

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030111

磁對電磁波的糾纏

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國一 陳俞叡	指導老師： 黃吉楠 林虹均
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：電磁波、磁場

摘要

本次實驗專注於探討是否可以藉由**改變磁場來阻隔電磁波**。

結果發現，(1)加入磁鐵後，於特定磁極排列下，能影響電磁波的傳遞。(2)磁場為水平垂直於發射源，且磁極為 N 左 S 右的右向磁場時，具有較佳的阻隔率。(3)磁鐵和電磁波發射源位於同樣水平面上，具有較佳的阻隔率。(4)將磁鐵吸附於金屬網狀物上，比僅使用金屬網狀物來屏蔽電磁波的效果更好。且磁鐵分布越密集，對電磁波的阻隔率越高。(5)證實電磁波會因為外加磁場產生方向改變。

壹、前言

一、研究動機

微波爐是很常見的家用電器，但是常聽到許多人擔心微波外洩的問題，尤其在我們觀察到在使用微波爐烹調時，是可以透過金屬門片的孔洞看到裡面的食物正在旋轉，這樣讓人懷疑，具有孔洞的結構真的不會讓微波外洩嗎？所以曾經做過研究，得到金屬屏蔽電磁波的一些實驗心得，也學習到電磁波相關知識。

這一年，陸續閱讀一些科學書籍，看到科教館網站「生活科學廳」的文章--科學研習月刊 40-7 這篇「一波未平一波又起談電磁波」，想到電場和磁場是糾纏在一起產生電磁波的，也再引發我的好奇，想看看磁場的改變，也會不會也使得電磁波轉向或抵銷呢？如果再加成上金屬屏蔽結構，會不會有更好的屏蔽效果呢？因此，開啟了這一系列的延續研究。

二、研究目的

- (一) 探討不同磁鐵形狀以及不同磁場方向時，對電磁波傳遞的影響。
- (二) 探討磁鐵擺放的相對位置對電磁波傳遞的影響
- (三) 探討不同強度磁鐵對電磁波前進的影響
- (四) 探討同時具有金屬屏蔽並加上磁鐵時，對電磁波前進的影響
- (五) 探討數個圓形磁鐵不同排列形成多向磁場時，對電磁波傳遞的影響
- (六) 探討不同磁鐵間距對電磁波傳遞的影響
- (七) 探討電磁波的偏振影響

三、文獻回顧

(一) 探索歷程

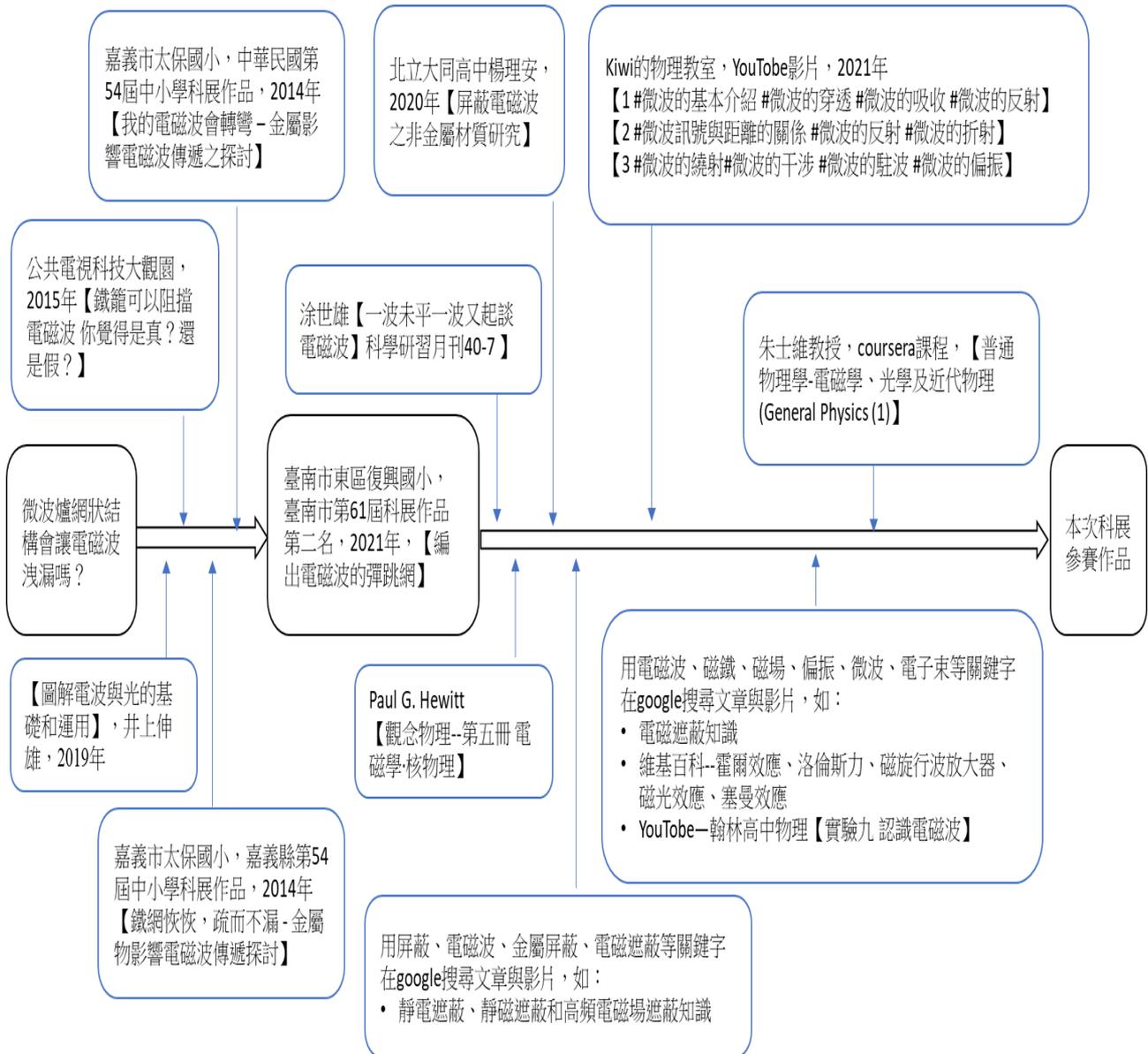


圖 1-3-1 探索歷程圖

(二) 回顧說明

這一兩年來所做的文獻回顧發現，多數關於電磁波的科展研究多為對生物的影響、找出能屏蔽電磁波的物質材料、或探討金屬物對電磁波屏蔽的影響為主，例如2014年嘉義市太保國小的第53屆科展作品【金屬影響電磁波傳遞之探討】、2021臺南市復興國小第61屆科展作品【編出電磁波的彈跳網】與數篇高中研究成果等。而關於磁場磁性的科展研究多聚焦在磁流體、磁浮線圈、或對電解離子的影響等。

探索初期，的確觀察到某些條件下、磁場大小以及方向變化是會對電磁波傳遞產生影響，但是想了解造成影響的機制與原因，卻無法在背景文獻中找到清晰的說明，只能再於高中/大學更進階的基礎物理學中，去了解關於電磁學、微波特性、磁效應及光學等理論，試著透過磁對光可能產生的影響、以及跟師長的討論建議，設計多樣可能的實驗來觀察結果，進而產生本次作品的結論。

比如 Kiwi 物理教室影片所提及實驗機制和本次作品類似，特別這部分再去研讀相關對於微波偏振、穿透、干涉等原理，Coursera 的課程影片提到電磁波受電場影響大於磁場很多，以及相關知識書籍提到電磁波可能會一直前進、反射折射、磁光效應等觀念，才把原本類似金屬屏蔽的研究想法轉向偏振，這樣的可能性也得到了證實。

四、研究架構圖：

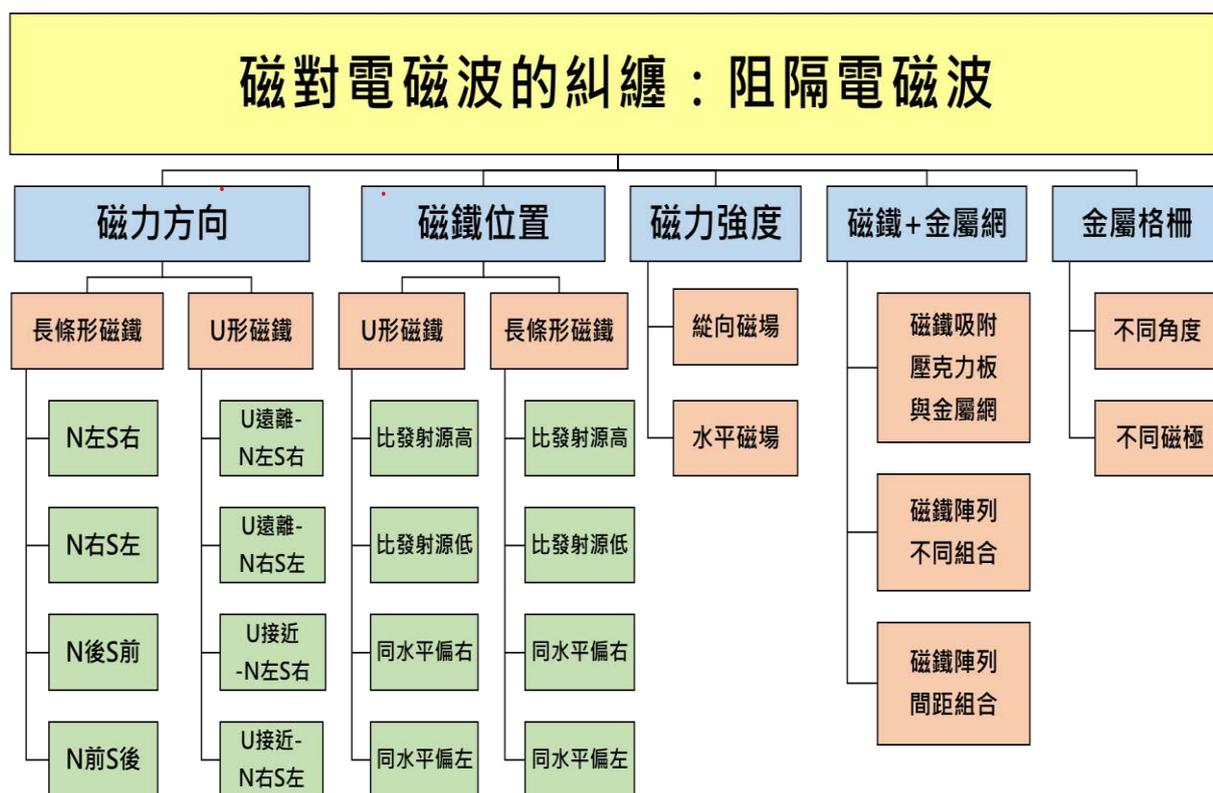


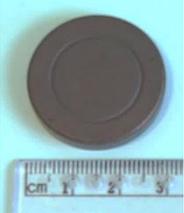
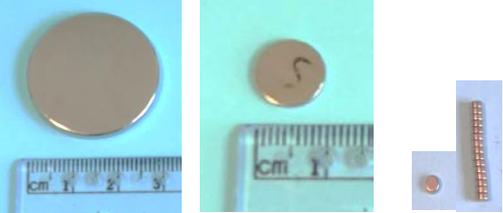
圖 1-4-1 研究架構圖

貳、研究設備及器材

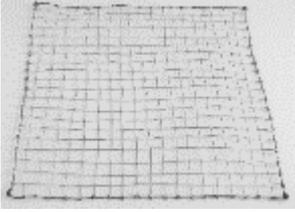
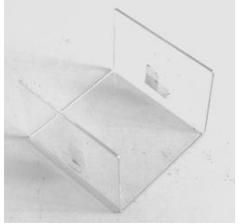
- 一、 本實驗儀器以「玩具車遙控器」作為電磁波產生來源，並以「高頻量測儀」量測來進行電磁波量測。

說明	玩具車遙控器 頻率：2.4GHz 波長：0.125 m	TES 泰仕高頻電磁波量測儀(TES92) 可量測 50MHz 至 3.5GHz 頻率範圍
照片		

- 二、 本實驗利用多種磁鐵作為磁場來源

說明	長形磁鐵	馬蹄形磁鐵	一般磁鐵	強力磁鐵
照片	紅色為 N 極 藍色為 S 極 	紅色為 N 極 藍色為 S 極 	30 mm*5 mm 	30 mm*3 mm、10 mm*1 mm、2 mm*1 

- 三、 金屬屏蔽裝置與其他實驗材料

說明	鐵絲網 (邊長 30 cm，花藝鐵絲#20 作外框，內部以#22 編織成網狀)	鐵絲 (花藝鐵絲#22)	
照片			
說明	金屬隔絕罩(排油煙機用的， 兩段式U形排氣管罩子)	壓克力板(厚度 2 mm)	U形壓克力架
照片			

