

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：不要安於線狀！探討不同感應線圈之形狀在特斯拉線圈周圍功率之分佈

一、摘要

本研究以特斯拉線圈之電磁感應為主題，透過市售特斯拉線圈、自製螺線管、數位示波器進行感應實驗，探討在不同管長、管徑、匝數層數下所感應出的最大感應電壓，並利用歐姆定律 $V=IR$ 和功率公式 $P=V^2/R$ 推導出感應功率。

實驗中發現：因電流探棒使用電流磁效應進行測量，若與感應電壓同時使用，將會相互干擾交流訊號。所以我們使用電壓與測得的電阻與公式 $P=V^2/R$ ，直接推導出功率。經過數據分析之後，感應電壓會與距離成 0.7 次方反比遞減，而感應功率則與距離成 1~1.5 次方反比，而且在全部我們所選取參數的螺線管樣本中，他們產生電磁感應的物理量隨距離遞減的趨勢都符合上述的數學關係。

而對於不同螺線管變因，我們發現管長小、管徑細、匝數層數少的感應線圈能在相同距離、高度下達到最大的電磁感應功率，同時結果也告訴我們能用更小的經濟成本獲得足量的能量，在未來進行應用。

此外，我們也利用整流器將感應交流訊號轉換為直流電，接上電線並成使小夜燈發亮。

二、探究題目與動機

近年來，無線充電成為科技業兵家必爭之領域，其中，使用到法拉第的電磁感應定律：電流通過充電板的線圈，與手機的線圈進行諧振，並且以互感的方式將能量傳遞，完成手機的充電。但是我們不禁好奇，手機接受電感的好壞程度與其裝置線圈的參數有無關係？又充電時必須將手機平放在充電板上，而在不同的距離下，感應充電的功率是否有特殊關係？那我們是否也可能透過高壓的變壓器 - 特斯拉線圈在同樣情況下來提升無線充電效率？

三、探究目的與假設

目的：

- (一)、探討裝置線圈與特斯拉線圈之距離與感應電壓之關係
- (二)、探討裝置線圈的形狀與功率之關係
- (三)、尋找充電效率較高的螺線管參數

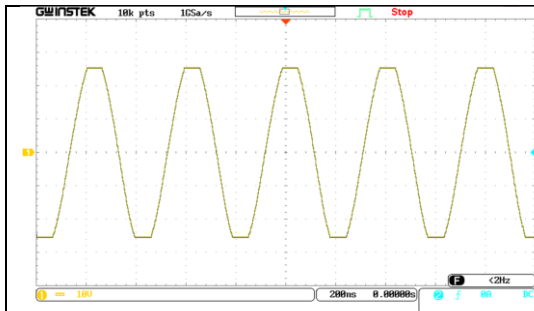
假設：

- (一)、將感應線圈的交流訊號輸入示波器，會是同相的電壓、電流正弦波
- (二)、計算符合歐姆定律，功率可直接使用 $P=V^2/R$ 推得
- (三)、距離與功率會與感應電壓成比例衰減
- (四)、以感應線圈管長與截面積為變因，探討管長與感應電壓、功率關係，並預測會成次方比例衰減

