%表示[改自 17]。

表三：不同 N 值下，波腹 A(易斷處)與波節 N 在一棒長 L 位置的百分比%

N 值	波腹 A 波節 N 波腹 A									
1	0 50 100									
2	0 25 50 75 100									
3	0 17 34 50 67 83 100									
4	0 12.5 25 37.5 50 62.5 75 87.5 100									
5	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100									
6	0 8.3 16.7 25 33 41.6 50 58.3 66.7 75 83.3 91.6 100									

這裡的波腹 A 是棒子振動最大最激烈的地方，是最容易斷裂的地方、最不安全的位置；波節(節點)N 則是棒子最不容易振動的位置、最安全的位置。

基於這原則，圖 I 中有幾種振動的型態，N=1 時稱為基頻，是最常發生振動的頻率，在它的開口兩端 0、100 是波腹、振動的最厲害；N=2 時，發生振動的位置除了在兩端，還有在中間 50；以此類推...

下頁表四我們把斷掉長度的比例%和圖 I、表三相比對，就會知道斷的地方是不是發

生在波腹？還是這斷裂根本是純屬偶然、是不經意的發生！

在 10 支斷裂的鐵氧芯分析結果，很高的比例發生在波腹上，在 25%處有 3 組、35%處有 2 組、50%處有 5 組。

在那裡共振激烈，長度快速變化導致它應變不及折斷。

對了，鐵氧芯斷口平整比刀切還要漂亮。

表四：10 支震斷的鐵氧芯數據分析

組別	棒長 cm	棒徑 mm	斷裂長 cm	比例%	滿足 N 數
1	11.8	10	3	25.4	4
2	11.6	10	5.7	49.1	2
3	13.3	10	3.1	23.3	4
4	13	7	0.5	3.8	1
5	16	10	5.6	35.0	3
6	13.5	7	7	51.9	2
7	13.8	10	7	50.7	2
8	20	10	9	45.0	2
9	13.6	10	4.9	36.0	3
10	15.9	10	0.8/1.4/7.9/11.8	4.9/8.6/49/73	1/6/2/4

註：顏色表示同種顏色歸成一類。

### 5. 方波是不是也可以將水氣化？

我們一直好奇，既然正弦波可以出現氣化，那訊號產生器的另外一個波形—方波能不能出現氣化？

**實驗**我們以 10cm、棒徑 10mm 鐵氧芯，以正弦波預估頻率以 28KHz 開始微調頻率、電壓、電流直到出現水滴氣化。此時，直接將訊號產生器的波型改成交方波，觀察是不是出現氣化？

結果沒有出現氣化！有點失望！不過，我們嘗試調一下頻率，沒想到竟然出現氣化！



圖 J：示波器讀到方波波型[1]

表五：正弦波、方波頻率值分析

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均頻率 KHz
正弦波頻率	28.62	28.53	28.44	28.56	28.66	28.62	28.56	28.50	28.56
方波頻率	28.59	28.53	28.50	28.56	28.44	28.40	28.59	28.50	28.51

我們發現正弦波、方波彼此的最佳頻率沒辦法相互用，兩者之間仍存在極微小的頻率差，正弦波可以最佳氣化的頻率對方波無效。我們原以為根本沒有影響的頻率差在此顯然還

是存在著(0.04KHz)差異。

表六：正弦波、方波的頻率、電壓、電流分析

	平均頻率 Hz	電壓 V	電流 A	功率 W
正弦波頻率	28.56	13.6	0.73	9.93
方波頻率	28.51	16.2	0.48	7.78

### 6.線圈上的頻率...

訊號產生器輸出的頻率可以由示波器讀到，那我們想可不可以順便觀察一下線圈的頻率值和波型，只要將示波器的紅黑夾直接接在線圈兩端就可以進行觀測。實驗條件同前面的**實驗 5**。

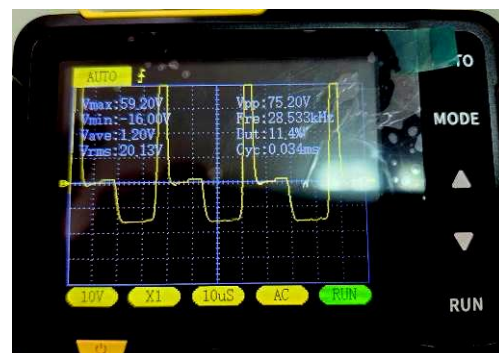


圖 K：線圈上的頻率與波型[1]

我們發現**線圈的頻率幾乎和訊號產生器一致，可是波型卻是大不相同、有點奇異**如圖 K，並不是波浪型的正弦波圖形。

表七：訊號產生器與線圈的頻率值分析

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均頻率 KHz
訊號產生器頻率	28.62	28.53	28.44	28.56	28.66	28.62	28.56	28.50	28.56
線圈頻率	28.53	28.52	28.55	28.56	28.56	28.56	28.50	28.60	28.55

### 7.自動滴水裝置

我們發現在鐵氧芯的頂端積太多水時，這水反而不容易氣化，可能是因為水太多會吸收太多振動的能量，**那什麼時候才會出現有效的氣化？**

沒錯，**我們最終弄清楚**用滴管或針頭由上面滴下時是最容易氣化。

為什麼？因為滴下的水會有一定的動能速度，一接觸到快速的振動頂端，兩者碰撞使水更容易氣化。



圖 L：使用點滴的輸液管，測試接在寶特瓶上。架在支架上調整控制水滴速度[1]

接著，我們由點滴管來控制滴水速度，讓水有節奏的往下滴，注射針頭可以調節到小水滴，一滴到鐵氧芯馬上氣化，而且一直持續下去。真是有趣的發現！

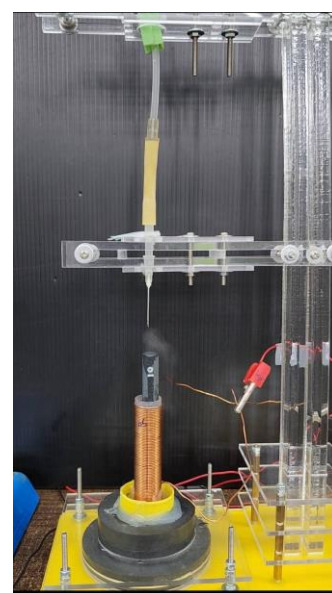
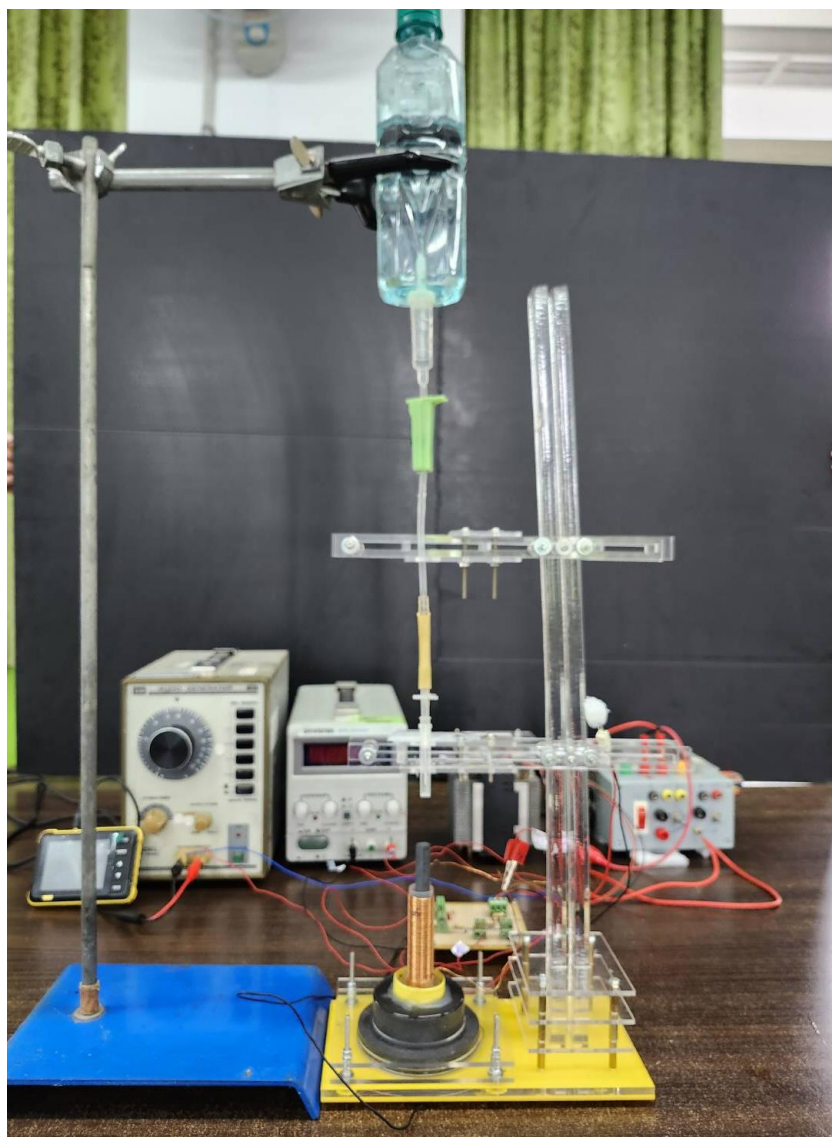


圖 M：實驗最後全景圖。控制滴下速度讓滴下的水滴氣化成霧。[1]

## 陸、結 論

### 輕量化才能實用化

我們實驗器材都相當有重量，使用、搬運都相當不容易，那可不可以輕量化？

我們找到一款訊號產生器可以調整輸出頻率(圖 M)，可以讓鐵氧芯發出振動，只是它要改變頻率時要按鍵逐一改變頻率、很費時間！

下圖有「磁致伸縮」輕量化的潔牙機，在臉部保養讓皮膚緊實常用的美容儀器有音波拉提，這種小小的儀器也有使用磁致伸縮原理的，沒想到吧！

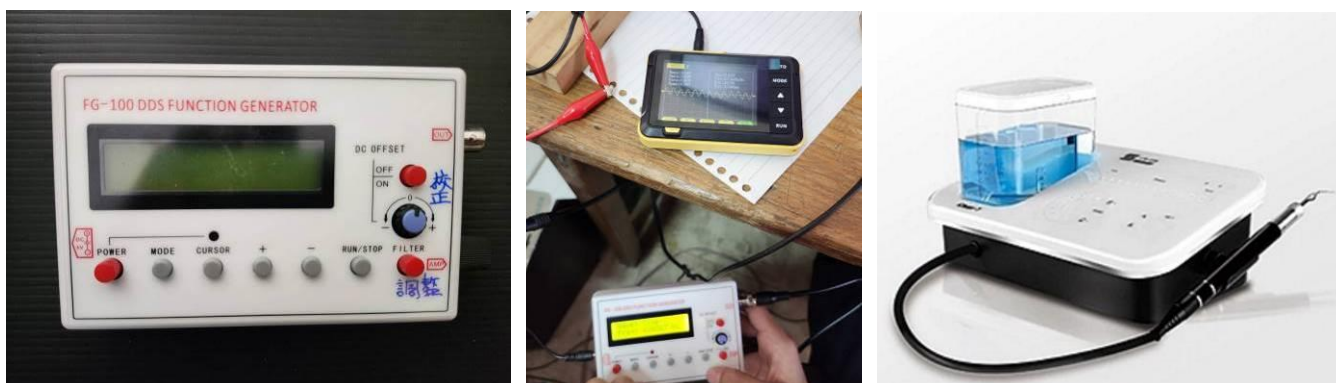


圖 N：小型數位化的訊號產生器，缺點是調整頻率只能慢慢測試(圖左、中)。圖右是磁致伸縮的洗牙機[1、1、10]。

我們實驗的電路簡單不複雜，實驗的電壓、電流都不大。

實驗結論「電壓在 20~22V 上下、電流在 0.8~2.0A 氣化效果不錯。」可以知道消耗的功率大概在 16~44W，一般行動電源、筆電的消耗功率約在 10.5、65W，輕量化應該不難。