- 四、 其他：本實驗並利用手機 app 軟體〔phyphox〕量測不同條件下的磁場值。

參、研究過程或方法

一、實驗設計

(一) 操作變項：不同形狀的磁鐵；不同 N/S 磁極位置；磁鐵位於不同位置；不同磁場強度；磁鐵再加上金屬導體；不同磁鐵排列方式；不同磁鐵間距；不同偏振角度。

(二) 結果變項：利用高頻量測儀量測各實驗條件下，所讀取到的**電磁波功率密度值** (單位為 mW/m^2)。

二、設計電磁波屏蔽效果的量測裝置與觀測方法

(一) 各設備配置位置如下：

- 俯視示意圖：

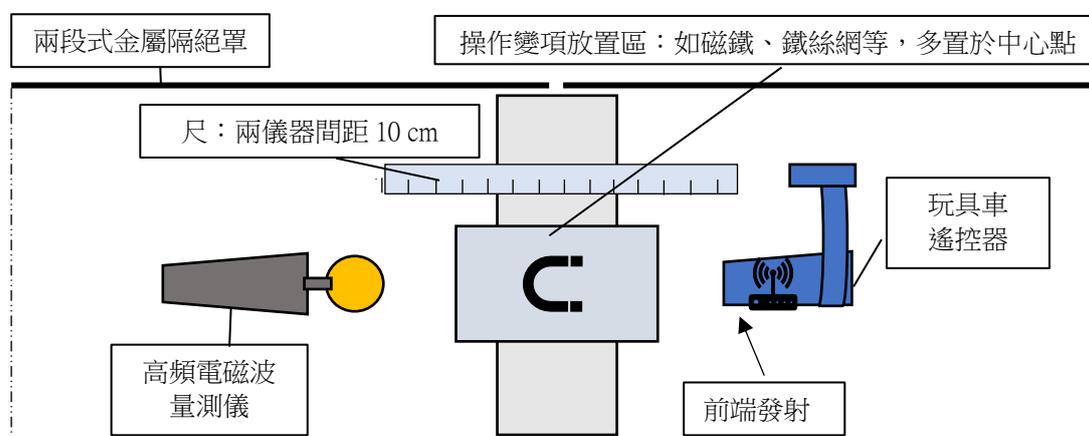


圖 3-2-1 俯視圖示

- 實際照片圖：

由玩具車遙控器這端的開口往內望，兩段金屬隔離罩中間夾著吸附著磁鐵的壓克力板。

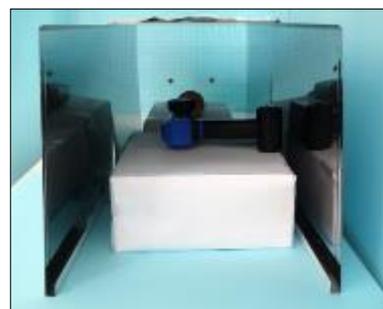


圖 3-2-2 實際照片圖

(二) 控制變項 A：為減輕環境電磁波的干擾影響，使用一金屬隔絕罩罩住實驗器材設備，兩段金屬隔絕罩之前的縫隙並以鋁箔包覆，用以隔絕多數來自非電磁波發射方向的環境電磁波。

(三) 控制變項 B：依據之前的實驗經驗得知，在距離電磁波發射源 10 cm 的位置時，能量測到較大的電磁波數值，因此將本次研究的電磁波發射源與電磁波量測儀的間隔距離訂為 10 cm。

(四) 控制變項 C：電磁波量測方式

1. 先把電磁波測量儀和玩具車遙控器以間隔 10 cm 的距離擺好。
2. 將電磁波量測儀開啟，設定接受前端電磁波來源的模式(本實驗設備為 z 方向)，每次測試都確定環境電磁波降到最低後、啟動量測儀的最大值(Max)模式。
3. 按下電磁波發射源的按鈕，計時 10 秒。
4. 將測得數據記下來，測 5 次，刪去最大值與最小值後，取剩餘三次計算電磁波強度平均值。

(五) 控制變項 D：以**電磁波阻隔率**來觀測影響效果，算法如下：

$$\text{電磁波阻隔率} = (\text{放置前電磁波強度} - \text{放置後電磁波強度}) / \text{放置前電磁波強度} * 100\%$$

當電磁波阻隔率數值越大，我們認為阻隔電磁波效果越佳。

(六) 磁鐵磁場強度量測方式；手機安裝〔phyphox〕 app 軟體，如圖 3-2-3 所示；保持該實驗條件下的磁場數量或排列，並使手機維持與該實驗中所需條件磁鐵約 5 cm 的距離，如圖 3-2-4；讀取手機畫面顯示之磁場值。每個實驗都會進行該條件磁鐵的磁場量測。

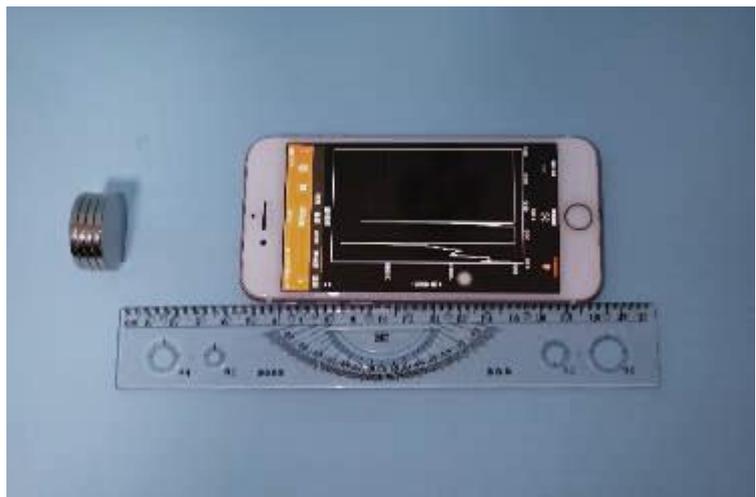
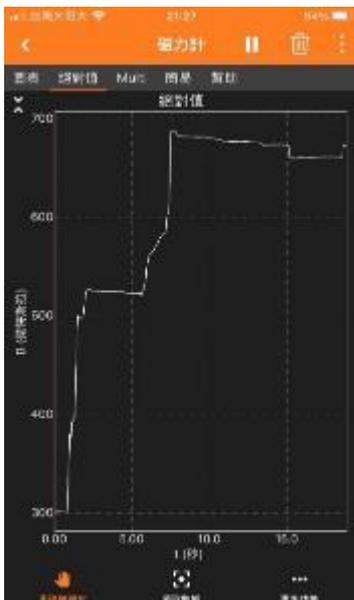


圖 3-2-3 量測磁場強度所使用的 app

圖 3-2-4 控制一樣的距離測量所需條件磁鐵的磁場強度

三、 實驗過程

(一) 實驗一：探討「不同 N/S 極方向的磁鐵」對電磁波阻隔率的影響

1. 實驗 1-1：改變「長條形磁鐵」的磁極位置

- (1) 擺放電磁波量測儀與玩具車遙控器，先量測此時的電磁波背景值。
- (2) 將長形磁鐵置於電磁波發射源與電磁波量測儀之間，使磁極狀態為「N 左 S 右」，如圖 3-3-1，進行電磁波值量測。  為電磁波發射源圖示。

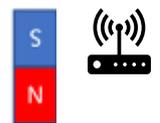
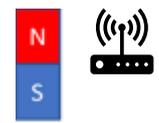


圖 3-3-1 左為偵測端 右為發射源

(本研究所提之方向皆以由電磁波發射源面對電磁波量測儀的方向來描述。)

- (3) 改變磁鐵的 N/S 極位置，如表 3-1 設定下，重複上述步驟(1)與(2)。

表 3-1 不同磁鐵放置位置示意圖

1. N 左 S 右	2. N 右 S 左	3. N 前 S 後	4. S 前 N 後
			

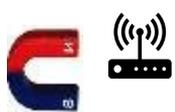
2. 實驗 1-2：改變「U 形磁鐵」的磁極位置

- (1) 將實驗 1-1 中的長條型磁鐵置換成 U 形磁鐵，如圖 3-3-2 所示。
- (2) 重複如實驗 1-1 的步驟(1)至步驟(4)，磁鐵位置擺放如表 3-2 中八種設定，分別量測記錄電磁波值。



圖 3-3-2

表 3-2 磁鐵位置設定

1. 連接端遠離 —N 右 S 左	2. 連接端遠離 —N 左 S 右	3. 連接端接近 —N 左 S 右	4. 連接端接近 —N 右 S 左
			
5. 連接端於右側 —S 前 N 後	6. 連接端於右側 —N 前 S 後	7. 連接端於左側 —S 前 N 後	8. 連接端於左側 —N 前 S 後
			

(二) 實驗二：探討「磁鐵擺放位置」對電磁波阻隔率的影響

1. 實驗 2-1：「長條形磁鐵的擺放位置」對電磁波阻隔率影響

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，並根據實驗一結果選擇「長條形磁鐵」的最佳設定「N 左 S 右」，置放於玩具車遙控器與電磁波量測儀之間。
- (2) 將磁鐵位置調高 10 cm，使其高於玩具車遙控器，進行電磁波值量測，記錄於實驗數據 2-1。
- (3) 重複上述步驟(1)與(2)，分別將磁鐵位置調低 10 cm、偏左 10 cm、偏右 10 cm，如圖 3-3-3，進行電磁波值量測，記錄於實驗數據 2-1。

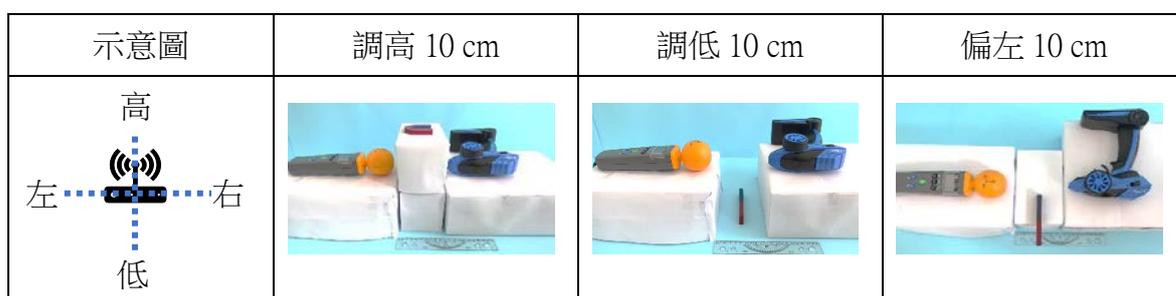


圖 3-3-3 磁鐵位置示意圖

2. 實驗 2-2：「U 形磁鐵的擺放位置」對電磁波阻隔率影響

- (1) 根據實驗一結果選擇「U 形磁鐵」的最佳情境--「連接端遠離—N 左 S 右」，重複如實驗 2-1 的步驟(1)與(2)，記錄電磁波值於實驗數據 2-2。



圖 3-3-4 裝置圖（偏右 10 cm）

(三) 實驗三：探討「不同強度磁鐵與磁場方向」對電磁波阻隔率的影響

1. 實驗 3-1：「磁鐵的縱向磁場」對電磁波阻隔率的的影響

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
- (2) 將 1 枚圓形一般磁鐵以「直立」、「縱向」及「N 前 S 後」的方式置於玩具車遙控器與電磁波量測儀之間，啟動儀器，量測記錄電磁波值。
- (3) 增加一般磁鐵數量，分別在 2、3、4、與 5 枚一般磁鐵條件下的電磁波值。
- (4) 將上述一般磁鐵置換成強力磁鐵，重複進行步驟(1)~(3)。



圖 3-3-5 裝置示意圖

2. 實驗 3-2：「磁鐵的橫向磁場」對電磁波阻隔率的影響

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
- (2) 將 U 形壓克力架倒置為 U 型，將 2 對磁鐵分別吸附於兩側面板上、保持外側磁極為「N 左 S 右」的方向，設定與遙控器同一水平面，如圖 3-8
- (3) 將兩側吸附磁鐵的倒 U 形架置於玩具車遙控器與電磁波量測儀之前，量測記錄電磁波值。
- (4) 增加倒 U 形架外側的磁鐵數，分別就兩側磁鐵總數為 2 枚、3 枚、4 枚與 5 枚的設定下，重複步驟 (2) 與 (3)。
- (5) 將兩側的磁極反轉，形成外側磁極為「S 左 N 右」的方向，重複步驟 (2)、(3) 與 (4)，量測記錄電磁波值。

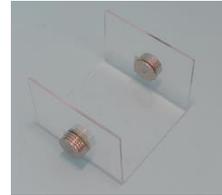
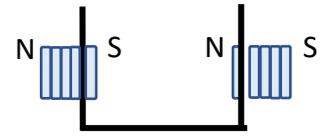


圖 3-3-6 橫向磁場圖

(四) 實驗四：探討「同時具有金屬屏蔽與磁鐵」的情況下，對電磁波阻隔率的影響

1. 實驗 4-1：強力磁鐵吸附在鐵絲網上

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
- (2) 將鐵絲網置於玩具車遙控器與電磁波量測儀間，量測此時受作用影響的電磁波值。
- (3) 將強力磁鐵附於鐵絲網上、置於玩具車遙控器與電磁波量測儀間的量測記錄電磁波值。



圖 3-3-7 磁鐵吸附在鐵絲網

2. 實驗 4-2：強力磁鐵吸附於壓克力板上，並加上鐵絲網

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
- (2) 將壓克力板置於玩具車遙控器與電磁波量測儀間，量測此時受作用影響的電磁波值。
- (3) 將直徑 10 mm 的強力磁鐵吸附於壓克力板中心 10cm*10 cm 區域，相同磁性的磁極朝向同一面、每隔 2 cm 排列，形成 6 枚*6 枚排列的正方形矩陣。

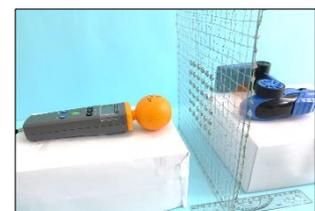


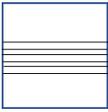
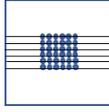
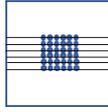
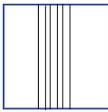
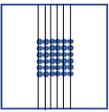
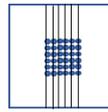
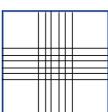
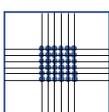
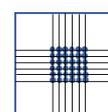
圖 3-3-8 裝置圖

- (4) 將磁鐵的 S 極朝向玩具車遙控器，並將鐵絲網吸附於磁鐵 S 極上，再將整個磁鐵加鐵絲網置於磁鐵和玩具車遙控器之間。量測此時受作用影響的電磁波值。
- (5) 拆下鐵絲網、並將壓克力板轉向，使磁鐵 N 極朝向玩具車遙控器。再將鐵絲網吸附於磁鐵 S 極上、位於磁鐵和玩具車遙控器之間。測此時受到金屬屏蔽作用影響的電磁波值。