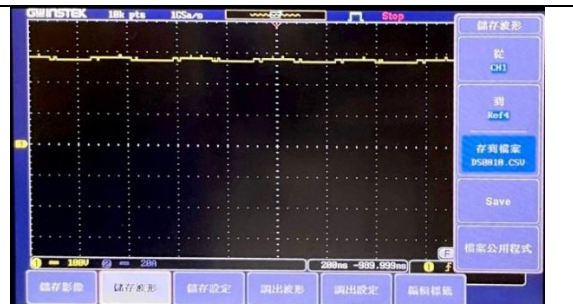
四、探究方法與驗證步驟

(一)、組裝電路

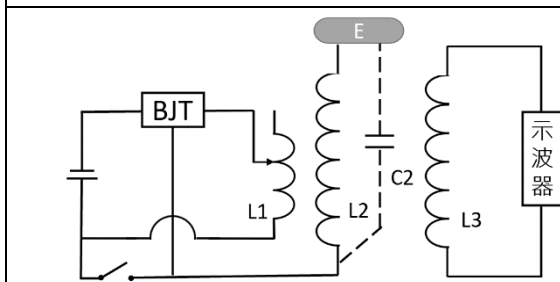
為了探討感應線圈的情形，我們購買了市售的特斯拉線圈，這是由於使用自製特斯拉線圈時電阻以及電晶體常發生燒毀的情形，且在電晶體過熱時會導致其效果不一致。我們的目標是要成功使手機能夠透過特斯拉線圈充電，而我們將感應線圈的兩端連接到示波器後發現其為交流電，如(圖一)所示，但充電線所需要的電為直流電。詢問老師後得知可以利用整流器將交流電轉為直流電，再將整流器連接到拆開的充電器，便能充電。而(圖三)則為我們實驗裝置的等效電路圖。



(圖一)感應線圈波型



(圖二)整流後波型



(圖三)等效電路



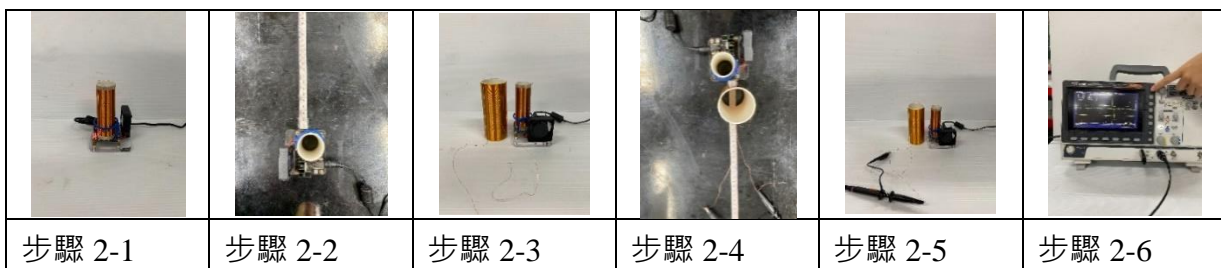
(圖五)裝置外觀

(二)、探討感應線圈的位置如何影響整流前的感應電壓/電流

1. 步驟

步驟 2-1	連接特斯拉線圈之電路
步驟 2-2	固定捲尺於桌面
步驟 2-3	更換不同參數螺線管靠近感應
步驟 2-4	以 0.5 公分為單位向後移動
步驟 2-5	連接兩端至衰減探棒並接入示波器
步驟 2-6	截下波形後存入 USB 並分析