圖 O：行動電源 10.5W(左)，筆電 65W(中)。音波拉提儀(右)。[1、1、21]

這實驗一旦輕量化就能實用化。最大的受益應該是成為自然老師教學上最吸睛的神物至寶之一，教學現場演示氣化霧化水滴、鐵珠彈跳，非常神奇。

希望我們的研究能帶來一款輕量化、實用化的教具，吸引更多朋友喜好科學、領略科學的美好與神奇。

當然，我們相信它應該還有其他更有意思的應用！

我們發現磁致伸縮材料潛能大、可接受的頻率範圍廣，感覺它會成為科技上的主要應用對象，有一種說法是這種磁致伸縮材料可以運用在聲納、消震器及電鑽上，遠景看好。

## 柒、參考文獻

- 1.照片指導老師 1 拍攝。
- 2.照片指導老師 2 拍攝。
- 3.圖片出自作者。
- 4.自然與生活科技南一版(五下)－有趣的聲音。
- 5.鐵氧體。民 113 年 3 月 9 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/鐵氧體>
- 6.磁致伸縮效應。民 113 年 3 月 10 日，取自：<https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetostriction>
- 7.壓電效應。民 113 年 3 月 10 日，取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/壓電效應>
- 8.金箍棒變身－鐵棒在外加磁場下磁致伸縮及側向調控。民 113 年 3 月 10 日，取自：  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-051801.pdf>
- 9.超聲潔牙機。民 113 年 3 月 12 日，取自：<https://www.medicalexpo.com.cn/prod/hu-friedy/product-72744-1077036.html>
- 10.超聲潔牙機。民 113 年 3 月 12 日，取自：<http://www.jykm88.com/Products/shprmgczss.html>
- 11.淺談潔牙器械的進展。民 113 年 3 月 9 日，取自：  
<https://blog.kq88.com/index.php?s=/Headpage/Artshow/index/id/30309/uid/91509/mobile/1>
- 12.洁牙不要只知道超声波 磁致伸縮洁牙原理和优势。民 113 年 3 月 9 日，取自：  
[https://www.sohu.com/a/244589645\\_100103260](https://www.sohu.com/a/244589645_100103260)
- 13.材料声速。民 113 年 3 月 9 日，取自：<https://www.olympus-ims.com/zh/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/>
- 14.常規材料聲速。民 113 年 3 月 9 日，取自：[http://www.94817.com/zh-tw/pdshowtwo/techshow\\_1316384.html](http://www.94817.com/zh-tw/pdshowtwo/techshow_1316384.html)
- 15.右手定則。民 113 年 3 月 9 日，取自：<https://www.baikē.com/wikiid/7301261229594509364>
- 16.測量聲音在鐵棒傳遞的速度戴明鳳。民 113 年 3 月 9 日，取自：  
<https://www.youtube.com/watch?v=PDMC-txEc-c>
- 17.聲音的共振－共鳴。民 113 年 3 月 9 日，取自：  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19239&cpage=1>
- 18.影片出自 Get a class。民 113 年 5 月 23 日。
- 19.自然與生活科技南一版(六上)－電與磁的奇妙世界。
- 20.电波钟模块模组。民 113 年 2 月 23 日，取自：  
<https://m.tb.cn/h.5wiGfLdvUqorVHD?tk=sywLWNEIJ15 CZ0001>
- 21.超聲波導入導出儀。民 113 年 5 月 23 日，取自：  
[https://www.rakuten.com.tw/shop/gttm11/product/r0423165930078/?srsltid=AfmBOorim1h\\_WL3JSHpUbdyKMK0xGqNjv4IxHaxnYudk2Q8uoDV3e9AmtQw](https://www.rakuten.com.tw/shop/gttm11/product/r0423165930078/?srsltid=AfmBOorim1h_WL3JSHpUbdyKMK0xGqNjv4IxHaxnYudk2Q8uoDV3e9AmtQw)

## 【評語】 082816

在這份作品中，同學們對「磁致伸縮」現象進行研究和探索，實驗設計系統性強，變因控制得當，數據收集和分析也相當完整。同學們深入探討了頻率、棒長、棒徑等因素對磁致伸縮效果的影響。

利用示波器等儀器進行精確測量，並用數學方法分析數據，對實驗中出現的意外情況(如鐵氧芯斷裂)也進行了深入分析，體現了科學探究的態度。最後提出了輕量化和實用化的構想，顯示了將科學研究與實際應用結合的意識。

建議本研究能對未來進階發展規劃及在生活實際應用做思考與說明。



## 作品簡報

OMG! 造霧者

## 摘要

我們研究「磁致伸縮」這有趣的題目！有趣在無法想像水一滴到棒子，馬上就氣化霧化，這怎麼可能？於是，我們透過科展研究，瞭解為什麼發生這現象！

研究結果發現：鐵氧芯的震動頻率非常關鍵，頻率對了！才會出現最佳氣化。鐵氧芯的頻率與長度相關，頻率讓鐵氧芯的NS極快速改變，使長度出現微小變化，巨觀的表現就是讓水氣化；鐵氧芯太長太短太粗或太細，都不能產生有效震動來出現氣化，只有棒徑1cm的鐵氧芯，才是最適合氣化的條件。鐵氧芯這種有點硬的材料，居然會在實驗時直接被震斷，我們發現震斷的地方，通常出現在共振最激烈的地方。

最終我們引進點滴設計，讓水滴自動滴下、持續氣化，提升研究的實用價值！

## 壹、前言

### 一、研究動機

沒想到，在牙科洗牙潔牙的工具，和我們這次科展研究主題有關。新型態的潔牙是透過磁場運動來清除牙結石，減少對牙齒劃痕損傷[12]。

這種透過磁場運動的原理正是我們這次科展討論的主題「磁致伸縮」。

### 二、文獻回顧

實驗原理是磁致伸縮效應，當鐵氧體受到來自外界快速變化的磁場，會使鐵氧體本身的長度發生小小變化，如下圖[6]。

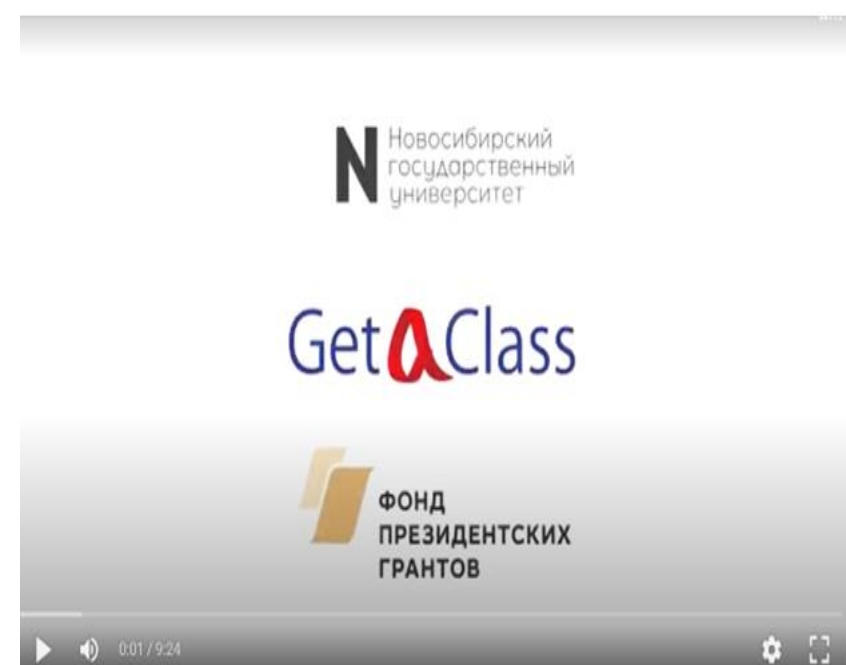


圖2：影片出自「Get a Class」注射針筒滴下的水遇到棒子瞬間氣化...[18]

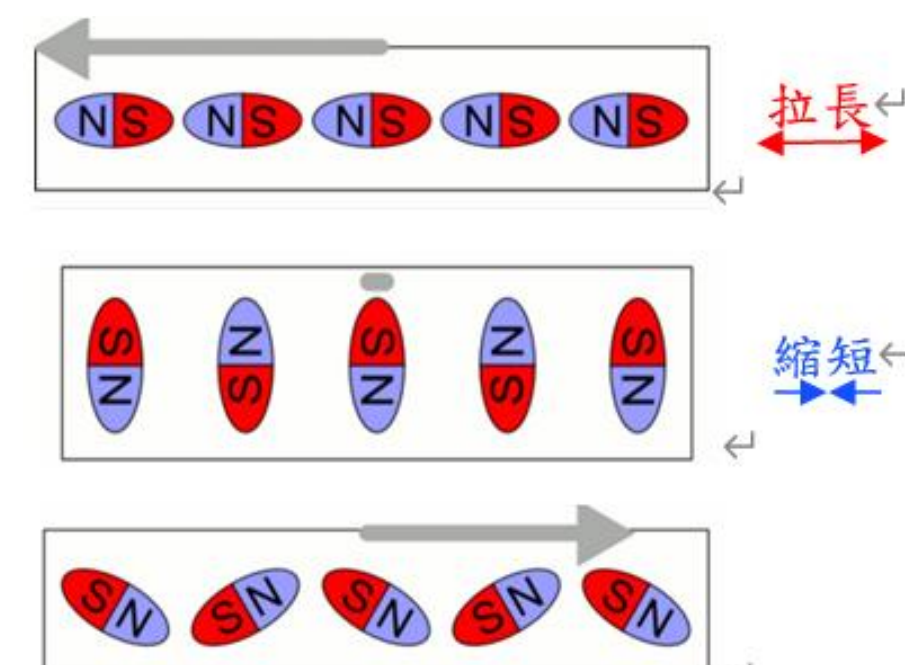


圖3：圖左磁致伸縮原理[6]。圖右實驗圖示。[3]

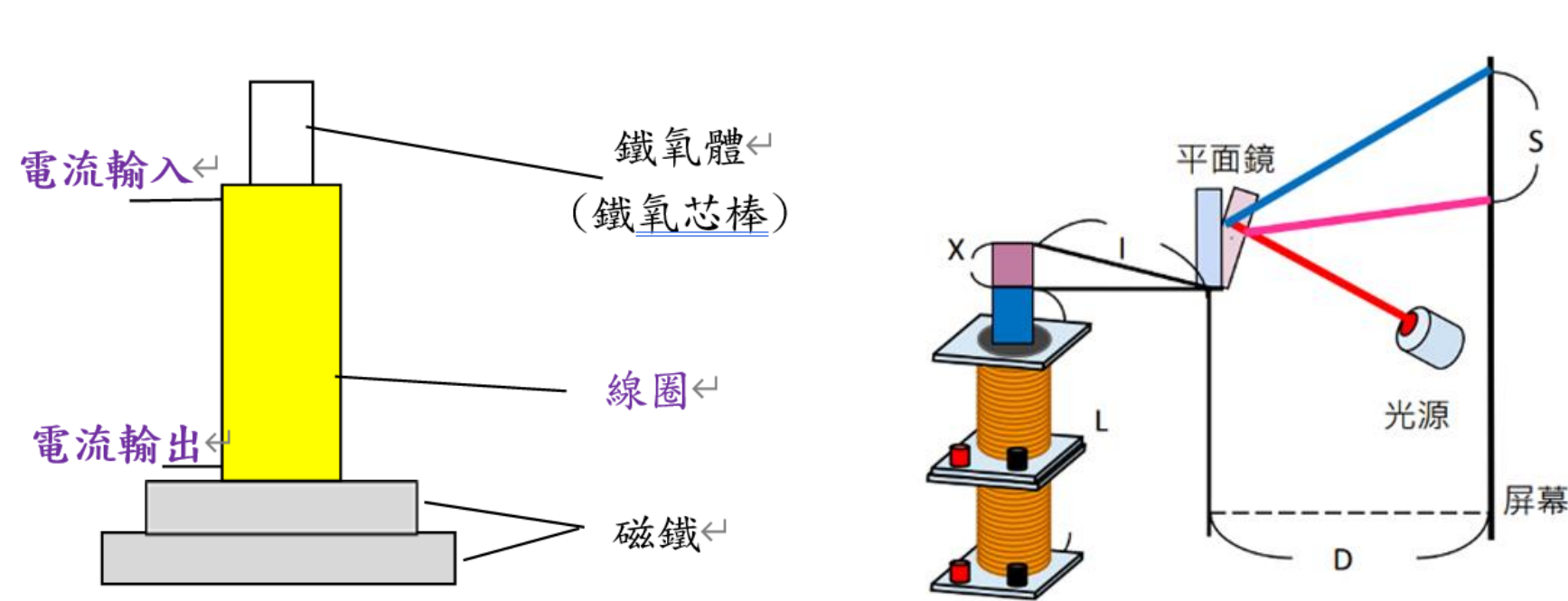


圖4：麗山高中科展[8]