3. 實驗 4-3：強力磁鐵吸附於壓克力板上，並吸附上不同方向的鐵絲

- (1) 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
- (2) 將壓克力板置於玩具車遙控器與電磁波量測儀間，量測此時受作用影響的電磁波值。
- (3) 將壓克力板置中心畫出 10 cm*10 cm 區域，將將 6 根鐵絲橫向固定，量測記錄此條件下的電磁波值。
- (4) 將直徑 10 mm 的強力磁鐵吸附 10 cm*10 cm 區域，S 極朝向玩具車遙控器，每隔 2 cm 排列，形成 6 *6 排列的正方形矩陣，量測此條件下的電磁波值。
- (5) 將壓克力轉向，變成 N 極朝向玩具車遙控器，量測此條件下的電磁波值。
- (6) 重複步驟(3)~(5)，但此次改成縱向鐵絲、交叉鐵絲，如表 4-1 所示，依序量測各條件下的電磁波值。

表 4-1

編號 1	編號 2	編號 3
橫向鐵絲 無磁鐵 	橫向鐵絲 N 前 S 後 	橫向鐵絲 N 後 S 前 
編號 4	編號 5	編號 6
縱向鐵絲 無磁鐵 	縱向鐵絲 N 前 S 後 	縱向鐵絲 N 後 S 前 
編號 7	編號 8	編號 9
交叉鐵絲 無磁鐵 	交叉鐵絲 N 前 S 後 	交叉鐵絲 N 後 S 前 

(五) 實驗五：探討「陣列磁場的方向」對電磁波阻隔率的影響

1. 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
2. 將直徑 10 mm 的強力磁鐵、每間格 2 cm，吸附壓克力板中心 10 cm*10 cm 區域，並就磁鐵如下方 A1~F2 所示排列時，將吸附磁鐵的壓克力板置於玩具車遙控器與電磁波量測儀之間，分別量測記錄如下條件時的電磁波值。

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
NNNNNN	NNNNNN	NNNNNN	NSNSNS	NNNNNN	NNN SS	NSNSNS
NNNNNN	N SSSS N	S SSSS S	NSNSNS	N SSSS N	NNN SS	SNSNSN
NNNNNN	N SSSS N	NNNNNN	NSNSNS	N SNNS N	NNN SS	NSNSNS
NNNNNN	N SSSS N	S SSSS S	NSNSNS	N SNNS N	NNN SS	SNSNSN
NNNNNN	N SSSS N	NNNNNN	NSNSNS	N SSSS N	NNN SS	NSNSNS
NNNNNN	NNNNNN	S SSSS S	NSNSNS	NNNNNN	NNN SS	SNSNSN
A2	B2	C2	D2	E2	F2	
S SSSS S	S SSSS S	S SSSS S	SNSNSN	S SSSS S	S SSN NN	
S SSSS S	S NNN NS	NNNNNN	SNSNSN	S NNN NS	S SSN NN	
S SSSS S	S NNN NS	S SSSS S	SNSNSN	S SSNS	S SSN NN	
S SSSS S	S NNN NS	NNNNNN	SNSNSN	S SSNS	S SSN NN	
S SSSS S	S NNN NS	S SSSS S	SNSNSN	S NNN NS	S SSN NN	
S SSSS S	S SSSS S	NNNNNN	SNSNSN	S SSSS S	S SSN NN	

(六) 實驗六：探討「不同 N/S 磁場間距」對電磁波阻隔率的影響

1. 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
2. 將直徑 10 mm 的強力磁鐵，吸附壓克力板中心 20 cm*20 cm 區域，並將磁鐵 N 極 S 極如下交錯排列：

間隔 2 cm	間隔 4 cm	間隔 6 cm	間隔 8 cm	間隔 20 cm
N S N S N S N S S N S N S N S N N S N S N S N S S N S N S N S N N S N S N S N S S N S N S N S N N S N S N S N S S N S N S N S N N S N S N S N S S N S N S N S N	N S N S N S S N S N S N N S N S N S S N S N S N N S N S N S	N S N S S N S N N S N S S N S N	N S S N	N S S N

3. 將吸附磁鐵的壓克力板置於玩具車遙控器與電磁波量測儀之間，分別量測記錄該條件下的電磁波值。

(七) 實驗七：探討電磁波的偏振影響

1. 將玩具車遙控器與電磁波量測儀置於相對位置，量測此時電磁波背景值。
2. 製作一金屬格柵片：裁剪一直徑 20 cm 的圓形塑膠片，每隔 1 cm 距離貼上一條互相平行的鐵絲作為格柵。並且，於塑膠片上標示出每 22.5 度一點的角度。(中心線右端鐵絲為水平指向 3 點鐘方向時為 0 度)



圖 3-3-9 裝置示意圖

3. 將金屬格柵片置倒 U 形壓克力架與電磁波量測儀之間(連線的中點)。
4. 轉動金屬格柵片，分別於中心線右端鐵絲角度向為 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 、 112.5° 、 135° 、與 157.5° 時，量測記錄電磁波值。
5. 將 U 形壓克力架倒置為 U 型，分別將 5 枚直徑 30 mm 的強力磁鐵吸附於側壁、內 1 外 4，保持外側磁極為「N 左 S 右」的方向，高度設定與玩具車遙控器同一水平面，做為影響通過兩側面間電磁波的磁場來源。
6. 將吸附磁鐵的倒 U 形壓克力架置於玩具車遙控器與電磁波量測儀(連線的中點)，而金屬格柵片置倒 U 形壓克力架與電磁波量測儀之間(連線的中點)。
7. 轉動金屬格柵片，分別於中心線右端鐵絲角度為 0° 、 22.5° 、 45° 、 67.5° 、 90° 、 112.5° 、 135° 、與 157.5° 時，量測記錄電磁波值。
8. 將外側磁極為「N 右 S 左」重覆步驟(6)-(7)。

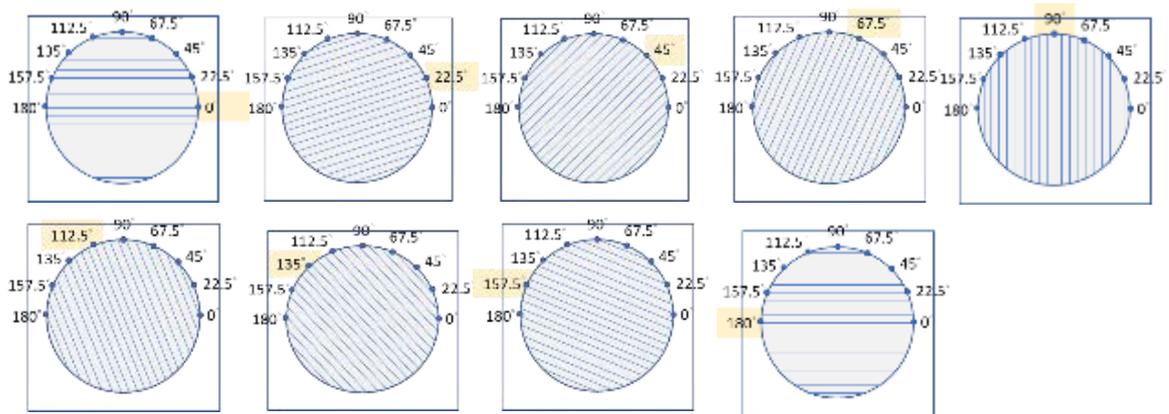


圖 3-3-10 金屬格柵片角度示意圖

肆、研究結果

一、實驗一：探討「不同 N/S 極方向的磁鐵」對電磁波阻隔率的影響

(一) 實驗結果 1-1：

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據(mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 N 左 S 右 370 μT								
編號 2 N 右 S 左 370 μT								
編號 3 N 前 S 後 560 μT								
編號 4 N 後 S 前 560 μT								

(以上灰色標示的#4 與#5 為實驗所得的最大值或最小值，不納入得到平均電磁波量計算。

後續實驗皆為同樣規則。)

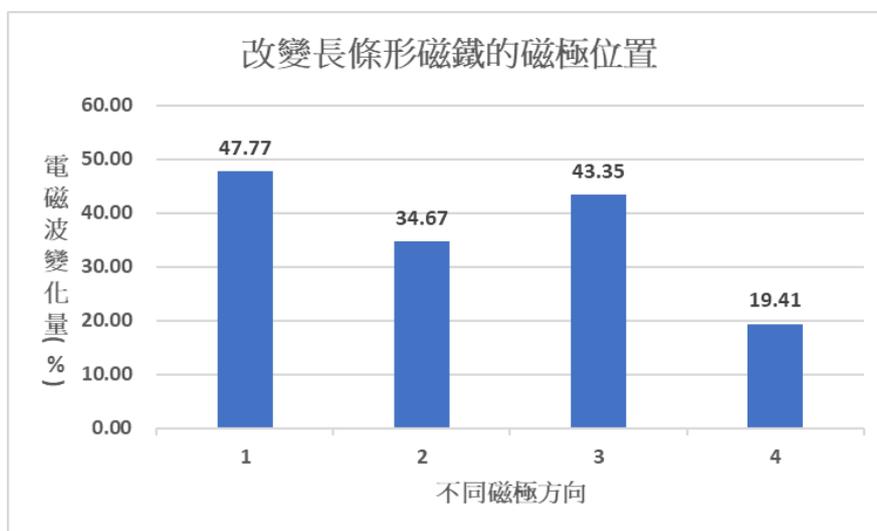


圖 4-1-1 實驗 1-1 結果圖

由以上數據得知，在上述位置中，

1. 「長條形磁鐵橫向放置垂直於波發射方向、且磁極為 N 左 S 右」時，有影響電磁波傳遞的較佳效果。(如編號 1)
2. 除了上述最佳條件外，當「長條形磁鐵縱向放置平行於電磁波發射、且磁極為 N 前 S 後」時，影響效果為次佳(如編號 3)。

(二) 實驗結果 1-2：

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據(mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)	
編號 1 350 μ T		4.42	2.36	2.34	2.49	2.16	2.64	2.40	45.68
編號 2 350 μ T		3.15	1.30	1.66	1.60	1.27	2.33	1.52	51.64
編號 3 224 μ T		3.18	2.14	2.23	1.92	1.86	2.23	2.10	34.08
編號 4 224 μ T		2.51	1.50	2.18	2.36	2.39	1.46	2.01	19.79
編號 5 230 μ T		3.36	2.83	2.59	2.42	2.41	4.32	2.61	22.28
編號 6 230 μ T		3.44	2.65	2.00	1.50	1.06	3.65	2.05	40.39
編號 7 231 μ T		3.35	2.90	2.48	2.41	1.36	5.10	2.60	22.46
編號 8 231 μ T		3.44	2.70	2.01	1.50	1.31	3.61	2.07	39.76

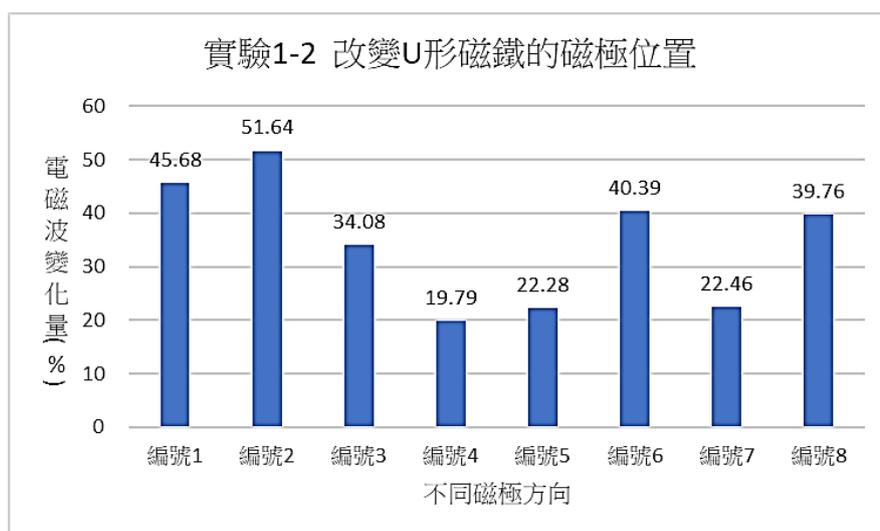


圖 4-1-2 實驗 1-2 結果圖

由以上數據得知，在上述位置中，

1. 「U形磁鐵的连接端遠離發射源、磁極為 N 左 S 右」時，對電磁波的傳遞有較佳的影響效果。(如編號 2)
2. 編號 5 與編號 6 以及編號 7&編號 8 這兩組相似的數據顯示，U 形磁鐵连接端朝左或者朝右並不是影響電磁波傳遞的因素，主要還是受到磁極方向的影響。
3. 而編號 4「U 形磁鐵的磁極连接端較靠近發射源、且磁極為 S 左 N 右」的效果是最差的，數據較其他數值落後較多。

二、 實驗二：探討「磁鐵擺放位置」對電磁波阻隔率的影響

(一) 實驗結果 2-1：改變「長條形磁鐵」的磁極位置

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據 (mW/m ²)		無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
	高	4.28	3.90	3.99	3.99	4.20	3.82	3.96	7.36
	低	4.19	3.91	3.94	3.98	4.00	3.89	3.94	6.04
	中	2.69	2.57	2.48	2.79	2.40	2.58	2.69	47.77
	左	5.71	1.54	1.43	2.82	1.12	4.40	1.93	66.16
	右	5.71	2.83	1.53	1.43	1.33	3.27	1.93	66.17

(其中磁場值為高--160 μ T、低 165 μ T、右 461 μ T、左 465 μ T)