2. 圖例說明



步驟 2-1

步驟 2-2

步驟 2-3

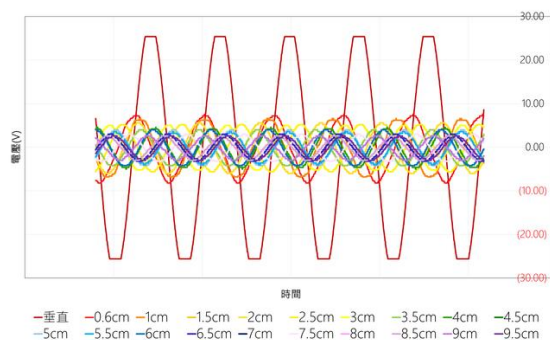
步驟 2-4

步驟 2-5

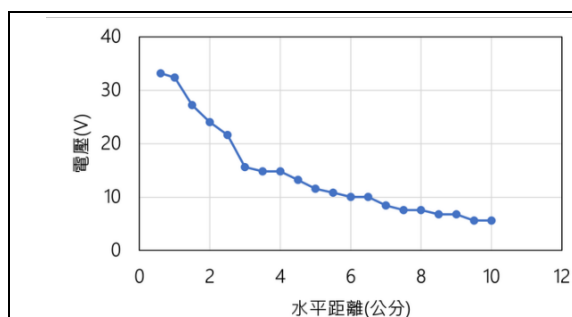
步驟 2-6

3.結論

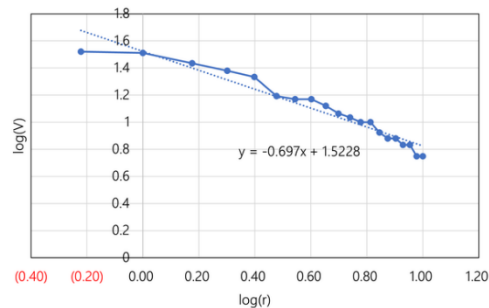
此部分會分成兩段討論。首先是至於上方及側邊的比較，再來是至於側邊的遞減情形。由右圖可以得知：感應線圈置於特斯拉線圈上方時的感應電壓會遠大於放在側邊。我們推測這是因為將線圈放置在特斯拉線圈上方時所通過的磁力線會比置在旁邊還要多，而將感應線圈的距離沿著水平距離遠離特斯拉線圈時通過的磁力線也會越來越少，導致感應電壓迅速遞減。因此，在之後的實驗都會把感應線圈放在特斯拉線圈上方。而以 10/6/1(管長 10 公分、管徑 6 公分、匝數密度 1)的感應線圈為例，由圖六可以得知感應線圈放在特斯拉線圈的側邊時感應電壓會以 0.7 次方反比的趨勢遞減。



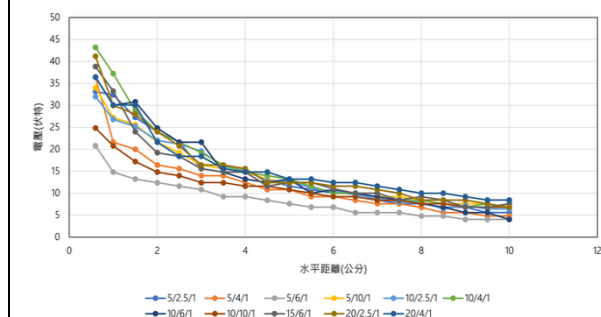
*參數表示方式：5/2.5/1=管長 5 公分、管長 10 公分、匝數層數 1 層



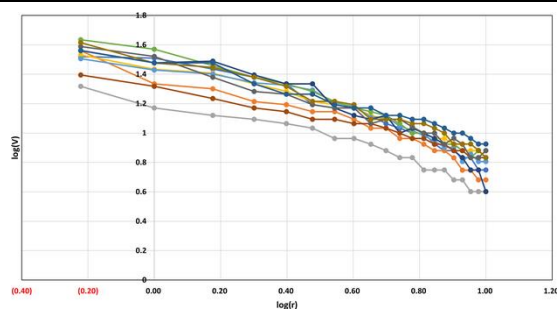
(圖五) 5/2.5/1 感應電壓峰值與距離之遞減關係



(圖六) 5/2.5/1 感應電壓峰值與距離遞減對數關係



(圖七) 各參數感應電壓峰值與距離遞減關係



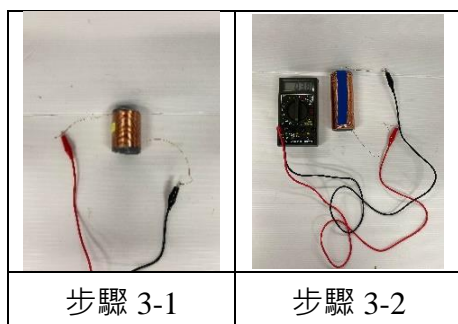
(圖八) 各參數感應電壓峰值與距離遞減對數關係

(三)、測量各個線圈的電阻

1.步驟

步驟 3-1	將線圈接上鱷魚夾並連接三用電表
步驟 3-2	將三用電表轉至電阻測量
步驟 3-3	更換不同參數並記錄

2.圖例說明



【表】 電阻隨線圈形狀的關係

(Ω)	2.5 cm	4 cm	6 cm	10 cm
5 cm	2.3	2.9	3.3	4.2
10 cm	3.1	3.9	4.8	6.8
20 cm	3.2	5.9	7.5	X