外界的磁場來自哪？來自線圈提供。

六上自然課提到電流磁效應、線圈、電磁鐵的說明。安培右手定則可以判斷出磁場N極方向。電池的電是直流電，有固定的正負極讓電流從正極流入。如果我們讓電流出現正負交替的改變，那磁場的N極也會跟著快速在改變。

圖3左圖的箭頭表示來自外界磁場N極，這N極它會快速改變方向，這對鐵氧體有什麼影響？鐵氧體內部每個小小的磁鐵N極，跟隨這外面磁場的N極方向一致的一起變化，這種NS極快速改變方向，讓它的長度發生小小伸縮。

在科學教育館提到「磁致伸縮」相關實驗，只看到在第58屆台北市的麗山高中「金箍棒變身 - 鐵棒在外加磁場下磁致伸縮及側向調控」[8，圖4]。我們的研究跟他們完全不同。

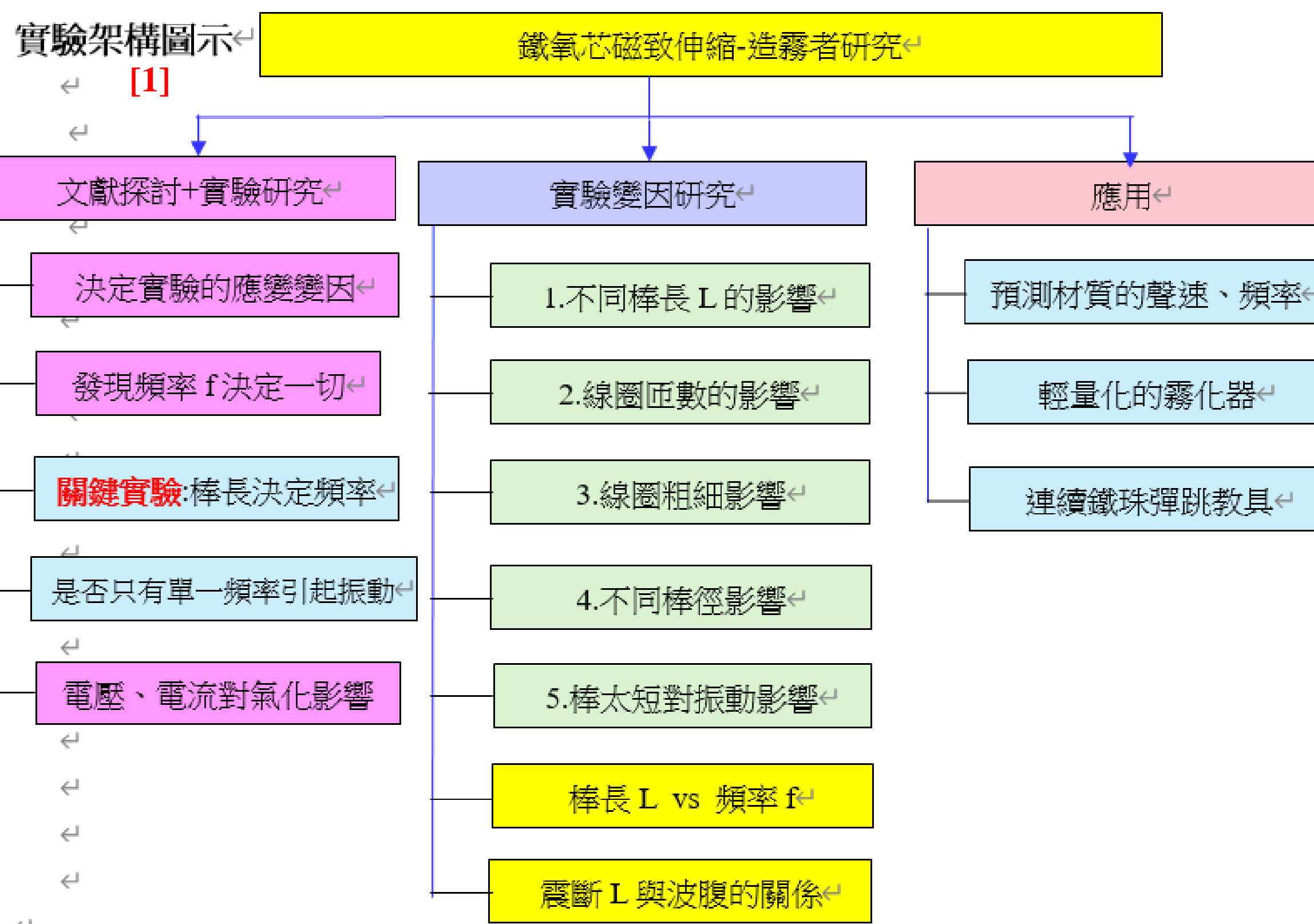
### 三、研究目的

- (一)研究實驗相關原理。
- (二)組織實驗相關器材，研究如何操作實驗。
- (三)觀察應變變因的順序以哪種觀察比較有利。
- (四)研究不同長度L下鐵氧芯的最佳頻率。
- (五)研究不同匝數的線圈對同一鐵氧芯的影響。
- (六)研究不同棒徑下鐵氧芯的最佳頻率。
- (七)研究棒長太短時墊高是否可行。
- (八)研究頻率f與棒長L間的關係。
- (九)研究如何預知頻率值。

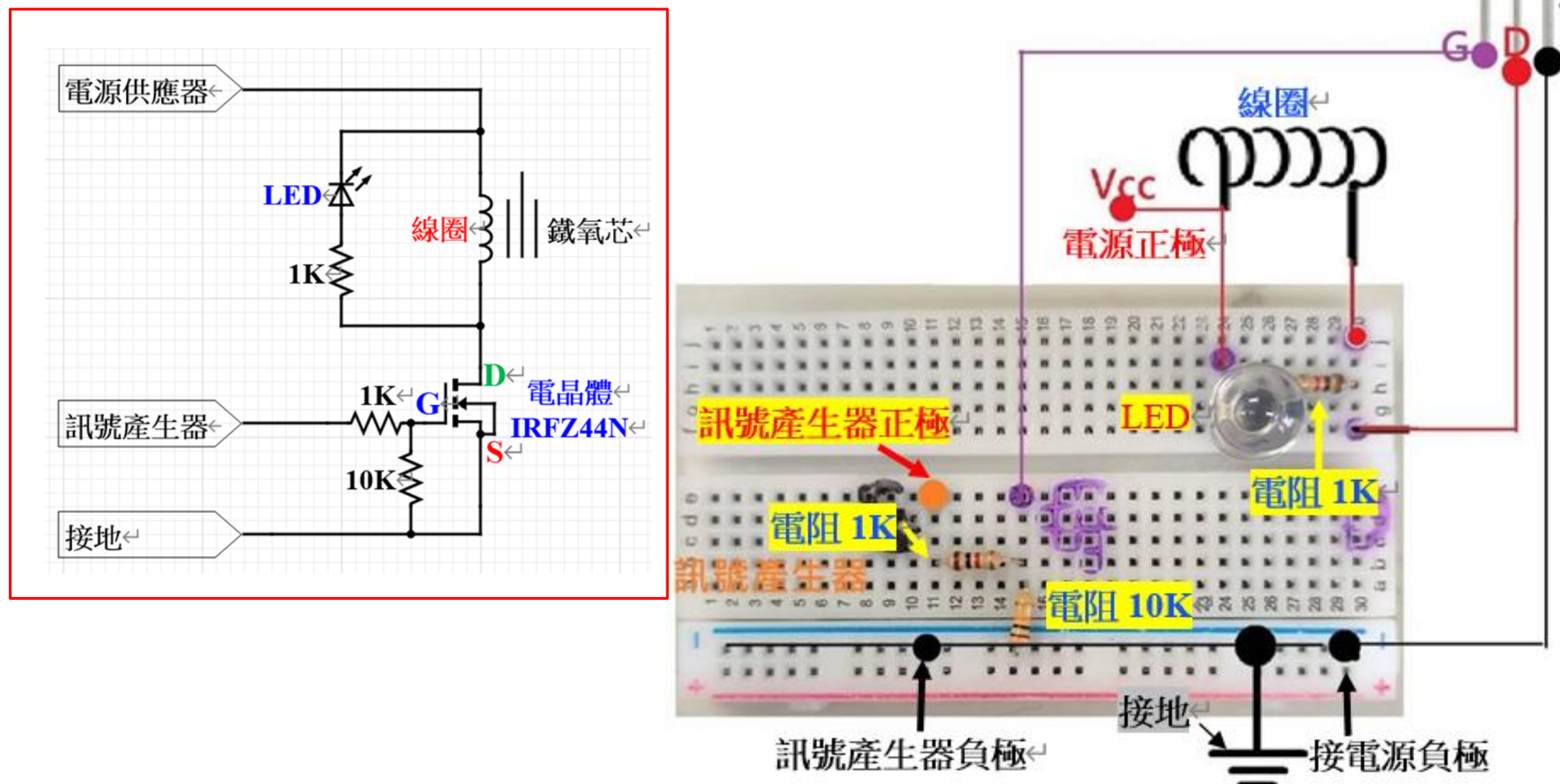
## 貳、研究設備及器材(節錄)



## 參、研究過程及方法



### 2. 電路圖示 [1、2]



### 一、實驗與組裝說明

#### 1. 它居然會發出聲音

在線圈當中放入鐵氧芯棒(鐵氧體)，它不是用在電磁鐵的鐵棒，它本身不具磁性，會被磁鐵吸引而磁化。鐵氧芯棒本身材料是氧化鐵是不導電的陶瓷材料、它硬度高、有脆性就是不堪一摔[20]。

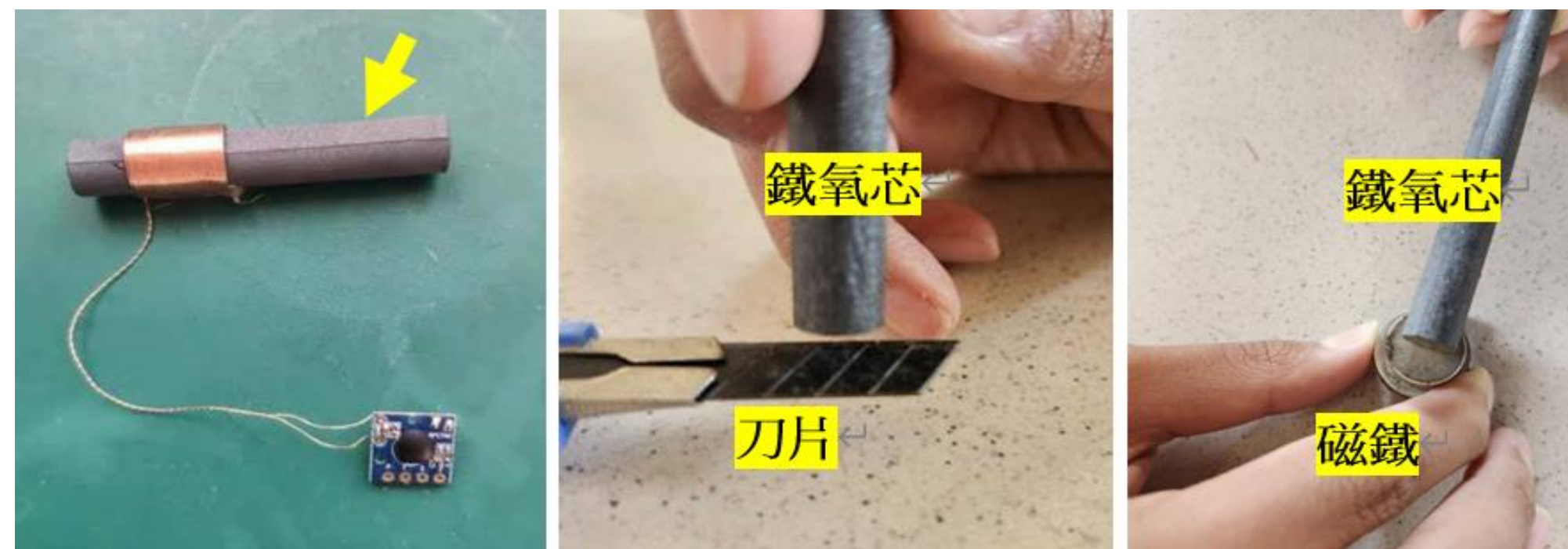


圖1.2：電波時鐘裡的鐵氧體。鐵氧芯無法吸住刀片，可以被磁鐵磁化。[20、1、1]