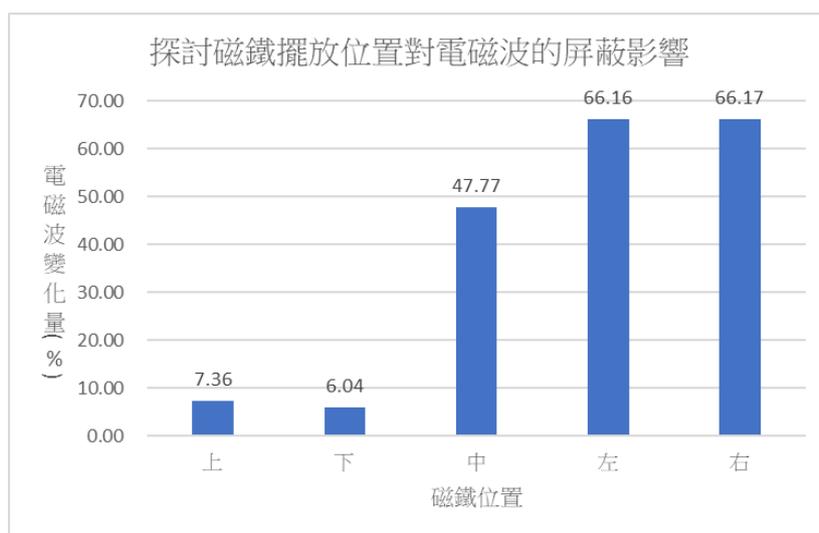
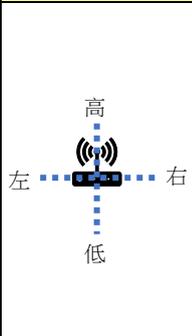


圖 4-2-1 實驗 2-1 結果

由數據得知，「長條型磁鐵與波發射源位在**同水平面**」時，**影響電磁波傳遞的效果較佳**。

(二) 實驗結果 2-2：「U 形磁鐵的擺放位置」對電磁波阻隔率影響

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據 (mW/m ²)		無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
	高	5.63	4.54	4.57	4.79	4.11	4.88	4.63	17.76
	低	4.94	3.99	4.00	3.93	2.72	3.83	3.98	19.49
	中	3.15	1.30	1.66	1.60	1.27	2.33	1.52	51.64
	左	5.13	3.01	3.00	2.99	4.68	1.24	3.00	41.53
	右	5.16	3.00	3.00	2.99	4.21	1.39	3.00	41.85

(其中磁場值為高--154 μ T、低 155 μ T、右 450 μ T、左 457 μ T)

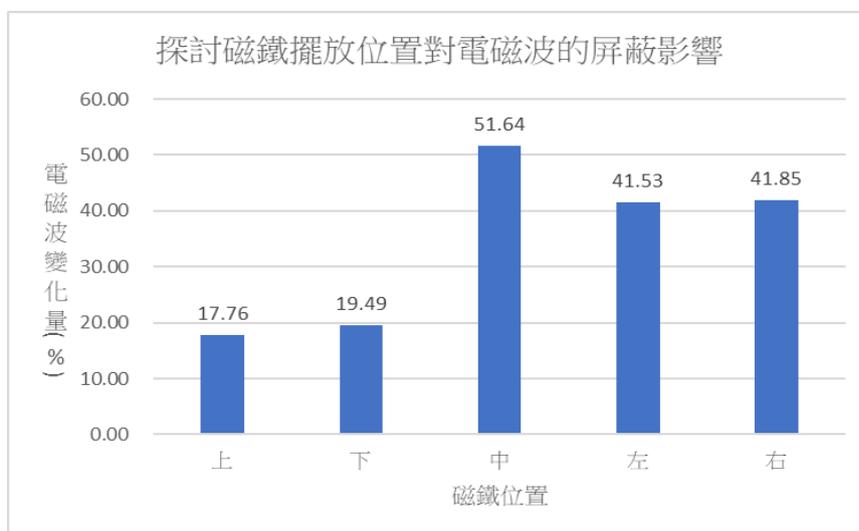


圖 4-2-2 實驗 2-2 結果

由以上數據得知，在上述位置中，「U 形磁鐵與波發射源位在同水平面」時，影響電磁波傳遞的效果較佳。

三、 實驗三：探討「不同強度磁鐵與磁場方向」對電磁波阻隔率的影響

(一) 實驗結果 3-1：「磁鐵的縱向磁場」對電磁波阻隔率的影響

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據 (mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 250 μT 一般磁鐵*1	9.91	8.55	8.18	8.85	10.02	7.37	8.53	13.95
編號 2 460 μT 一般磁鐵*2	6.21	4.84	4.89	5.07	5.37	3.72	4.93	20.54
編號 3 825 μT 一般磁鐵*3	9.31	6.55	6.28	6.75	11.02	7.00	6.53	29.88
編號 4 1050 μT 一般磁鐵*4	12.36	8.80	7.90	7.99	7.31	8.92	8.23	33.41
編號 5 1100 μT 一般磁鐵*5	10.05	6.01	6.94	5.84	8.91	4.36	6.26	37.69
編號 6 1060 μT 強力磁鐵*1	7.99	6.07	7.32	7.00	8.90	5.01	6.79	14.96
編號 7 2090 μT 強力磁鐵*2	7.37	5.03	6.32	5.43	7.93	4.09	5.59	24.12
編號 8 2400 μT 強力磁鐵*3	9.00	5.49	5.62	6.29	5.01	8.45	5.80	35.56
編號 9 2500 μT 強力磁鐵*4	9.00	5.49	5.68	5.66	6.66	5.43	5.61	37.66
編號 10 2650 μT 強力磁鐵*5	9.91	5.70	5.87	5.68	10.06	4.23	5.75	41.96

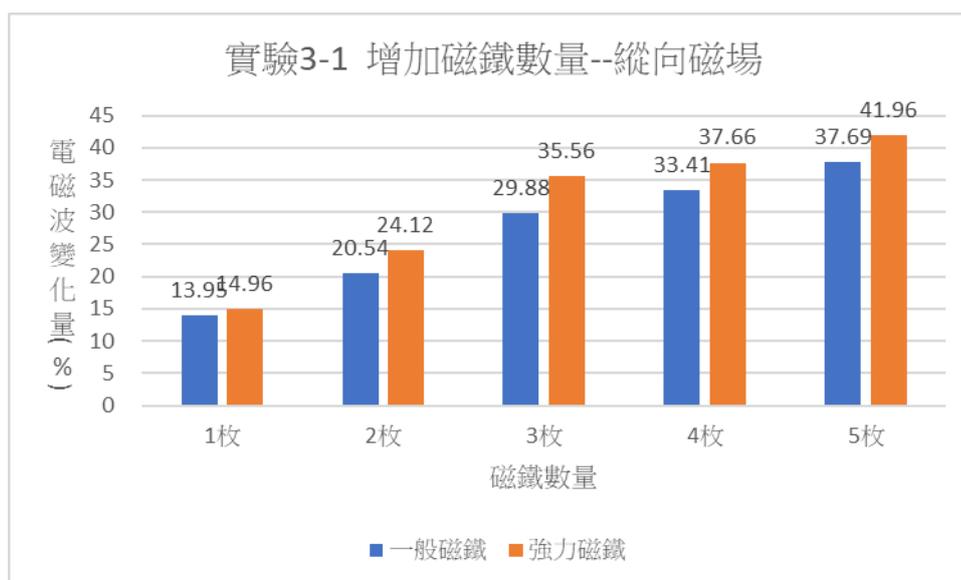


圖 4-3-1 實驗 3-1 結果

由以上得知，相較於圓形一般磁鐵，強力磁鐵對影響電磁波傳遞的效果較佳。

(二) 實驗結果 3-2：「磁鐵的橫向磁場」對電磁波阻隔率的影響

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據(mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 600 μT N左S右 2枚	7.08	2.23	3.61	4.84	1.05	5.07	3.56	49.70
編號 2 836 μT N左S右 3枚	4.98	2.40	1.98	2.02	0.56	3.04	2.13	57.17
編號 3 1640 μT N左S右 4枚	3.72	1.01	1.14	1.00	1.59	0.90	1.05	71.78
編號 4 1685 μT N左S右 5枚	4.08	1.03	1.03	1.00	0.84	2.93	1.02	74.99
編號 5 600 μT S左N右 2枚	3.78	2.70	1.08	2.99	0.51	5.09	2.26	40.24
編號 6 836 μT S左N右 3枚	4.91	2.99	2.30	1.90	0.30	4.02	2.40	51.19
編號 7 1640 μT S左N右 4枚	3.56	1.12	1.14	1.00	2.31	0.99	1.09	69.49
編號 8 1685 μT S左N右 5枚	3.99	1.00	1.01	1.12	1.93	0.90	1.05	73.80

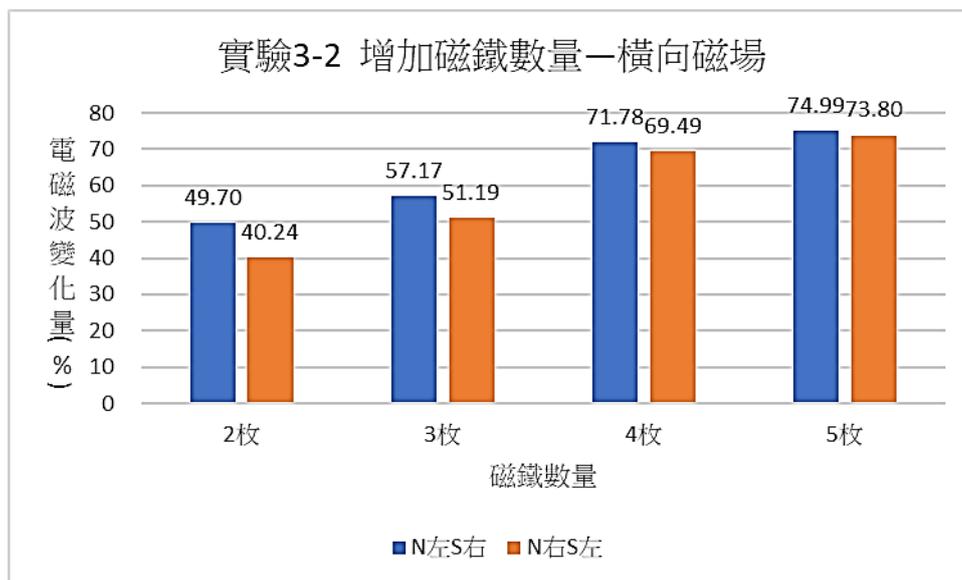
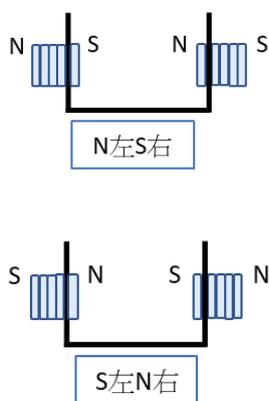


圖 4-3-2 實驗 3-2 結果

由以上數據得知，連續磁鐵擺放為「橫向、N左S右」時，對電磁波傳遞的影響較大一些，但磁鐵數量增加時，磁極擺放為「N左S右」也是有不錯的效果。

四、 實驗四：探討「同時具有金屬屏蔽與磁鐵」的情況下，對電磁波阻隔率的影響

(一) 實驗結果 4-1：強力磁鐵吸附在鐵絲網上

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據 (mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 鐵絲網	2.47	0.44	0.36	0.59	0.27	0.59	0.46	81.22
編號 2 1500 μT 鐵絲網+強力磁鐵	2.47	0.53	0.38	0.32	0.17	1.32	0.41	83.45

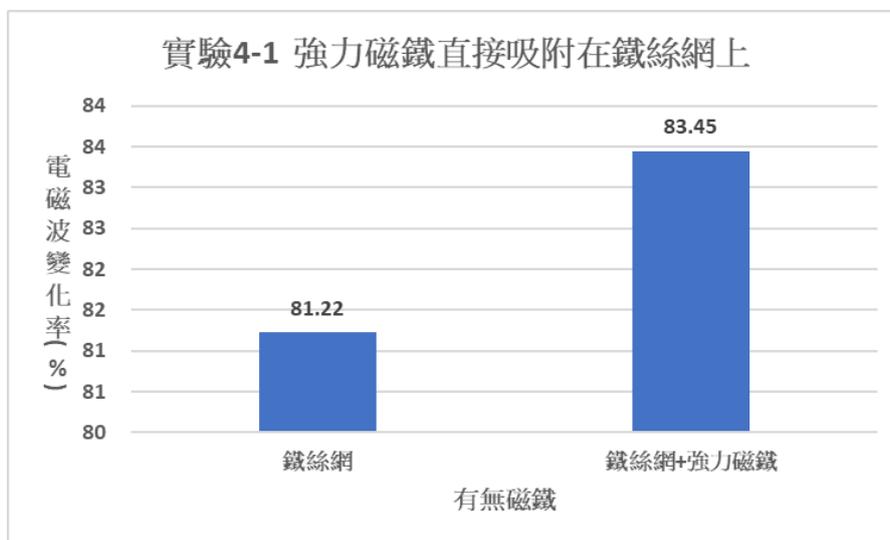


圖 4-4-1 實驗 4-1 結果

由以上數據得知，使用鐵絲網具有不錯的電磁波屏蔽效果，但讓強力磁鐵直接吸附於鐵絲網後，影響電磁波傳遞的效果更大一些。

(二) 實驗結果 4-2：強力磁鐵吸附於壓克力板上、並加上鐵絲網

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據(mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 鐵絲網	4.00	0.73	0.62	0.96	1.13	0.51	0.77	80.77
編號 2 N 前 S 後 1560 μT	4.63	0.64	0.86	0.58	1.09	0.41	0.69	85.05
編號 2 N 後 S 前 1560 μT	6.74	1.32	1.01	1.01	0.78	1.35	1.11	83.51