3.結論

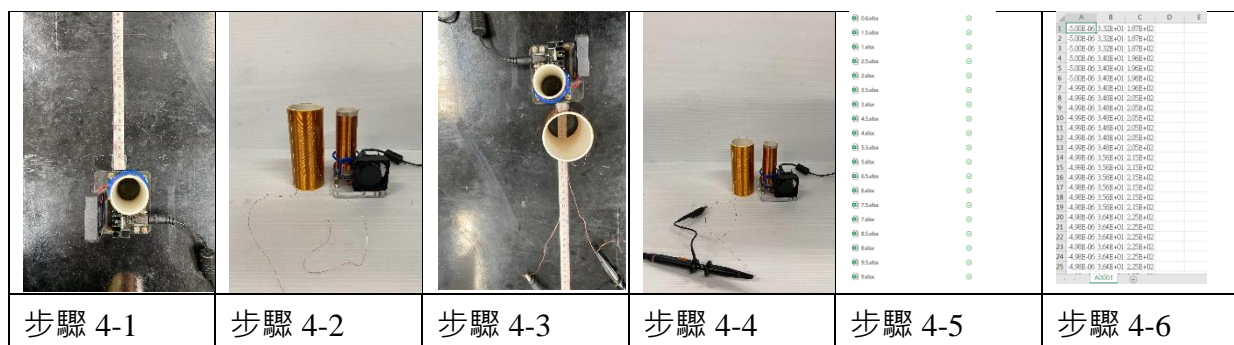
我們在中學所做的題型中通常都會將電線視為沒有電阻，這是因為電線通常只是為了導通線路，所以電線長度短可以視為沒有電阻。但在我們實驗的螺線管所使用到的電線很長，為了探討螺線管的真實情況，以及測量感應線圈的功率，在求得各個感應線圈的感應電壓後，我們決定藉由三用電表測量各個線圈的電阻。由於製作 20/10/1 型螺線管所需要的材料較多，其經濟效益過高，因此選擇不製作。可以發現，所使用的電線越長時，電阻越大，與理論相符。

(四)、計算感應線圈的功率

1.步驟

步驟 4-1	固定捲尺於桌面
步驟 4-2	將螺線管緊貼市售線圈進行感應
步驟 4-3	以 0.5 公分為單位向後移動
步驟 4-4	連接兩端至衰減探棒並接入示波器
步驟 4-5	將每個距離的感應電壓分別紀錄
步驟 4-6	利用 Excel 公式求得功率並比較

2.圖例說明



3.數據整理

【表】各個參數的最大功率

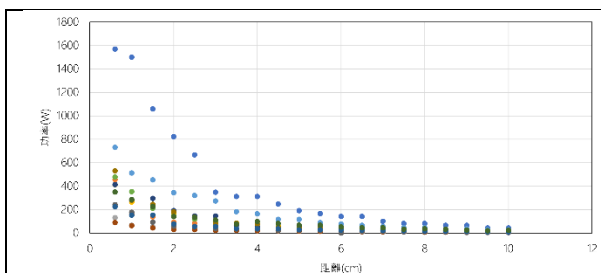
最大功率(瓦特)	管長 5		管長 10		管長 20	
管徑 2.5	1 匝	1570.00	1 匝	731.43	1 匝	530.00
	2 匝	70.00	2 匝	100.61	2 匝	X
	3 匝	27.78	3 匝	16.28	3 匝	X
管徑 4	1 匝	457.00	1 匝	478.52	1 匝	225.00
	2 匝	8.25	2 匝	X	2 匝	X
	3 匝	0.51	3 匝	X	3 匝	X
管徑 6	1 匝	131.10	1 匝	414.05	1 匝	350.00
	2 匝	X	2 匝	X	2 匝	X
	3 匝	X	3 匝	X	3 匝	X
管徑 10	1 匝	413.00	1 匝	90.45	經濟成本過高，未做	
	2 匝	X	2 匝	X		
	3 匝	X	3 匝	X		