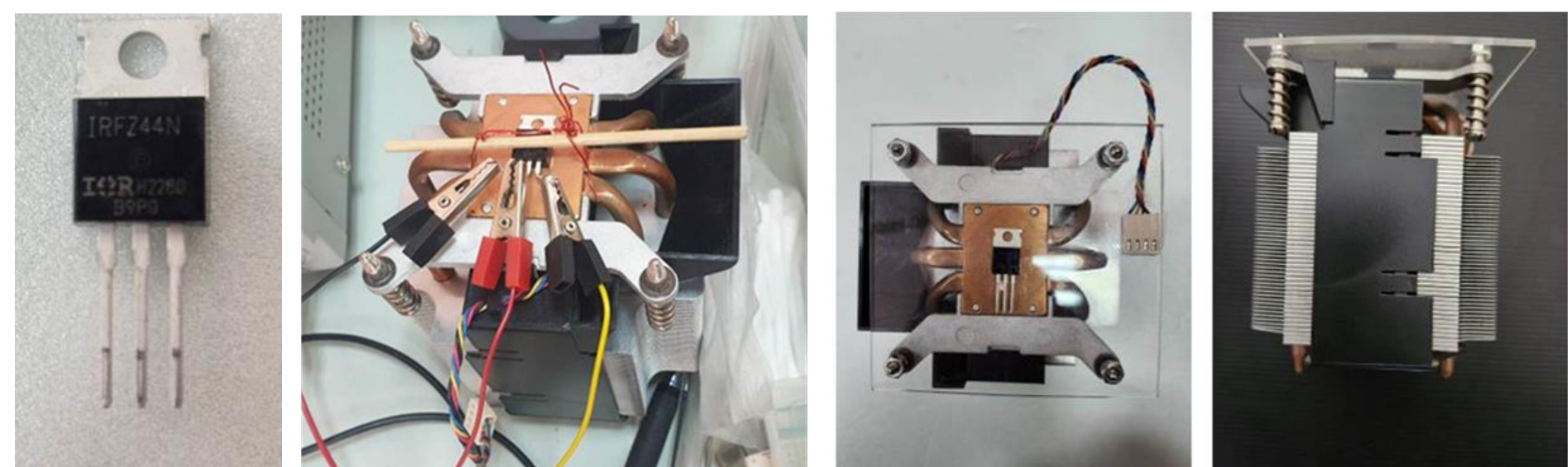
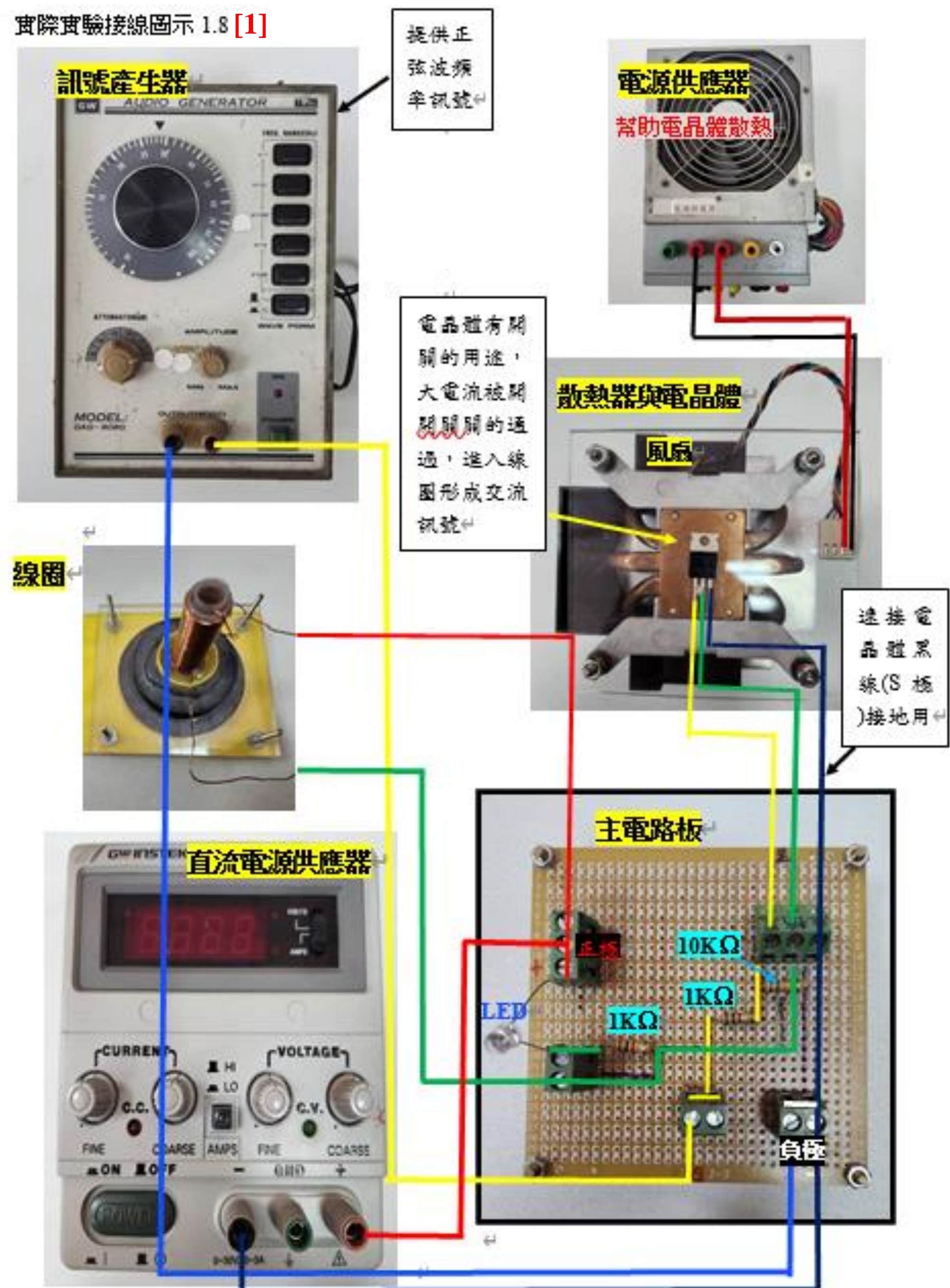


圖1.4：IRFZ44N電晶體。電晶體接在散熱器上，一開始用歐洲夾，容易誤觸短路，直接用筷子綁在散熱器，電晶體是耗品一定要好拆好裝。[1]



## 二、決定觀察哪種應變變因最優-以滴水成霧為主!

實驗時鐵氧芯會出現幾種情形：1出現高頻率聲音。2手摸滑滑的。3.刀片發出聲音。4.水滴液面霧化。5.鐵珠彈跳。照片出自[1]



## 三、不同匝數線圈對鐵氧芯的影響

線圈基本數據

線圈匝數	漆包線粗mm	線圈長cm	總長cm
65	0.65	4.8	6.5
75	0.65	6.2	8.0
90	0.65	7.0	8.5

實驗結果：(頻率單位KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
65匝頻率	20.38	19.94	20.38	20.40	20.37	20.43	20.41	20.38	20.34
75匝頻率	20.41	20.44	20.43	20.37	20.39	20.40	20.44	20.38	20.41
90匝頻率	20.41	20.36	20.41	20.44	20.42	20.45	20.42	20.42	20.41

結論：

- 三種不同匝數的線圈，對相同鐵氧芯實驗，找出氣化最佳的頻率，在線圈匝數65~95，頻率在20.34~20.41KHz幾乎完全沒有影響。
- 另外，以較粗的漆包線65匝線圈實驗，頻率也在這範圍內。
- 這說明在一定圈數下，都能讓鐵氧芯產生磁致伸縮效應，這效應應該只和鐵氧芯長度有關。

## 四、就只會有一種頻率嗎!

我們好奇使用相同長度和粗細的鐵氧芯，在相同的線圈匝數下，會只有一個最佳頻率嗎？我們想看看會不一樣嗎...

實驗結果：各組最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
第一組	20.46	20.43	20.47	20.44	20.48	20.41	20.41	20.40	20.44
第二組	19.86	19.40	20.35	20.41	20.40	20.44	20.46	20.45	20.22
第三組	19.86	19.87	19.90	20.37	20.35	20.38	20.29	20.33	20.17
第四組	20.46	20.38	19.92	19.44	19.44	20.43	20.41	20.41	20.11
第五組	20.43	20.38	20.41	20.40	20.33	20.40	19.92	19.83	20.26

結論：

- 就只會有一種頻率嗎？看起來似乎如此。五組實驗，頻率集中在20.24KHz，變化不大。
- 只要偏離一些都看不到氣化現象。



圖5.1實驗說明[1]

## 五、鐵氧芯長度跟線圈總長差不多時

這實驗題目在講什麼？就是鐵氧芯跟線圈長度差不多，不用露出多少，這樣是不是可以大大節省鐵氧芯的材料，不必那麼長！

實驗結果：各組最佳頻率(KHz)

實驗組別	電壓V	電流A	預估頻率	平均頻率	是否氣化	備註
65匝頻率	25.0	0.72	40	40.64	無	有聲音
75匝頻率	22.7	0.52	40	40.90	無	刀片振動聲大
85匝頻率	22.7	0.45	40	40.83	無	有振動
90匝頻率	22.7	0.52	40	40.64	無	刀片大聲

結論：

- 結果無論怎麼認真都找不到可以讓水滴氣化的頻率。
- 這說明鐵氧芯和線圈差不多高時，或是露出一點，棒子有振動但無法達到最佳氣化。所以當鐵氧芯棒長度不足時都無法出現氣化。