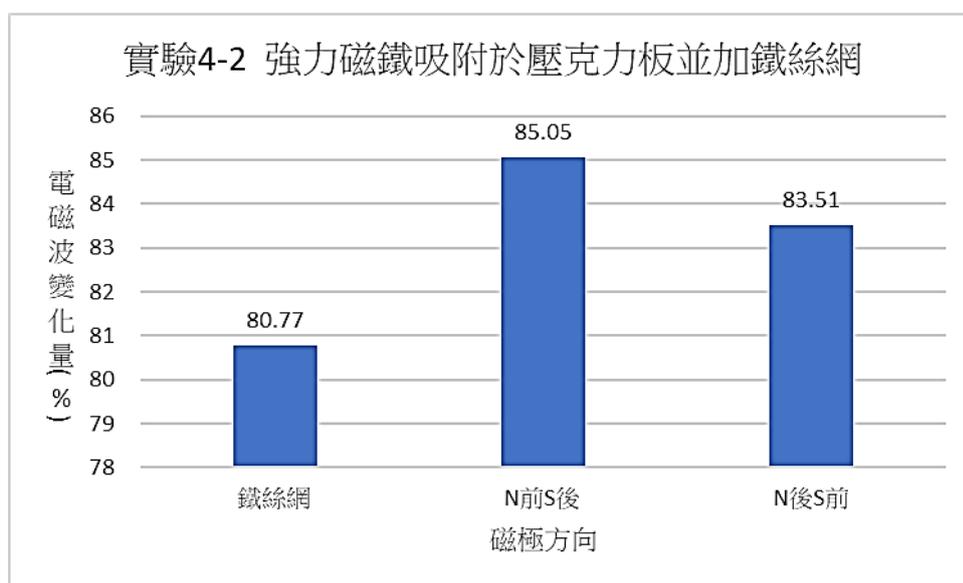
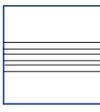
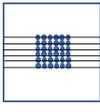
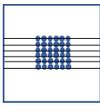
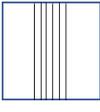
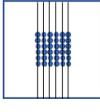
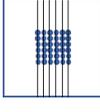
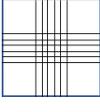
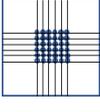
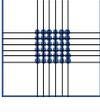


圖 4-4-2 實驗 4-2 結果

由以上數據得知，使用鐵絲網具有不錯的電磁波阻隔率效果，但讓強力磁鐵直接吸附於鐵絲網後，影響電磁波傳遞的效果更大一些。

(三) 實驗結果 4-3：強力磁鐵吸附於壓克力板上、並吸附上鐵絲

1. 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據 (mW/m ²)	無	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 橫向鐵絲 	7.92	5.95	7.64	8.00	4.39	8.18	7.19	9.12
編號 2 橫向 N 前 S 後 1100 μT 	12.37	10.48	10.39	9.49	7.04	13.40	10.12	26.41
編號 3 橫向 N 後 S 前 1090 μT 	12.37	11.88	9.81	5.62	12.02	4.49	9.10	18.20
編號 4 縱向鐵絲 	7.84	6.31	6.54	6.33	7.00	6.05	6.39	18.43
編號 5 縱向 N 前 S 後 1105 μT 	12.37	7.21	9.63	6.72	10.37	5.63	7.85	36.50
編號 6 縱向 N 後 S 前 1100 μT 	12.37	10.48	10.39	9.49	13.40	7.04	10.12	18.20
編號 7 交叉鐵絲 	4.44	2.90	3.05	3.10	2.00	5.64	3.01	32.08
編號 8 交叉 N 前 S 後 1203 μT 	4.44	1.02	2.62	1.29	0.64	3.47	1.64	62.96
編號 9 交叉 N 後 S 前 1200 μT 	4.44	2.94	2.31	2.94	1.21	4.62	2.73	38.51

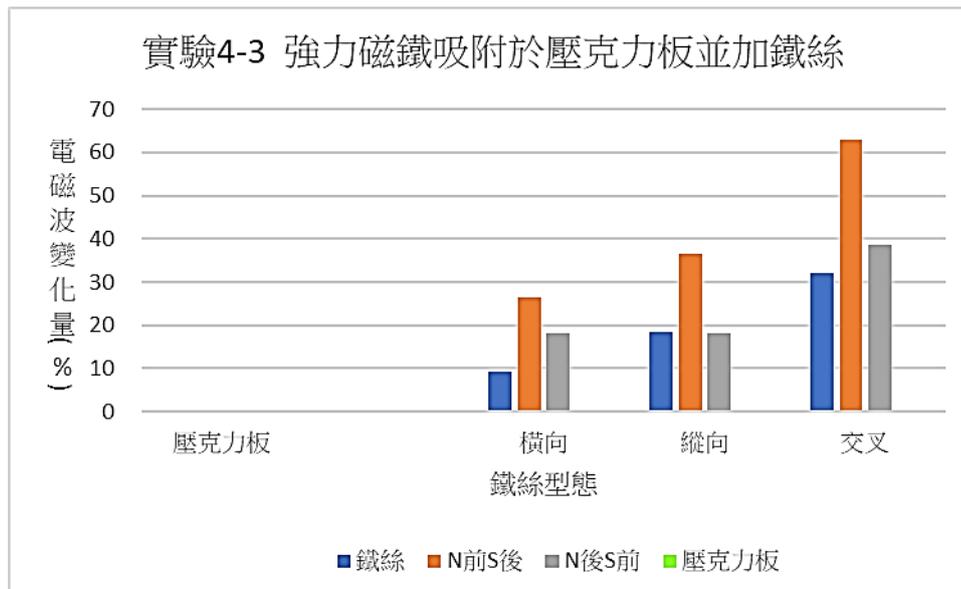


圖 4-4-3 實驗 4-3 結果

由以上數據得知，使用強力磁鐵加上鐵絲可以提高電磁波阻隔率，尤其在磁極為「N 前 S 後」的情況下。

五、 實驗五：探討「陣列磁場的方向」對電磁波阻隔率的影響

(一) 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波 (mW/m ²)	無	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
A1	4.68	9.63	11.11	11.77	12.58	8.08	10.84	-131.44
A2	4.68	7.11	12.30	12.58	1.27	19.07	10.66	-127.74
B1	4.73	5.49	3.33	4.80	7.03	2.94	4.54	3.97
B2	8.85	8.94	8.26	8.65	6.13	9.27	8.61	2.60
C1	8.85	8.00	8.95	10.02	10.02	5.06	8.99	-1.66
C2	8.85	6.74	9.70	10.61	6.43	11.64	9.02	-1.96
D1	6.66	8.46	6.82	6.97	9.21	6.74	7.41	-11.26
D2	6.66	8.56	6.72	6.96	10.13	6.64	7.41	-11.22
E1	6.65	5.95	5.95	5.13	4.57	6.22	5.67	14.62
E2	6.65	5.95	5.85	5.24	6.02	4.06	5.68	14.60
F1	4.32	4.24	4.14	4.29	4.31	3.21	4.22	2.18
F2	4.47	4.36	4.32	4.32	4.13	4.49	4.34	3.00
G1	7.97	5.67	5.63	5.69	5.74	5.32	5.67	28.93

N 極和 S 極互換並不影響量測到的磁場值，本實驗的磁場值為 980 μ T。

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
NNNNNN	NNNNNN	NNNNNN	NSNSNS	NNNNNN	NNN S SS	NSNSNS
NNNNNN	N S SSSN	SSSSSS	NSNSNS	N S SSSN	NNN S SS	SNSNSN
NNNNNN	N S SSSN	NNNNNN	NSNSNS	NSNSNS	NNN S SS	NSNSNS
NNNNNN	N S SSSN	SSSSSS	NSNSNS	NSNSNS	NNN S SS	SNSNSN
NNNNNN	N S SSSN	NNNNNN	NSNSNS	N S SSSN	NNN S SS	NSNSNS
NNNNNN	NNNNNN	SSSSSS	NSNSNS	NNNNNN	NNN S SS	SNSNSN
A2	B2	C2	D2	E2	F2	
SSSSSS	SSSSSS	SSSSSS	SNSNSN	SSSSSS	SSSN N N	
SSSSSS	SNN N NS	NNNNNN	SNSNSN	SNN N NS	SSSN N N	
SSSSSS	SNN N NS	SSSSSS	SNSNSN	SNS S NS	SSSN N N	
SSSSSS	SNN N NS	NNNNNN	SNSNSN	SNS S NS	SSSN N N	
SSSSSS	SNN N NS	SSSSSS	SNSNSN	SNN N NS	SSSN N N	
SSSSSS	SSSSSS	NNNNNN	SNSNSN	SSSSSS	SSSN N N	

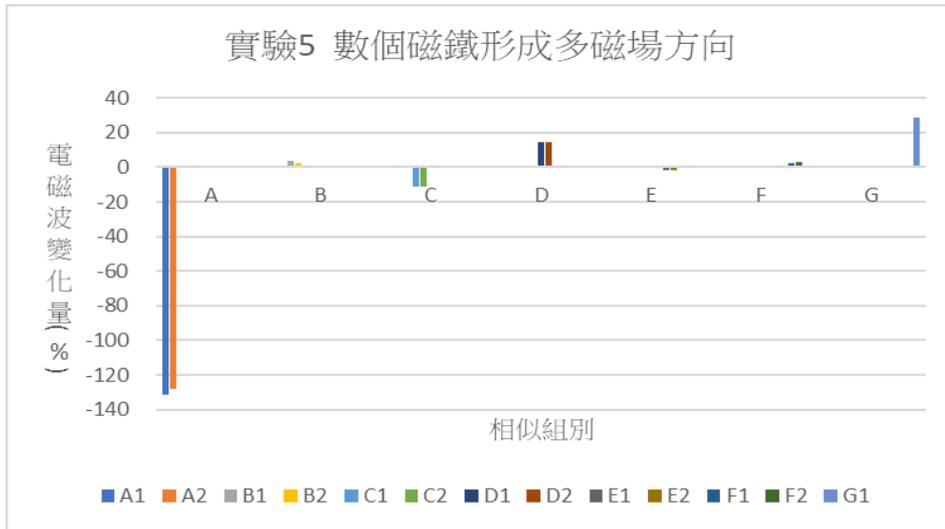


圖 4-5-1 實驗 5 探討「陣列磁場的方向」對實驗結果

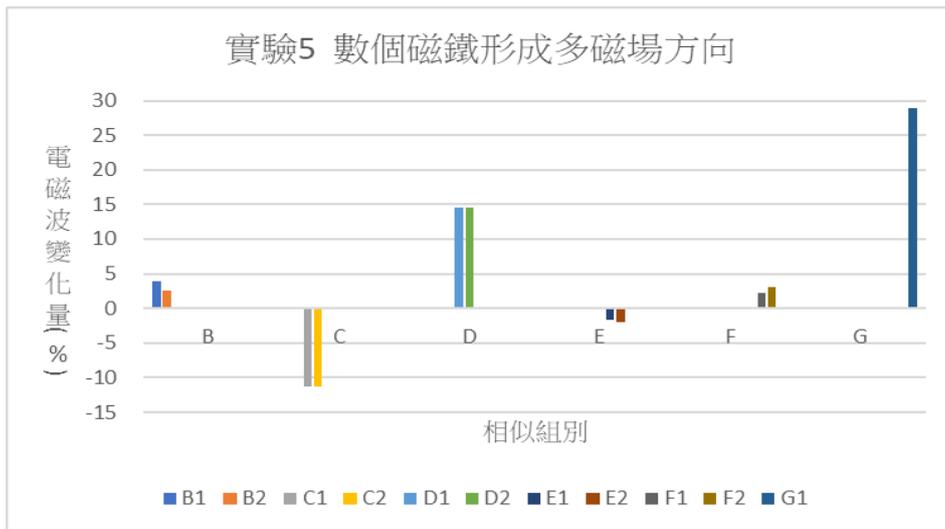


圖 4-5-2 實驗 5 結果(扣除 A1 與 A2 的結果)

由以上數據得知，當磁鐵間彼此是磁極交錯排列的情況下，能夠獲得最佳的電磁波變化量率。

六、 實驗六：探討「不同 N/S 磁場間距」對電磁波阻隔率的影響

(一) 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

電磁波數據(mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
編號 1 1050 μ T 間隔 2 cm	6.00	1.99	1.91	1.89	1.89	2.02	1.93	67.80
編號 2 890 μ T 間隔 4 cm	5.50	3.59	3.60	3.53	3.49	3.67	3.57	35.04
編號 3 595 μ T 間隔 6 cm	4.90	3.84	3.79	3.86	3.61	3.99	3.83	21.80
編號 4 300 μ T 間隔 8 cm	4.90	4.70	4.63	4.73	4.54	4.83	4.69	4.29
編號 5 195 μ T 間隔 20 cm	5.04	4.83	4.85	4.73	4.72	4.85	4.80	4.63