4.討論

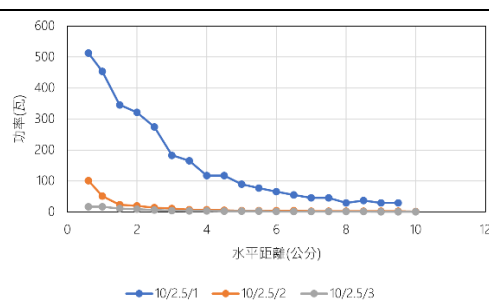
得到感應線圈的感應電壓以及感應電流後我們便能計算出感應線圈的功率。感應電壓以及感應電流理當遵守歐姆定律，也就是說可以利用 $P=V^2/R$ 來計算出功率。由上面的數據可以發現，當管徑越大時功率越小，且在管長越長時也有同樣的情況。我們推測這是由於接收磁力線的多寡所導致的。管長較長時，感應線圈的長度導致磁力線沒有辦法完整的通過去，又我們知道磁力線會隨著距離的遞減越變越稀疏，因此在管徑越大時，線圈沒有辦法接收到比較多的磁力線。再來，線圈的電阻也會影響功率，當使用的線材越多時電阻會越大。基於以上兩點，當線圈的形狀越大時，電壓下降，電阻上升，導致感應線圈的功率降低。

值得一提的是，我們也好奇當匝數層數增加時，功率是否也會有疊加的效果。然而，實驗發現，當匝數層數提升到 2 以上時，感應功率急遽下降，如(圖十)所示。此結果與法拉第公式 $\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}$ 有很明顯的不同，值得再進一步探討。

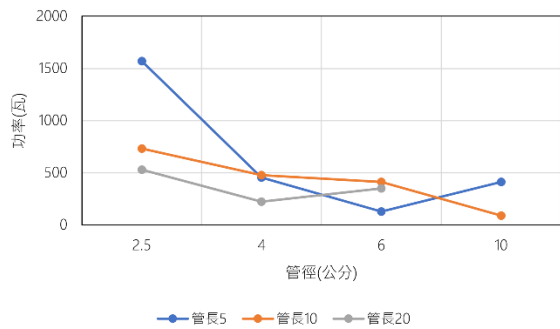
*參數表示方式：5/2.5/1=管長 5 公分、管長 10 公分、匝數層數 1 層



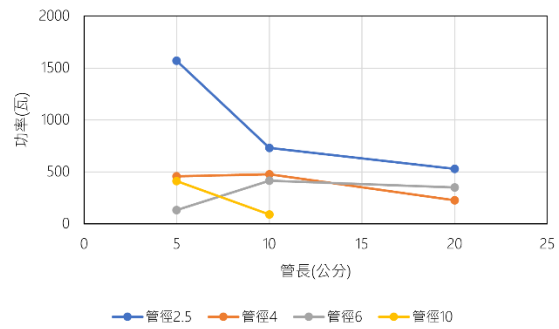
(圖九)各參數與水平距離之感應功率散佈圖



(圖十)10/2.5/x 的最大感應功率



(圖十一)不同管長下垂直感應功率大小



(圖十二)不同管徑下垂直感應功率大小

五、結論與生活應用

(一)、結論

1. 感應線圈置於特斯拉線圈上方時的感應電壓會大於放在側邊。
2. 感應線圈與特斯拉線圈之水平距離與感應電壓之變化隨距離呈 0.7 次方反比遞減。
3. 當感應線圈的管徑愈小時，功率愈大；管長愈短，功率愈大

(二)生活應用

就實驗數據，我們可得知每一個感應線圈的功率。使用整流器將其輸出之交流電轉為直流電，對比市售手機、平板等可運用充電器充電者，找出其充電功率，配合感應線圈即可進行無線充電。而本實驗也成功使小夜燈以及手機充電，如(圖十三)所示，證實了我們自製裝置以及實驗的可行性。



(圖十三)小夜燈發光

參考資料

1. 無線傳電「遠」又「多」—利用特斯拉線圈自製無線傳電系統，第 58 屆中小學科展
2. 佚名，被世界遺忘的天才-特斯拉回憶錄，北京法律出版社
3. 無線充電技術，科學發展期刊，540 期
4. Wireless Power with a DIY Tesla Coil
<https://www.designnews.com/gadget-freak/wireless-power-diy-tesla-coil>
5. Nikola Tesla and his work in wireless energy and power transfer
<https://sites.suffolk.edu/xenia/2016/02/17/nikola-tesla-and-his-work-in-wireless-energy-and-power-transfer/>
6. 交流電功率
https://www.sphs.hc.edu.tw/ischool/public/resource_view/open.php?file=30a8cc695099ac37b5c8bb3e265db957.pdf