實驗：那我們在想可不可以「墊高」，就是把鐵氧芯棒用泡棉墊高！

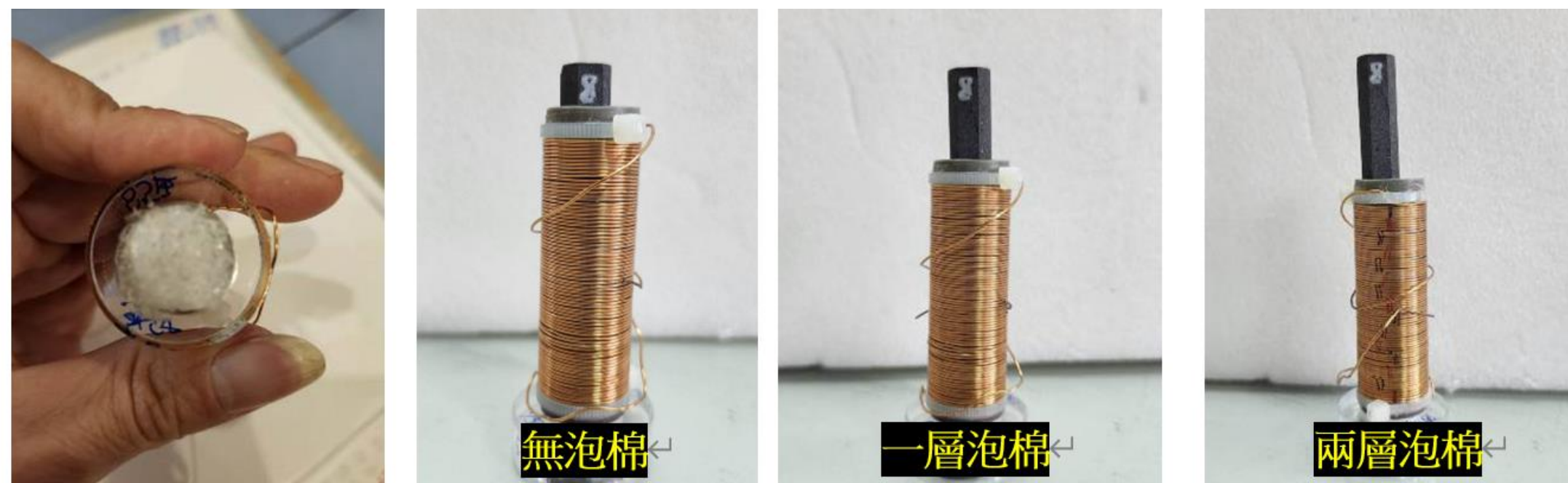


圖5.2：泡棉墊高，幫助鐵氧芯露出頭。從左到右是沒加入(露出0.6cm)、一層泡棉(1.7cm)、二層泡棉(2.5cm)。鐵氧芯棒上面的數字是它的長度值[1]。

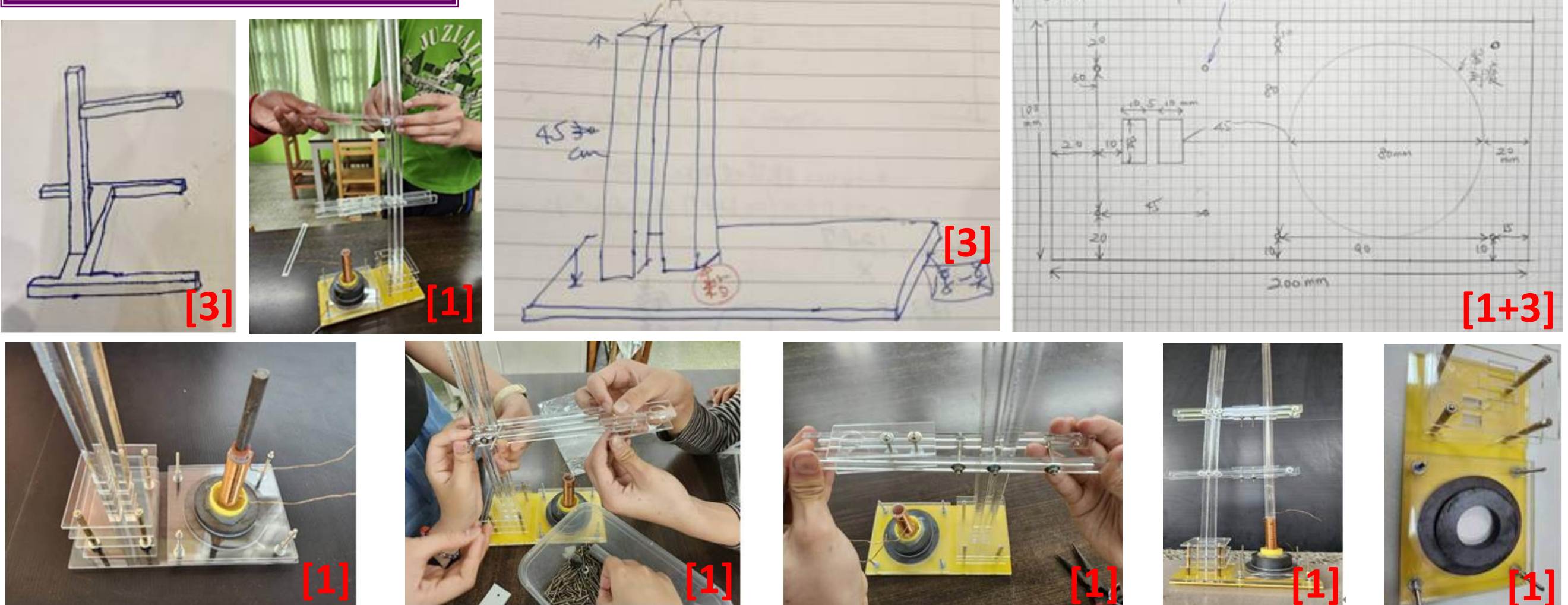
表：加入2層泡棉墊高，各組使用電壓、電流、頻率與結果

實驗組別	電壓V	電流A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
第一組	22.2	0.51	36.36	36.50	無	刀片有聲音摸起來滑順
第二組	22.2	0.51	36.36	36.57	有	需轉棒身水滴劇烈霧化
第三組	22.2	0.51	36.36	36.54	有	水面有蒸發摸滑順
第四組	22.2	0.51	36.36	36.54	有	一滴下去馬上氣化到乾

結論：

實驗說明鐵氧芯棒要適度地出頭，必要的墊高有需要。不過，棒真的太短時墊高也沒有用。這裡我們墊高泡棉2層，僅一層效果似乎不優。

## 六、支架設計[1、3]



## 七、不同長度L對鐵氧芯最佳頻率影響

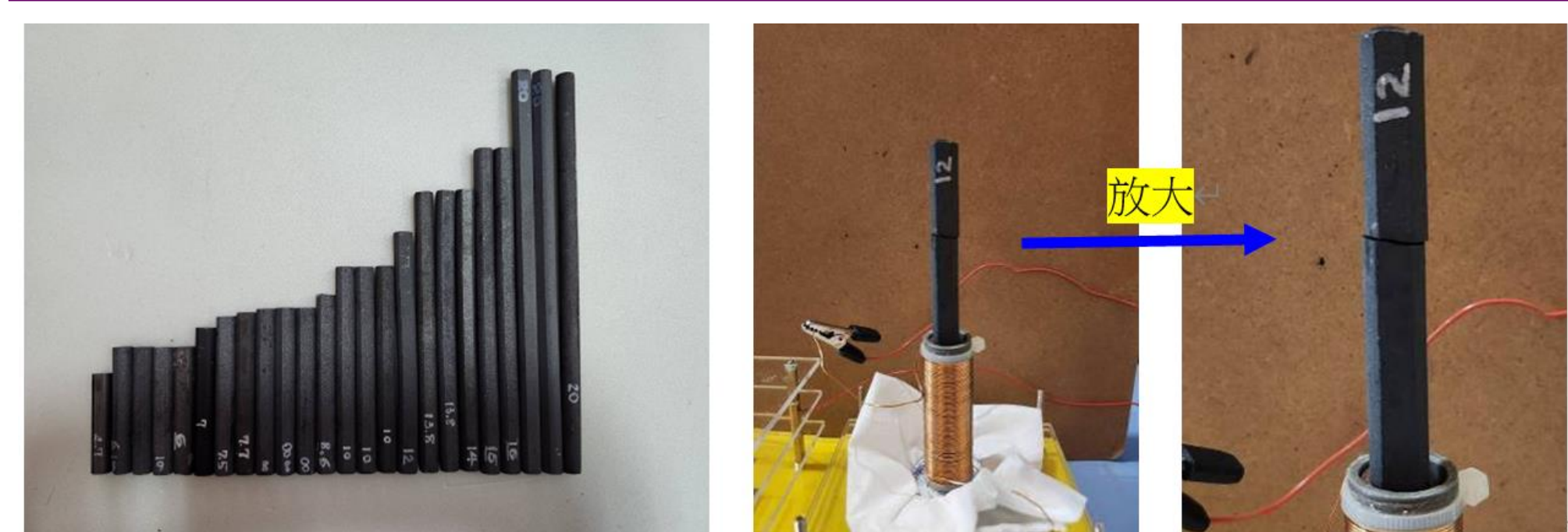


圖7.1：不同長度鐵氧芯。很明顯看出12cm鐵氧芯被震斷。它一被震斷就沒辦法再將水滴氣化。[1]

表：各種長度使用電壓、電流、頻率與結果

實驗組別	電壓V	電流A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
長度5cm	22.3	0.41	56	62.16	無	手摸滑順
長度6cm	22.4	0.49	46.67	47.06	無	水滴有明顯振動
長度7cm	22.2	0.47	40	40.67	無	刀片大聲水滴沒變化
長度8cm	22.2	0.51	36.36	36.54	有	一滴下去馬上氣化到乾
長度10cm	22.4	0.82	28	28.48	有	氣化明顯一直到乾掉
長度12cm	22.4	1.02	23.33	24.05	有	連續震斷2根
長度14cm	22.4	1.22	20.29	20.20	有	滴下瞬間氣化
長度16cm	19.9	0.98	17.5	18.20	無	找不到