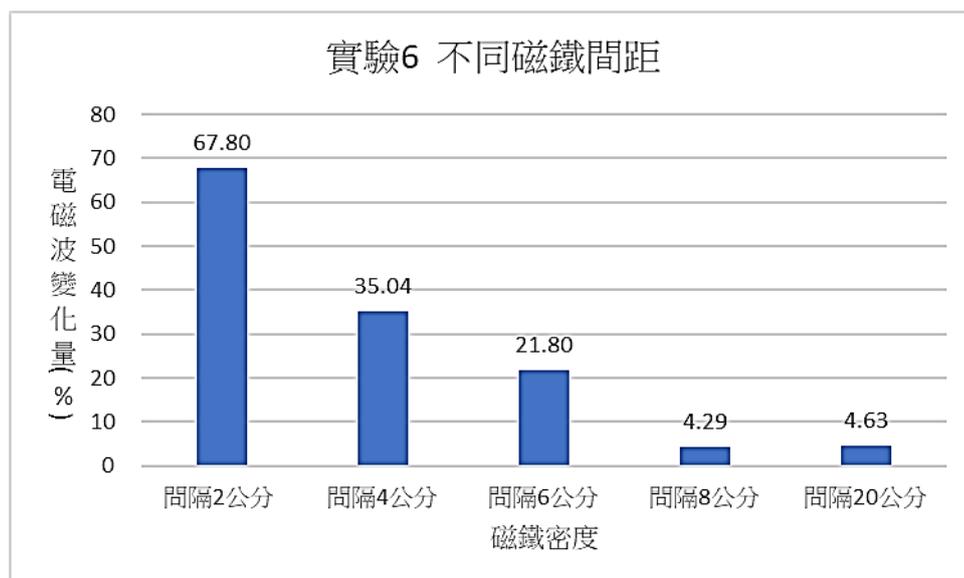
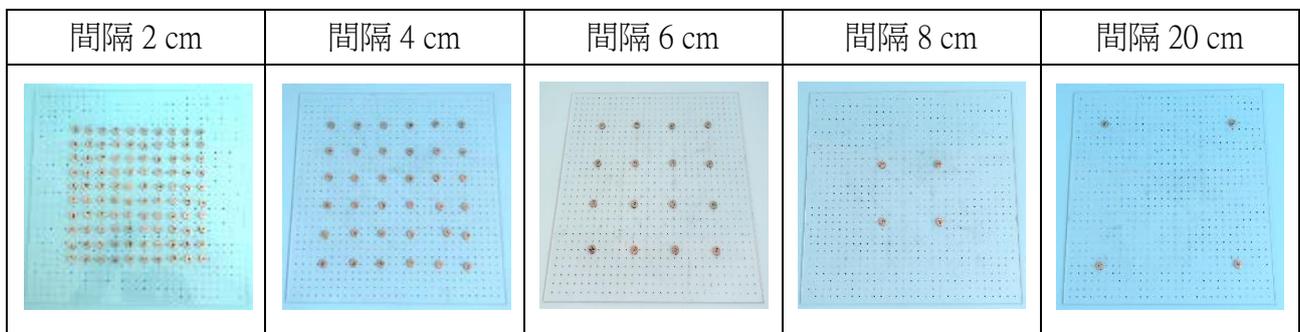


圖 4-6-1 實驗 6-不同 N/S 磁場間距實驗結果

由以上數據得知，磁鐵間隔越密集，對電磁波傳遞的影響越大。

七、 實驗七：探討電磁波的偏振影響

(一) 整合各條件下所量測到的電磁波值如下：

1. 僅有鐵絲隔柵

電磁波數據 (mW/m ²)	無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
0 度	4.99	2.994	3.003	2.841	2.736	3.021	2.95	40.96
22.5 度	3.106	1.32	1.001	2.312	0.312	3.061	1.54	50.28
45 度	5.37	2.731	2.832	2.821	2.867	2.649	2.79	47.96
67.5 度	3.056	1.302	1.021	2.34	0.249	4.367	1.55	49.14
90 度	2.617	1.137	1.367	1.133	1.125	1.464	1.21	53.67
112.5 度	3.007	1.432	1.124	2.013	1.111	3.457	1.52	49.35
135 度	5.036	2.832	2.301	2.736	2.021	2.993	2.62	47.92
157.5 度	3.007	1.761	1.137	1.561	1.026	2.093	1.49	50.57
180 度	4.99	2.994	3.003	2.841	2.736	3.021	2.95	40.96

當金屬隔柵方向與電磁波電場方向前進一致時，鐵絲表面會感應電荷，因此抵銷電磁波電場造成屏蔽現象。利用此原理推測，屏蔽現象越好的角度，就是電磁波電場的方向。由以上數據可以發現，當鐵絲格柵與水平面右端呈 90 度時，屏蔽效果最佳。

2. 「外側磁極排列為 N 左 S 右的強力磁鐵」加上鐵絲格柵

電磁波數據 (mW/m ²)	無格柵 無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
0 度	5.747	3.003	2.84	2.998	2.324	3.926	2.95	48.72
22.5 度	4.995	2.031	2.124	2.136	4.302	2.001	2.10	58.02
45 度	4.327	2.021	2.036	2.124	2.417	2.002	2.06	52.38
67.5 度	5.993	3.003	3.083	3.152	3.637	2.012	3.08	48.62
90 度	5.993	3.003	3.094	3.132	3.345	2.997	3.08	48.67
112.5 度	5.238	3.071	2.934	3.001	2.832	3.124	3.00	42.69
135 度	4.997	2.836	2.947	3.024	2.793	3.245	2.94	41.25
157.5 度	4.306	2.409	2.139	2.39	2.137	2.673	2.31	46.29
180 度	5.747	3.003	2.84	2.998	2.324	3.926	2.95	48.72

由以上數據可以發現，當鐵絲格柵與水平面右端呈 22.5 度時，阻隔效果最佳。

3. 「外側磁極排列為 N 右 S 左的強力磁鐵」加上鐵絲格柵

電磁波數據 (mW/m ²)	無格柵 無磁鐵	#1	#2	#3	#4	#5	平均	阻隔率 (%)
0 度	4.883	2.843	3.001	2.954	3.021	2.793	2.93	39.94
22.5 度	5.001	3.994	2.806	2.024	2.001	4.501	2.94	41.19
45 度	5.106	3	3.102	3.125	3.936	2.301	3.08	39.76
67.5 度	6.001	3.996	3.875	3.034	1.361	3.996	3.64	39.43
90 度	5.992	3.003	3.096	3.137	3.709	2.147	3.08	48.62
112.5 度	6.999	3.993	3.806	3.034	4.637	2.314	3.61	48.41
135 度	4.636	2.306	2.345	2.426	3.031	2.214	2.36	49.12
157.5 度	4.996	2.006	2.201	2.13	1.993	2.304	2.11	57.72
180 度	4.883	2.843	3.001	2.954	3.021	2.793	2.93	39.94

由數據可以發現，當鐵絲格柵與水平面右端呈 157.5 度時，電磁波的阻隔率效果最佳。

4. 將以上三組數據整合分析，觀察比較曲線變化如下：

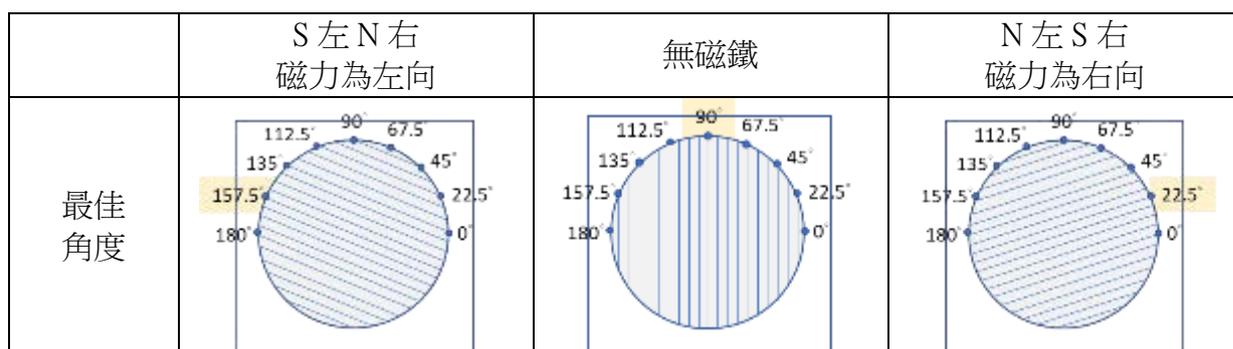


圖 4-7-1 實驗 7-探討電磁波的偏振實驗結果

由上表與上圖可以發現，當施加外部磁場時，電磁波的偏振角度會隨外加磁場而改變。

伍、討論

- 一、實驗 1-2：數據顯示，當「磁場垂直於波發射方向且為 N→S 水平往右」的情況下，對玩具車遙控器產生的電磁波有最大影響，與實驗 1-1 一致；雖然編號 4 也是同樣磁極方向，但其磁極較編號 2 遠離發射源、且 U 形磁鐵連接端磁力弱可能造成電磁波傳遞的其他影響，因此推論無法得到與編號 2 相同的影響效果。
- 二、長條型磁鐵是兩段具有磁力、U 型磁鐵連接僅有前端有磁力，兩者因形狀不同，連接段是否因其材質而對電磁波造成其他影響，或者 U 型磁鐵的磁力分布是否有特殊於長條型磁鐵的地方，需要進一步研究才能得知。
- 三、在實驗五中，由數據得知當磁極是以橫向、縱向或垂直都是交錯排列的情況下，能夠獲得最佳的電磁波傳遞影響率。這實驗中將數個磁鐵如此排列下，磁場沒有被抵銷作用，具有較密集完整的磁力分布。
- 四、本實驗的某些條件下，會增大電磁波傳遞接收，尤其在單面磁極相同的情況下最好，相關機制需要再閱讀理論進一步探究後才能推斷。
- 五、雖然實驗五中得知，同一磁極面向的磁鐵會造成電磁波放大，但是在實驗四與實驗五中，當磁鐵吸附於鐵絲或鐵絲網時，仍是有顯著的阻隔效果，經查資料後為理論中電場的振幅遠遠大於磁場振幅，因此電場屏蔽的效果影響也比較大。
- 六、在閱讀相關背景文獻時發現，磁鐵的導磁性以及金屬材質的原因，或許也會對阻隔電磁波造成影響，至於是對電場還是磁場，是利用怎樣的機制造成屏蔽現象，都是可以再深入研讀研究的地方。

陸、結論

- 一、加入磁鐵後，於特定磁極排列下，能影響電磁波的傳遞。
- 二、磁鐵和電磁波發射源位於同樣水平面上，具有較佳的影響率。
- 三、將磁鐵吸附於金屬網狀物上，比僅使用金屬網狀物來屏蔽的效果更好。磁鐵分布越密集，影響率越大。
- 四、在實驗七中(如圖 6-1)，已證實電磁波會因為外加磁場產生「改變」偏振角度。當無外加磁場時，鐵絲格柵與水平面右端呈 90 度時，屏蔽效果最佳。而外加磁場為(N 左 S 右)後，鐵絲格柵與水平面右端呈 22.5 度時，阻隔效果最佳。外加磁場為(S 左 N 右)後，鐵絲格柵與水平面右端呈 157.5 度時，提升電磁波變化率效果最佳。
- 五、利用本實驗結果，可以自製一個防電磁波的面罩，鐵絲加上磁鐵，即可發揮阻隔率達 74%的效果



圖 6-1 裝置示意圖



圖 6-1 自製防電磁波面罩

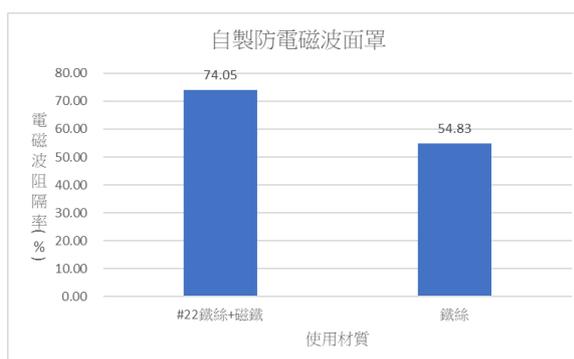


圖 6-2 面罩實測圖

柒、參考文獻資料

- 一、井上伸雄，2019 年【圖解電波與光的基礎和運用】
- 二、涂世雄【一波未平一波又起談電磁波】科學研習月刊 40-7，共 2 頁。
- 三、臺南市東區復興國小，2021 年【編出電磁波的彈跳網】臺南市第 61 屆科展作品。
- 四、北立大同高中楊理安，2020 年【屏蔽電磁波之非金屬材質研究】
- 五、Paul G. Hewitt，___年【觀念物理--第五冊 電磁學·核物理】
- 六、Kiwi 的物理教室，YouTube 影片，2021 年，【#part1 #微波的基本介紹 #微波的穿透 #微

波的吸收 #微波的反射】、【part2 #微波訊號與距離的關係 #微波的反射 #微波的折射】、
【part3 #微波的繞射#微波的干涉 #微波的駐波 #微波的偏振】

七、朱士維教授，coursera 課程，【普通物理學-電磁學、光學及近代物理 (General Physics (1))】

八、翰林高中物理，YouTube 影片，【實驗九 認識電磁波】

【評語】 030111

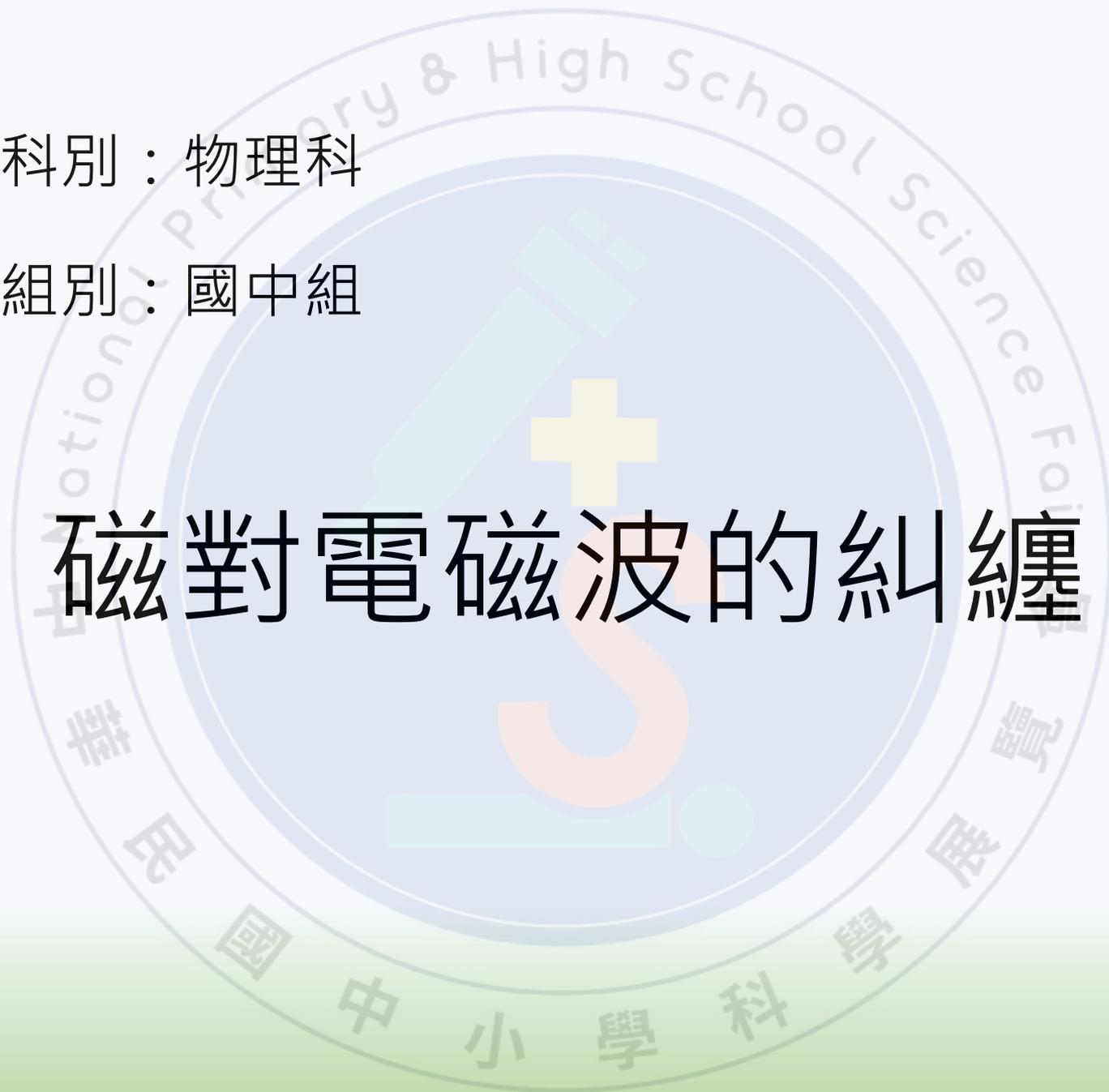
本研究對於交流電磁波是否受到直流磁場影響，同時也使用金屬柵欄加上磁鐵做實驗，並測試偏震的效果。實驗結果可應用於電磁波屏蔽，有一定的創意。實驗有很多不確定性，不容易掌握。但團隊嘗試不同的設計探討問題，值得鼓勵。