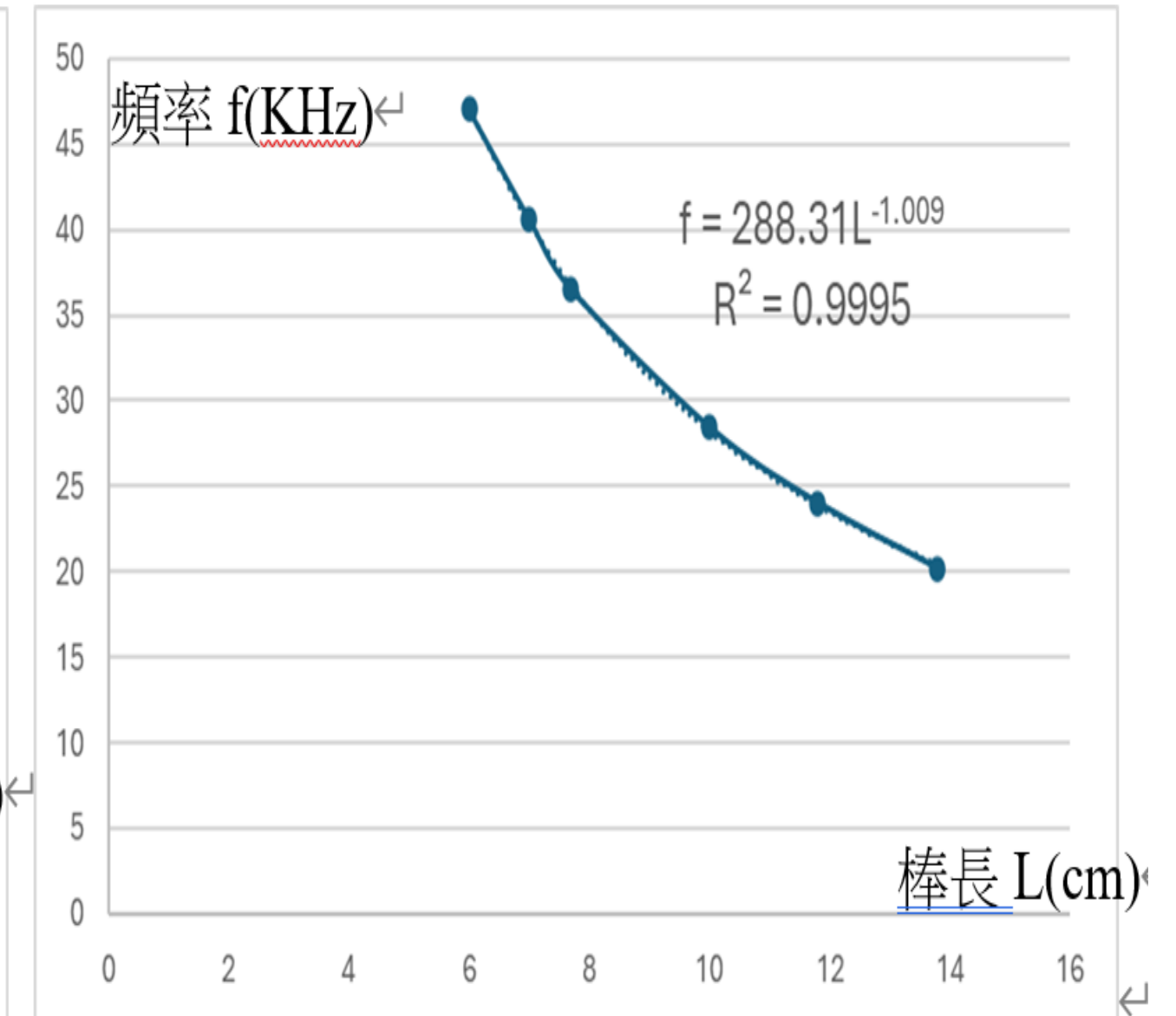
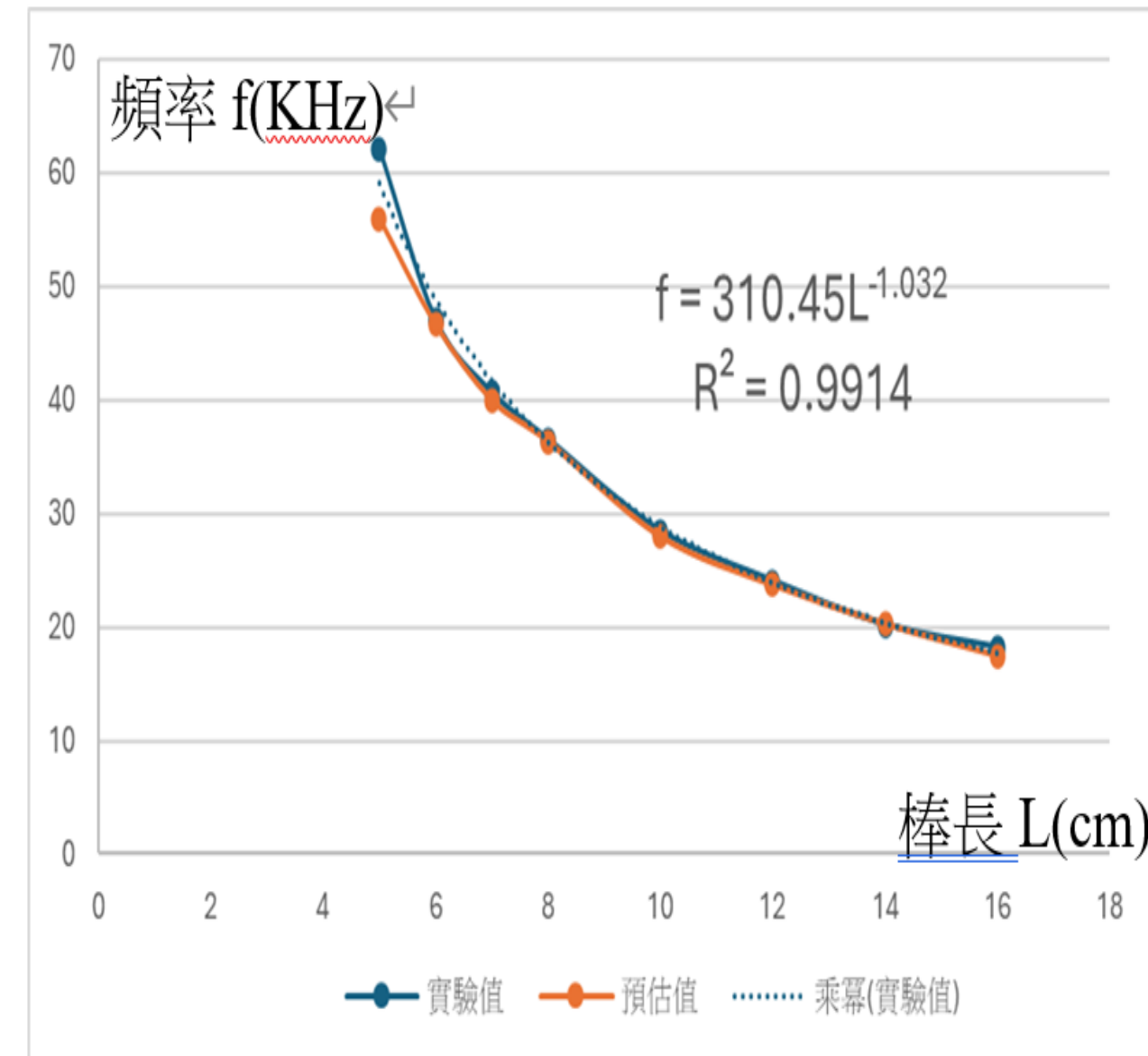


圖7.2[1]：將棒長L跟最佳頻率f作圖，加入趨勢線方程式與R平方。圖左它們之間的關係L•f=310.45，R平方0.9914；圖右是扣除長度短的5cm棒長(它偏差大)，得到L•f=288.31，R平方0.9995，吻合度更大。

## 八、棒徑ψ對鐵氧芯頻率的影響

結論：1.最細的鐵氧芯7mm非常誇張，以預估頻率值一按下電源，正要開始調整，就已經震斷了。2.除了ψ10mm外，其他粗的鐵氧芯都沒有出現氣化，估計是太重振動不起來。



圖8.1：不同粗細的鐵氧芯。為了放粗的鐵氧芯特別纏一組85匝線圈[1]

實驗結果：不同棒徑ψ鐵氧芯最佳頻率(KHz)

實驗組別	電壓V	電流A	預估頻率	平均頻率	氣化	備註
ψ7mm	27.3	1.39	21	-	無	馬上震斷
ψ10mm	26.4	0.89	20	20.31	有	刀片有聲音+氣化
ψ13mm	21.8	0.39	20	20.02	無	太粗無法振動
ψ15mm	20.1	0.26	20	20.59	無	刀片有聲音
ψ17mm	22.1	0.29	21	20.63	無	會有聲音，水不會動
ψ18mm	27.1	0.22	20	20.23	無	有聲音沒氣化
ψ20mm	29.7	0.35	20	20.15	無	電壓電流變大聲變大

## 九、底部磁鐵的影響

結論：

- 增加的磁鐵會不會對水滴的氣化有加速的作用？磁鐵由2個變成5個，但結果都使水滴成功氣化。看不出來...
- 實驗說明底部磁鐵不用很多，1~2塊就可以，太多只是增加重量和成本。

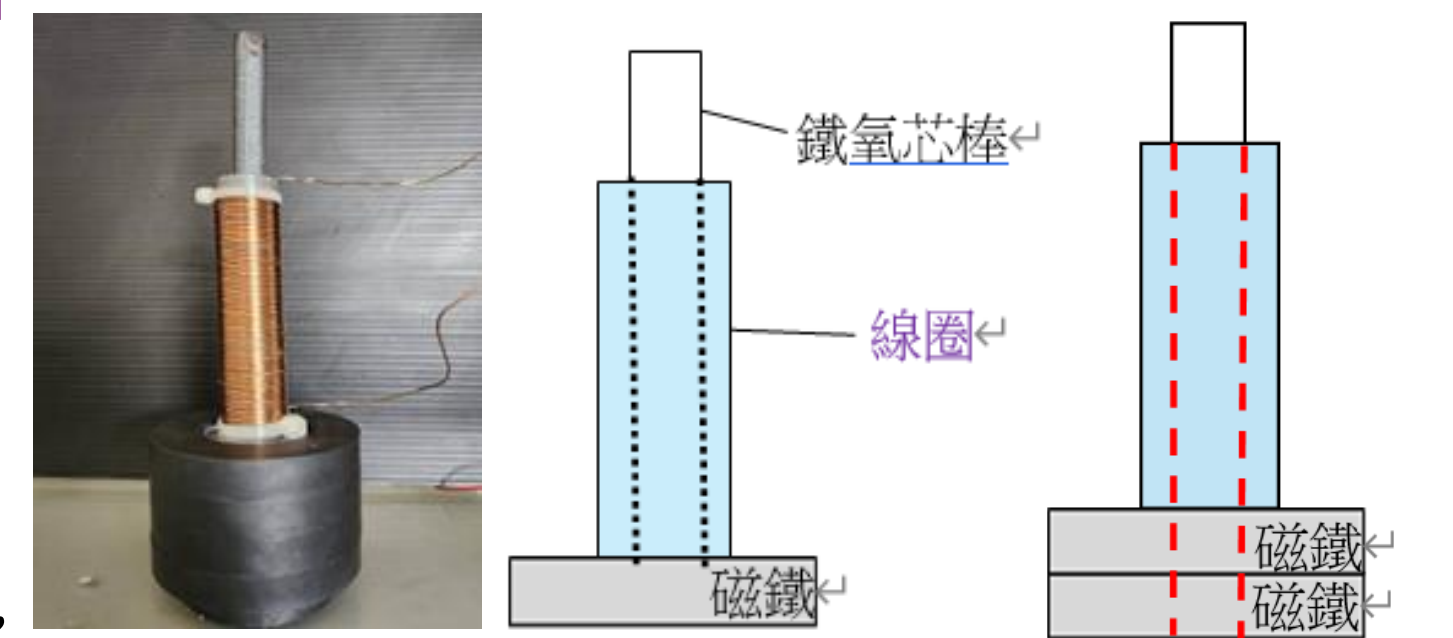


圖9.1：中、鐵氧芯沒進磁鐵內部，右鐵氧芯進磁鐵內部。實驗以圖中鐵氧芯不進入底部磁鐵為主。[1、3、3]

表：兩個磁鐵最佳頻率(KHz)

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
兩個磁鐵	28.59	28.50	28.53	28.47	28.56	28.47	28.56	28.53	28.53

## 肆、研究結果

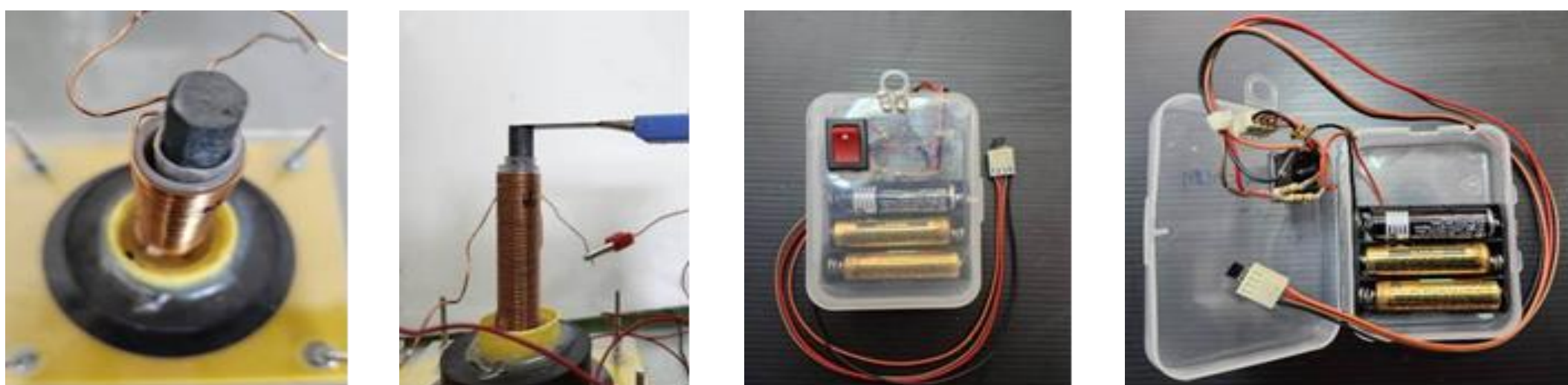
- 訊號產生器輸出的頻率並不固定，實驗時必須取平均值。
- 鐵氧芯不可以用膠粘住，必須是活動的。
- 實驗有三個主要變數的調整比較吃力。我們結論是優先調整頻率，錯誤的頻率達不到共振要求。出現振動，再調整電壓，最後才是電流。
- 我們發現電壓在20~22V上下、電流在0.8~2.0A間氣化效果不錯。
- 在一定線圈圈數下，都能讓鐵氧芯產生磁致伸縮效應，這效應應該只和鐵氧芯棒長度有關。多繞線圈只是增加線圈成本與浪費。
- 一支鐵氧芯，在相同的線圈數下，只會有一個最佳頻率。
- 只要頻率偏離一些，都看不到氣化現象。
- 鐵氧芯長度不足太短時是無法出現氣化。
- 鐵氧芯要適度地露出一定高度，必要的墊高有需要。不過，棒真的太短時墊高也沒有用。
- 鐵氧芯棒長度在8~14cm間，有最佳氣化頻率。
- 鐵氧芯太長、太短都不能產生振動出現氣化。
- 鐵氧芯在最佳氣化頻率時，非常容易震斷，一震斷馬上失去氣化的能力。
- 棒長L與頻率f有關。棒長L跟它的最佳頻率f作圖，它們互為倒數成反比，乘積是一個常數。
- 除了棒徑10mm外，其他粗的鐵氧芯都沒有出現氣化。
- ψ7mm是最細的鐵氧芯一上實驗馬上被震斷。
- 底部的磁鐵不用很多，1~2塊就可以，太多只是增加重量和成本。

伍、討 論

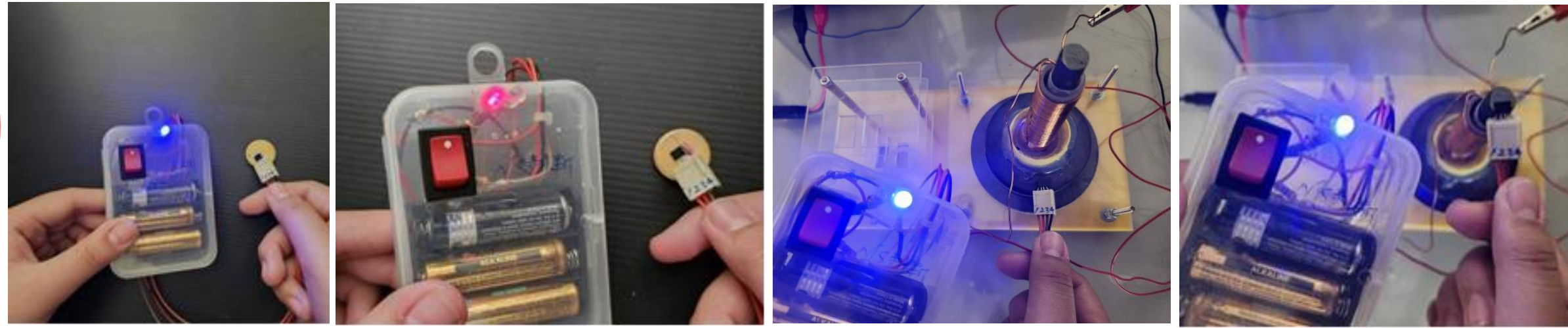
1.鐵氧芯的變化

鐵氧芯本身沒有磁性。一放到有磁鐵底座的線圈當中，在沒通電下棒子上端馬上出現磁性大力吸住刀片，此時線圈是沒有通電的。

這鐵氧芯的磁性是受到來自底部磁鐵的磁化。

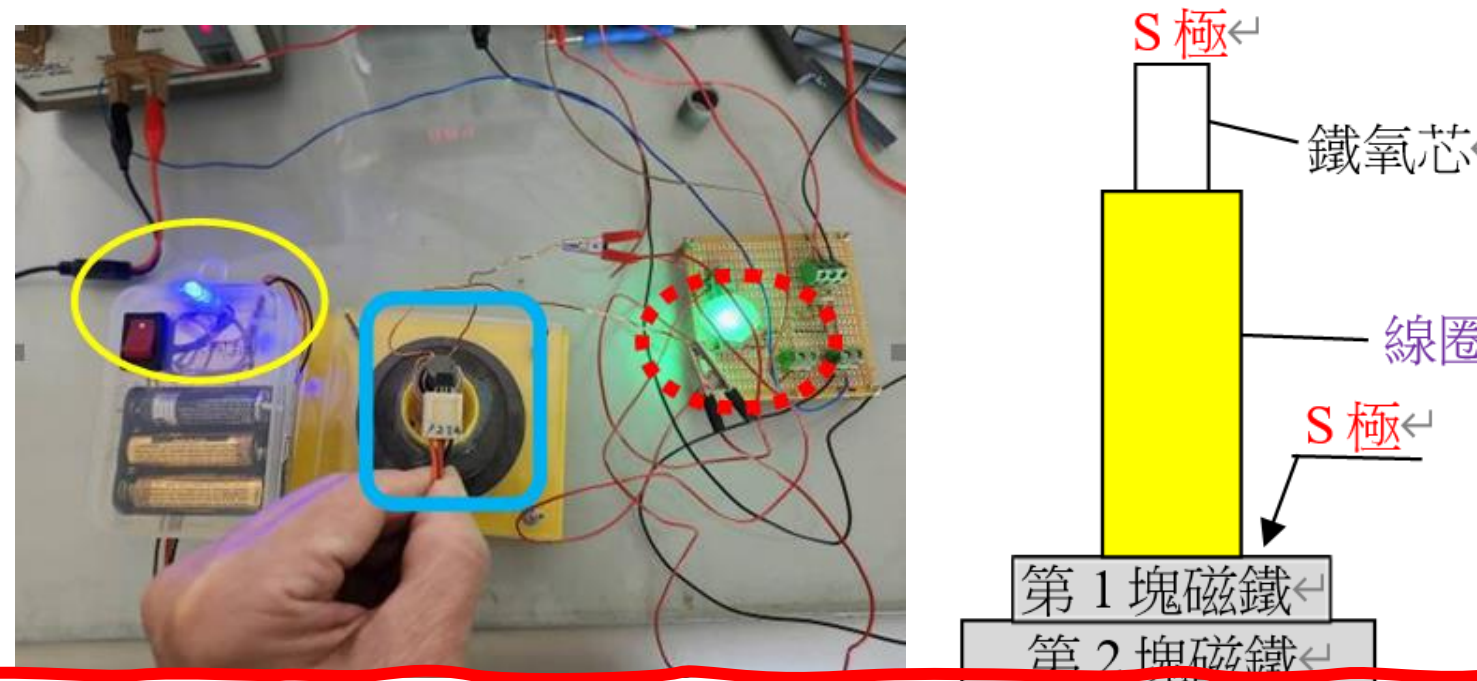


圖A:放入鐵氧芯馬上出現磁性吸住刀片。自製磁極偵測器[1]。



圖B(左2):磁極偵測器接近N極LED亮紅燈，接近S極LED亮藍燈。[1] (右2):偵測器靠近底部第1塊磁鐵上端是S極，鐵氧芯上端一樣是S極。

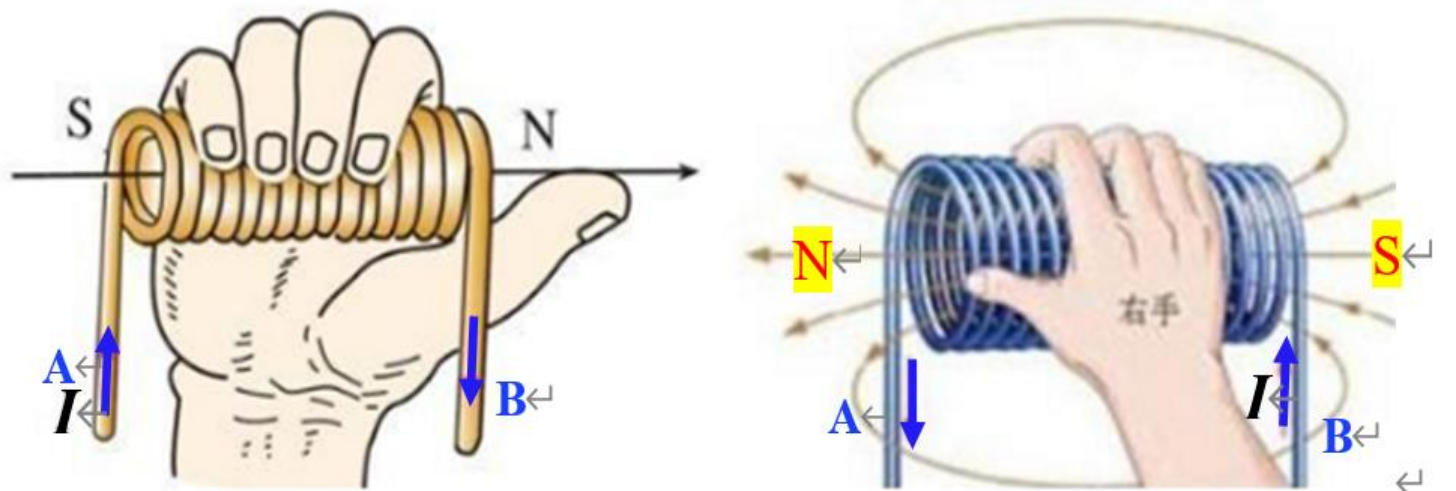
一旦通入高頻電流，這磁性仍然存在，但是鐵氧芯磁極快速變化對刀片快速吸放、振動發出聲音。此時以磁極偵測器測量，通電時雖然有交流訊號正負快速變化，可是磁性仍然是跟沒有通電時一致，都是S極。這是一個有趣的現象！



圖D:左很明顯在有交流訊號下(通電下)，鐵氧芯棒頂部磁極是S極。圖右說明鐵氧芯頂部的磁極跟底部磁鐵頂部的磁極，它們互相影響是同極的。這磁極不會受到中間線圈交流訊號快速變化的影響。[1、3]

2.最佳頻率

線圈的NS極跟電流流入的方向有關係，交流信號(電)它會一下往A進入、一下往B進入，造成它的NS極會快速變化。當變化達到鐵氧芯的頻率時就出現磁致伸縮的現象。



圖E:當電流I由A進入，N極出現在線圈右方(圖左)；當電流由B進入，N極出現在線圈左方(圖右)。改自[15]

一旦鐵氧芯發生磁致伸縮讓水滴氣化時，這頻率就是棒子伸縮最佳的頻率，產生共振。

所以不可以將鐵氧芯綁死，保持彈性方便它伸縮。這也說明它材料的特性很硬才會伸縮、不過又很脆，共振下鐵氧芯最容易震斷！

3.聲音傳播的速度

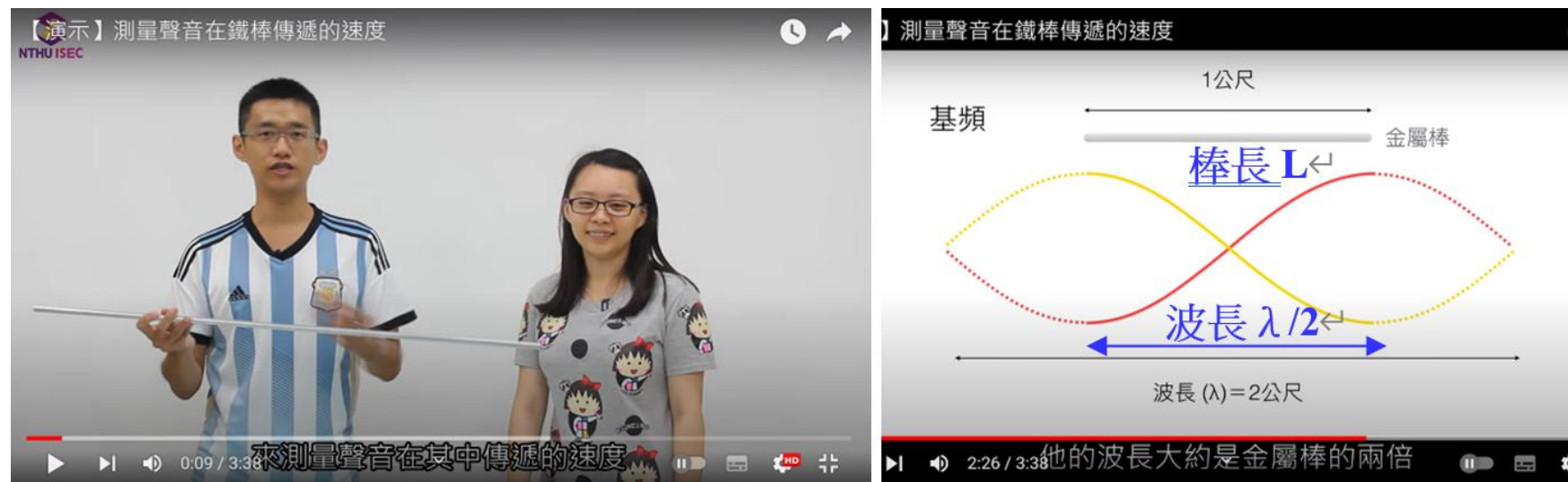
這伸縮就像一個波在長度L的鐵氧芯中來回快速的傳播，以每秒f的次數來回，這f就是我們說的最佳頻率。