作品簡報

科別：物理科

組別：國中組

磁對電磁波的糾纏



壹、研究動機

動機1：微波會不會從有孔洞門板洩漏出來，造成人體傷害？

動機2：磁場的改變，會不會也對電磁波的傳遞造成類似的影響？

動機 1

臺南市第61屆科展
作品，2021年，
【編出電磁波的彈
跳網】

- ✓ 研究不同的金屬材質、金屬網狀物性質、網狀物材質的屏蔽效果
- ✓ 屏蔽率計算
- ✓ 電磁波隔絕背心

嘉義市太保國小，

- 中華民國第54屆中小學科展作品，2014，【我的電磁波會轉彎－金屬影響電磁波傳遞之探討】

- ✓ 研究金屬材質、金屬柵欄，對不同來源電磁波的屏蔽影響
- ✓ 罩住發射源來隔絕外界影響

動機 2

北立大同高中楊理安，2020，
【屏蔽電磁波之非金屬材質研究】

- ✓ 研究各材質屏蔽電磁波的效果

背景文獻多為：

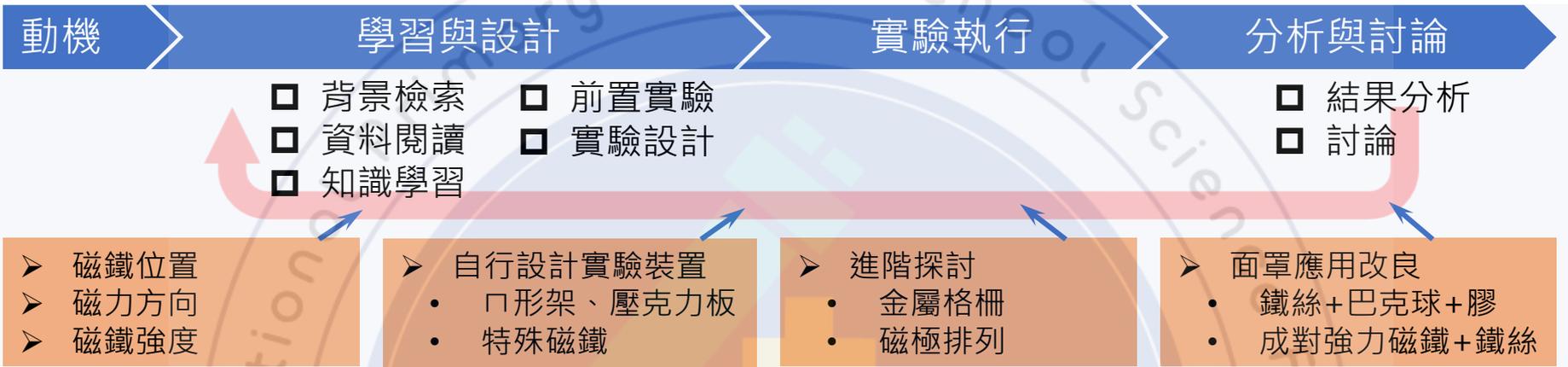
- 探討**金屬屏蔽對電磁波的影響**、**電磁波對生物的影響**
- 探討**磁流體**、**磁浮線圈**、**對電解離子的影響**等

本作品

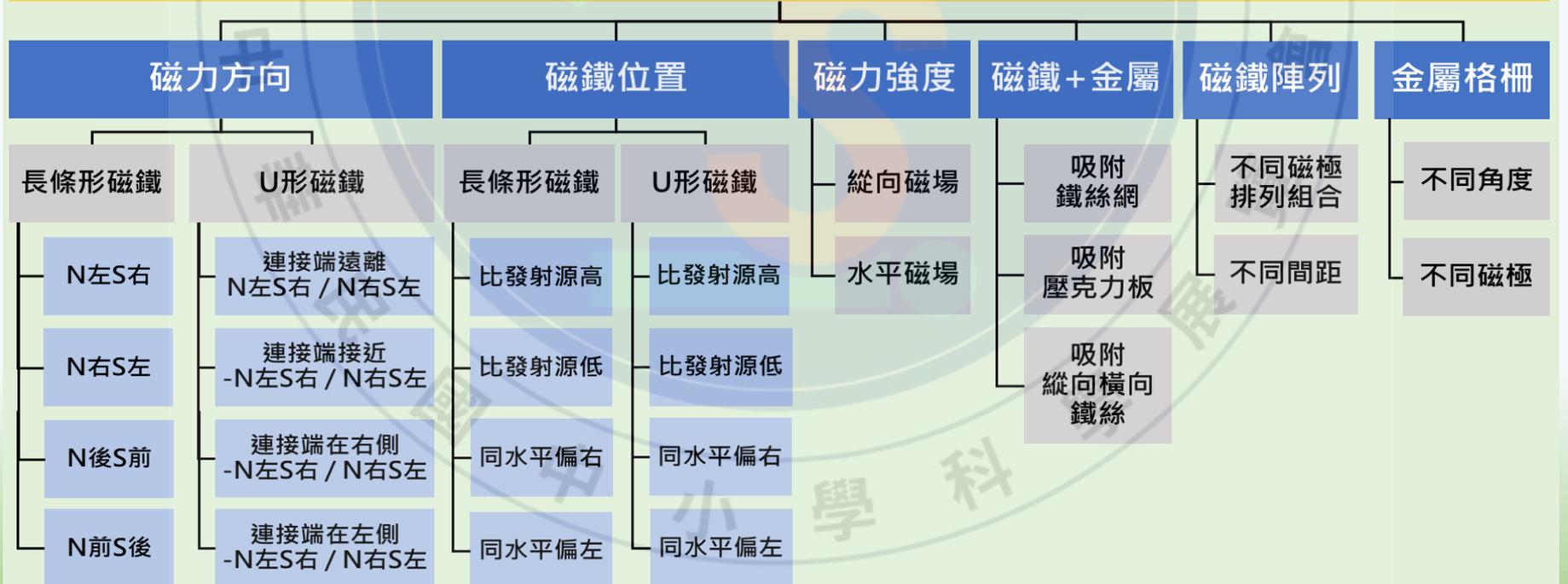
- 探討可否藉由外加磁場來阻隔電磁波
- 探討不同狀態的靜態磁場時，對電磁波傳遞造成的影響



貳、研究方法(1)



磁對電磁波的糾纏



貳、研究方法(2)

■ 自行開發電磁波的量測裝置：

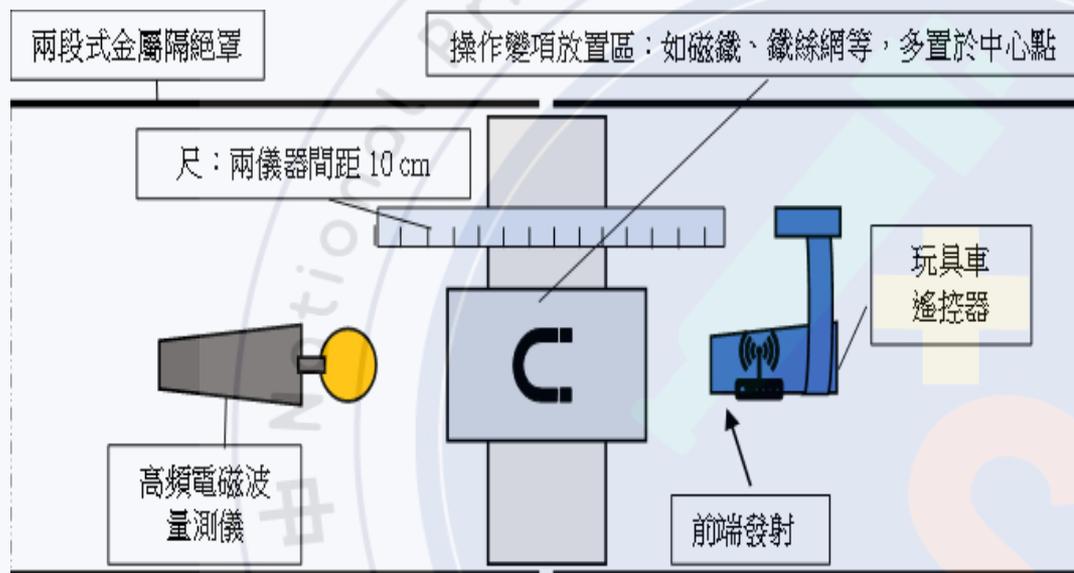


圖1 俯視示意圖

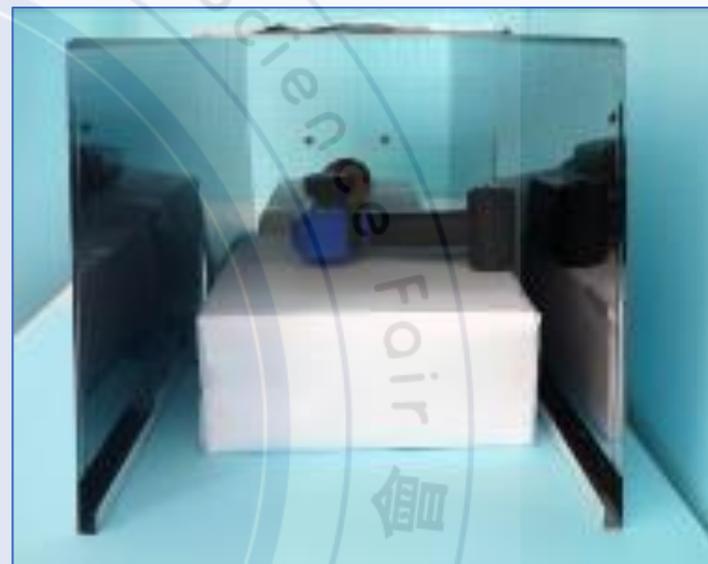


圖2 實際照片圖

■ 電磁波阻隔率的定義：

$$\frac{(\text{放置前電磁波功率密度} - \text{放置後電磁波功率密度})}{\text{放置前電磁波功率密度}} * 100\%$$

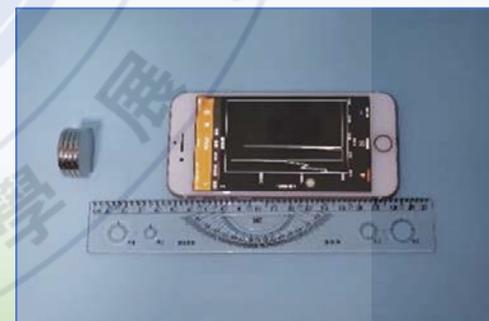


圖3 磁感應強度量測圖

參、研究結果(1)