參考清大戴明鳳教授在「測量聲音在鐵棒傳遞的速度」[16]影片中的方法可以得到鐵氧芯的速度V：

- 1.速度V=頻率f·波長λ
- 2.棒長L和波長λ有這樣關係：L=λ/2 [見F圖右] ∴λ=2L ∴V=2·f·L

3.由前面實驗得到 f=288.31L<sup>-1.009</sup> · R<sup>2</sup>=0.9995 改一下方程式 ∴f·L=288.31KHzcm ← 以此關係估計不同長度鐵氧芯的頻率

由V=2·f·L=2·288.31m/s=5766.2 m/s 這是在鐵氧芯中聲音傳播的速度(聲速)。



圖F:戴明鳳教授在「測量聲音在鐵棒傳遞的速度」[16]。

同一種材料只有一種傳播速度，這速度就是該材料特有的聲速。估狗鐵氧芯可能的聲速，如下表。我們實驗(錳鋅)鐵氧芯的聲速是5766m/s。推論我們的數據應該非常接近它真正的聲速，因為R平方是0.9995。

表一：幾種鐵質材料的聲速值

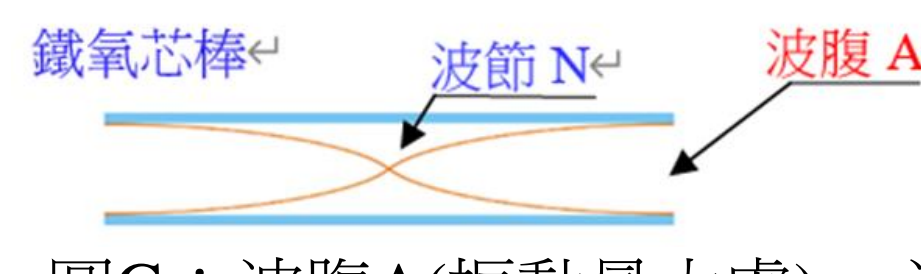
材質	聲速m/s	材質	聲速m/s
鐵(軟)	5960	鑄鐵(硬質)	5600
鑄鐵	4990	鑄鐵(軟質)	3500
氧化鐵(磁鐵礦)	5890	錳鋅鐵氧體	4709

表二：不同長度鐵氧芯頻率預估值與實驗值誤差

編號	長度cm	實驗頻率	預估頻率1	誤差1	預估頻率2	誤差2
1	5(4.7)	62.16	59.57	4.35	61.28	1.44
2	6	47.06	46.67	0.84	48.00	1.96
3	7	40.67	40.00	1.68	41.14	1.15
4	8(7.7)	36.36	36.54	0.49	37.40	2.79
5	10	28.48	28.00	1.71	28.80	1.11
6	12	24.05	23.33	3.09	24.00	0.21
7	14(13.8)	20.20	20.29	0.44	20.87	3.21
8	16	18.20	17.50	4.00	18.00	1.11

4.為什麼鐵氧芯棒會被震斷！

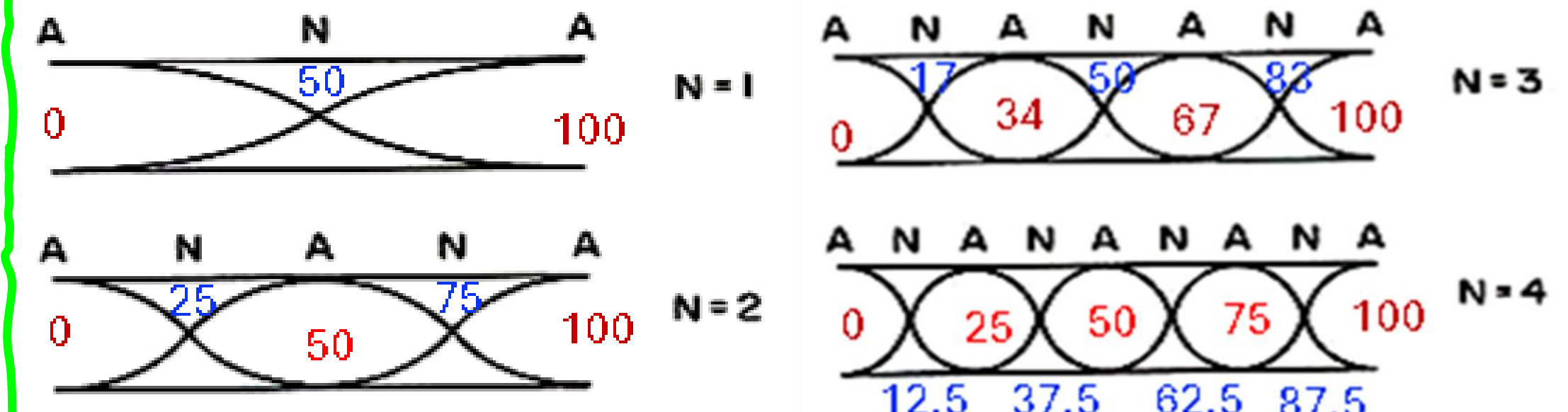
我們有種感覺，棒子斷掉的地方應該不是很隨意的，我們把斷掉的長度和棒長相除，發現常常出現在1/4或1/2處，結果發現1/4處有3組、1/2處有4組、斷在35%處有2組。這不應該是偶然，很明顯不是隨機發生，而是有某種意義的！



圖G:波腹A(振動最大處)、波節N(振動最小處)[改自16、1]



圖H:上邊兩圖是長度15.6cm鐵氧芯震斷成5節，它是唯一一個被震成這麼多節。幾乎所有斷面都非常平整如右圖。[1]



圖I:波腹A以紅色數字%表示位置、波節N以藍色數字%表示[改自19]。

表三：不同N值下，波腹A與波節N在一棒長L位置的百分比%

N值	波腹A	波節N	波腹A
1	0 100	50	
2	0 100	25 75	
3	0 100	17 50 83	
4	0 100	12.5 37.5 62.5 87.5	
5	0 100	10 20 30 40 50 60 70 80 90	
6	0 100	8.3 16.7 25 33 41.6 50 58.3 66.7 75 83.3 91.6	

表四：10支震斷的鐵氧芯數據分析

組別	棒長cm	棒徑mm	斷裂長cm	比例%	滿足N數
1	11.8	10	3	25.4	4
2	11.6	10	5.7	49.1	2
3	13.3	10	3.1	23.3	4
4	13	7	0.5	3.8	1
5	16	10	5.6	35.0	3
6	13.5	7	7	51.9	2
7	13.8	10	7	50.7	2
8	20	10	9	45.0	2
9	13.6	10	4.9	36.0	3
10	15.9	10	0.8/1.4/7.9/11.8	4.9/8.6/49/73	1/6/2/4

從10支斷裂的鐵氧芯分析，很高的比例發生在波腹上，在25%處有3組、35%處有2組、50%處有5組。

5.方波是不是也可以將水氣化？

可以，不過我們發現正弦波、方波彼此的最佳頻率沒辦法相互用，兩者之間仍存在極微小的頻率差。



圖J:示波器讀到方波波型[1]

表五：正弦波、方波頻率值分析

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均頻率
正弦波頻率	28.62	28.53	28.44	28.56	28.66	28.62	28.56	28.50	28.56
方波頻率	28.59	28.53	28.50	28.56	28.44	28.40	28.59	28.50	28.51

6.線圈上的頻率...

我們發現線圈的頻率幾乎和訊號產生器一致，可是波型卻是大不相同、有點奇異如圖K，並不是波浪型的正弦波圖形。

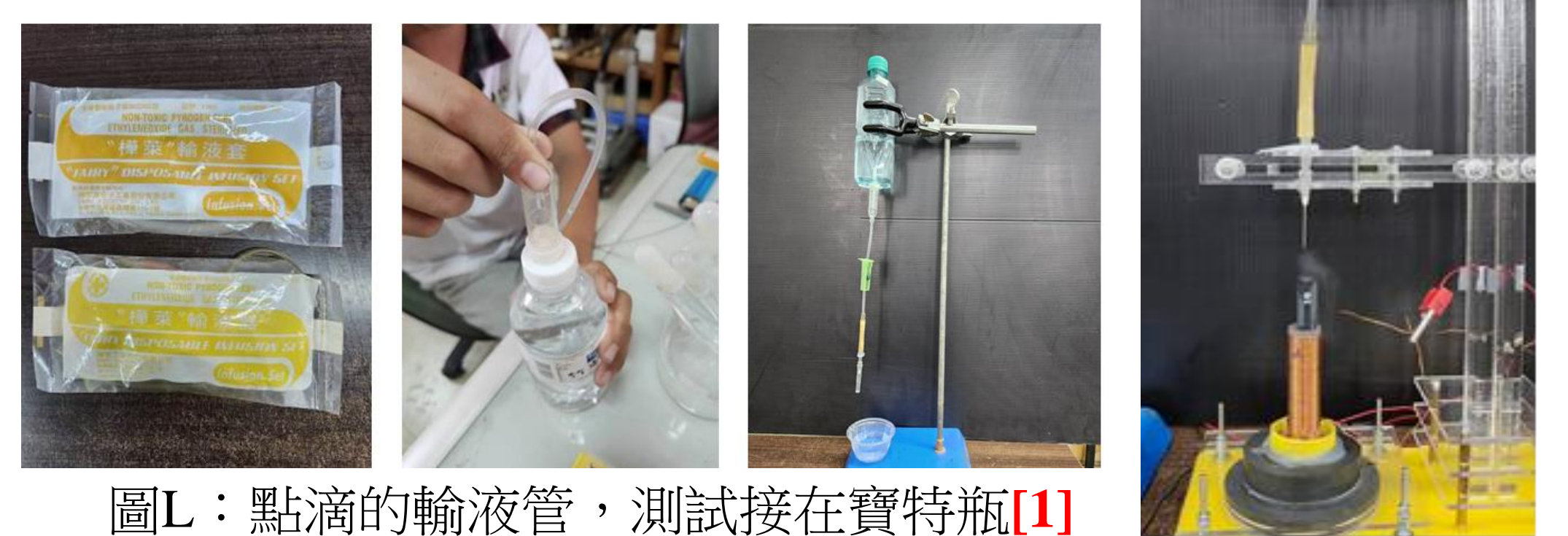


圖K:線圈上的頻率與波型[1]

表七：訊號產生器與線圈的頻率值分析

實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	8	平均頻率
訊號產生器頻率	28.62	28.53	28.44	28.56	28.66	28.62	28.56	28.50	28.56
線圈頻率	28.53	28.52	28.55	28.56	28.56	28.56	28.50	28.60	28.55

7.自動滴水裝置



圖L:點滴的輸液管，測試接在寶特瓶[1]

陸、結 論

輕量化

我們實驗器材都相當有重量，使用、搬運都相當不容易，那可不可以輕量化？應該是可以，我們實驗用到主要的電路都不難。這實驗一旦輕量化就能實用化！最大的受益應該是成為自然老師教學上最吸睛的神物至寶，教學現場演示氣化霧化水滴、鐵珠彈跳，演示神奇。



圖N:小型訊號產生器[1]

柒、參考文獻(節錄)

- 1.照片指導老師1拍攝。
- 2.照片指導老師2拍攝。 其他詳見作品說明書！
- 3.圖片出自作者。