探討「磁極方向、與磁極位置」對阻隔率的影響

實驗1-1：「長條形磁鐵」的磁極方向

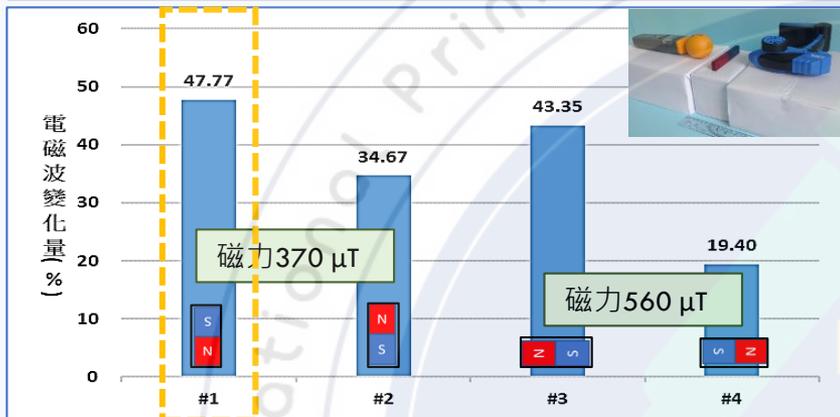


圖4 實驗1-1結果圖

實驗2-1：「長條形磁鐵」的擺放位置

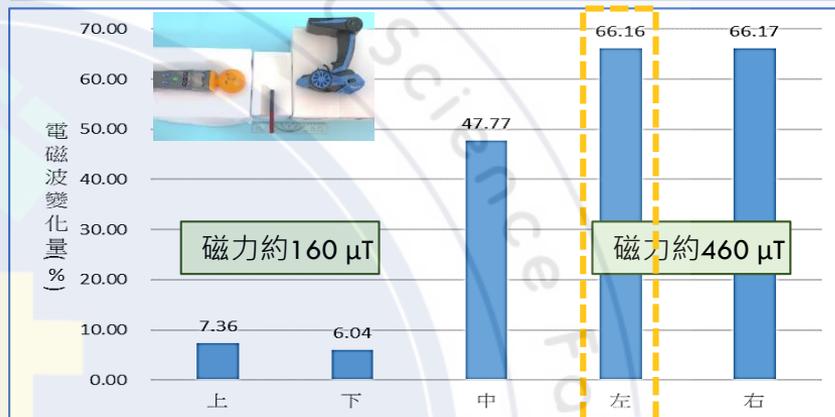


圖6 實驗2-1結果圖

實驗1-2：「U形磁鐵」的磁極方向

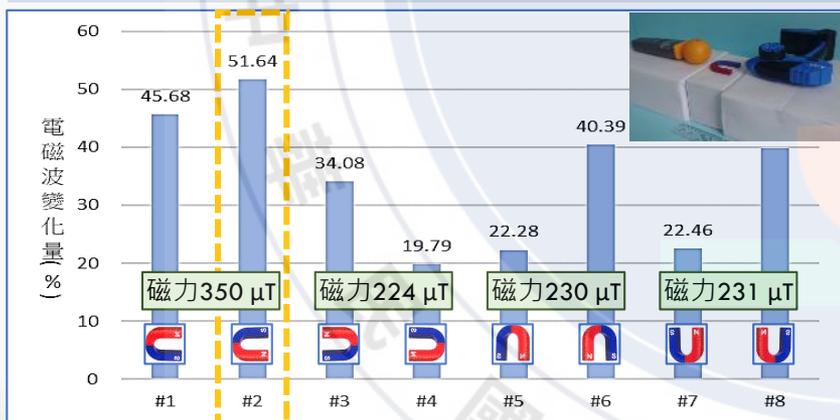


圖5 實驗1-2結果圖

實驗2-2：「U形磁鐵」的擺放位置

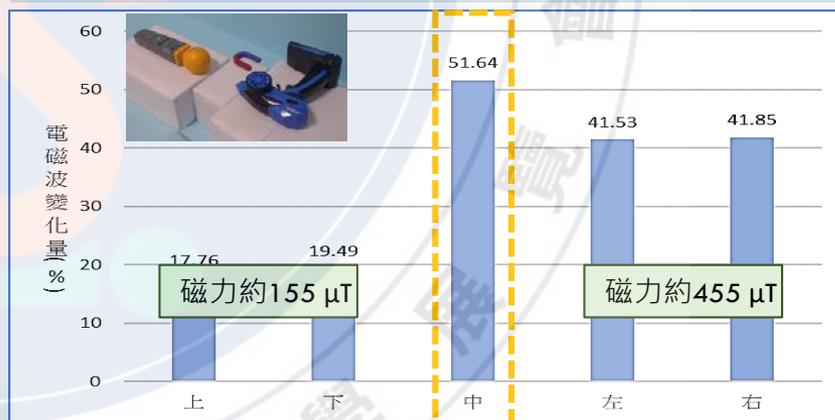


圖7 實驗2-2結果圖

- 較佳阻隔率：
1. 磁場垂直於電磁波前進、N左S右。
 2. 磁場與電磁波發射同一平面。
 3. 磁力線分布較密的區域。

參、研究結果(2)

探討「磁鐵的強度與方向」對阻隔率的影響

實驗3-1 磁鐵的縱向磁場

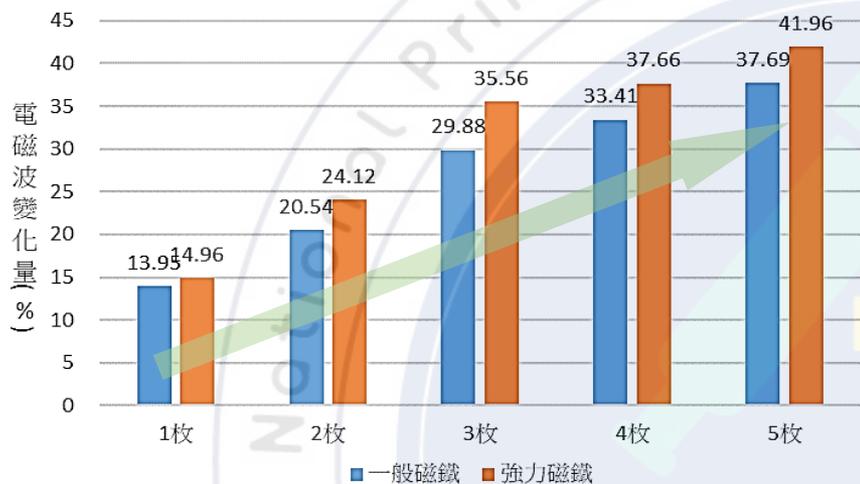


圖8 實驗3-1結果圖

實驗3-2 磁鐵的橫向磁場

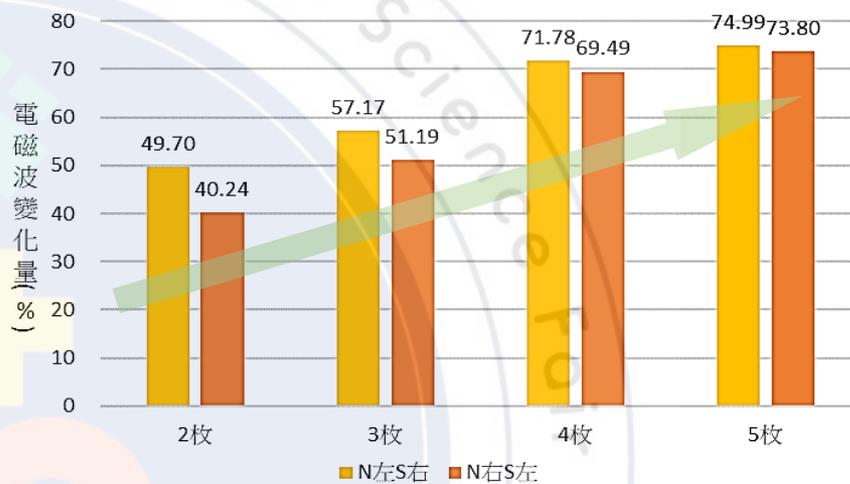


圖9 實驗3-2結果圖

一般磁鐵

- 鐵氧體

250 μ T → 1100 μ T

強力磁鐵

- 釹鐵硼

1060 μ T → 2650 μ T

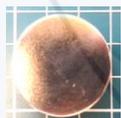
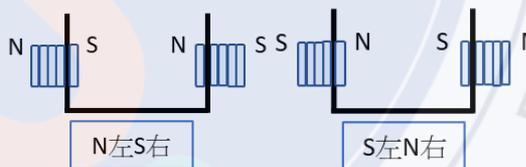


圖10 實驗3-1裝置圖



強力磁鐵：

600 μ T → 1685 μ T



圖11 實驗3-2裝置圖

較佳阻隔率：

1. 增加磁鐵數量。但阻隔率並不與磁場成等比例提高。
2. 磁場垂直於電磁波前進、磁鐵整體是N左S右的磁極方向時。

參、研究結果(3)

探討「同時有金屬屏蔽與磁鐵」，對阻隔率影響

實驗4-1 強力磁鐵吸附在鐵絲網

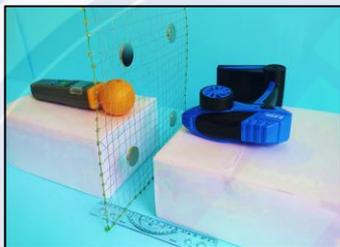
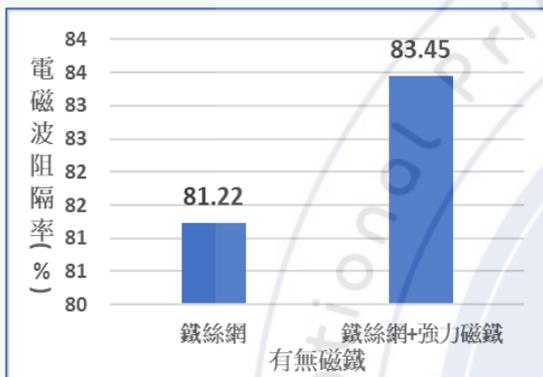


圖12 實驗4-1結果與裝置圖

實驗4-2 強力磁鐵吸附在壓克力板+鐵絲網

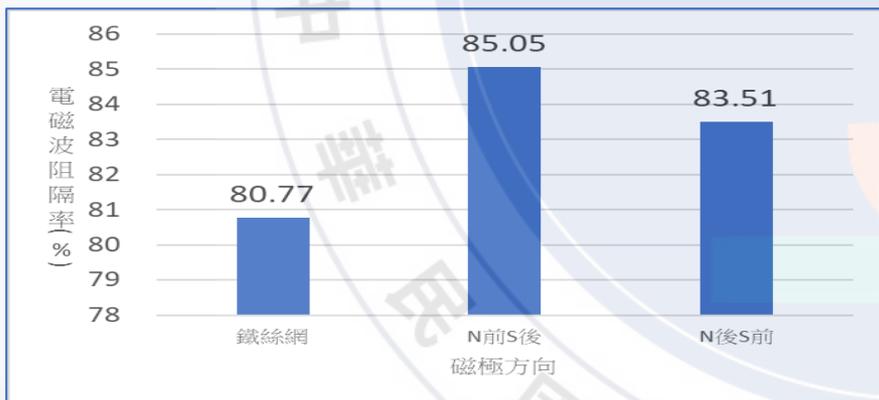


圖13 實驗4-2結果

實驗4-3 強力磁鐵吸附於壓克力板+縱橫鐵絲

表1 強力磁鐵分布區域示意圖

編號 1	編號 2	編號 3
橫向鐵絲 無磁鐵	橫向鐵絲 N前S後	橫向鐵絲 N後S前
縱向鐵絲 無磁鐵	縱向鐵絲 N前S後	縱向鐵絲 N後S前
交叉鐵絲 無磁鐵	交叉鐵絲 N前S後	交叉鐵絲 N後S前

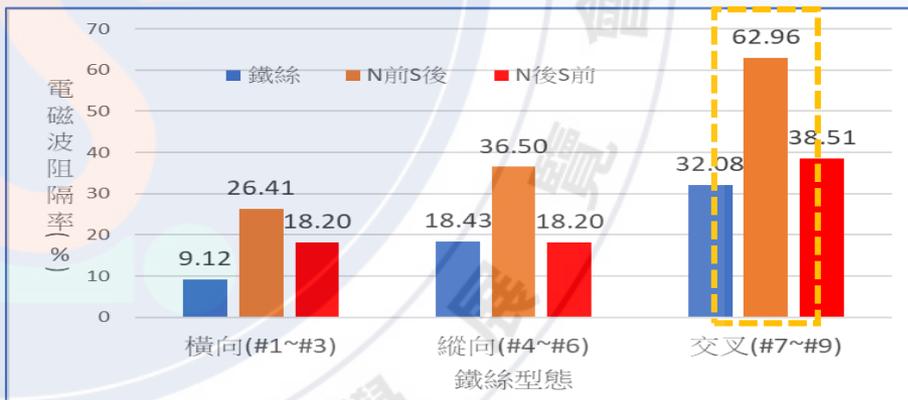


圖14 實驗4-3結果圖

較佳阻隔率：

1. 磁鐵(N前S後)+金屬網(網狀金屬結構)。
2. 縱向鐵絲較橫向鐵絲為佳，但交叉鐵絲最佳。

參、研究結果(4)

探討「陣列磁場的排列」對阻隔率的影響

表二 不同磁極方向、不同磁極排列表

A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
NNNNNN NNNNNN NNNNNN NNNNNN NNNNNN NNNNNN	NNNNNN NSSSSN NSSSSN NSSSSN NSSSSN NNNNNN	NNNNNN SSSSSS NNNNNN SSSSSS NNNNNN SSSSSS	NSNSNS NSNSNS NSNSNS NSNSNS NSNSNS NSNSNS	NNNNNN NSSSSN NSNNNS NSNNNS NSSSSN NNNNNN	NNNSSS NNNSSS NNNSSS NNNSSS NNNSSS NNNSSS	NSNSNS SNSNSN NSNSNS SNSNSN NSNSNS SNSNSN
A2	B2	C2	D2	E2	F2	
SSSSSS SSSSSS SSSSSS SSSSSS SSSSSS SSSSSS	SSSSSS SNNNNS SNNNNS SNNNNS SNNNNS SSSSSS	SSSSSS NNNNNN SSSSSS NNNNNN SSSSSS NNNNNN	SNSNSN SNSNSN SNSNSN SNSNSN SNSNSN SNSNSN	SSSSSS SNNNNS SNNNNS SNNNNS SNNNNS SSSSSS	SSSNNN SSSNNN SSSNNN SSSNNN SSSNNN SSSNNN	

磁鐵成對的貼合在壓克力板上，分布在中心10cm*10cm區域。

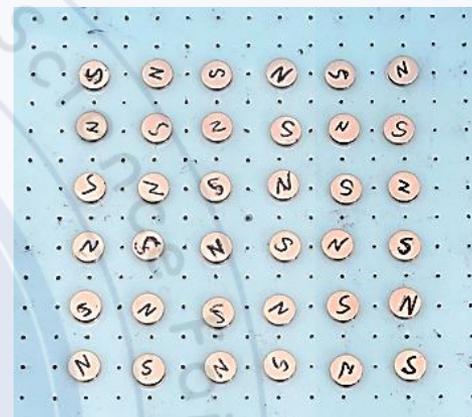


圖15 磁鐵排列實物圖

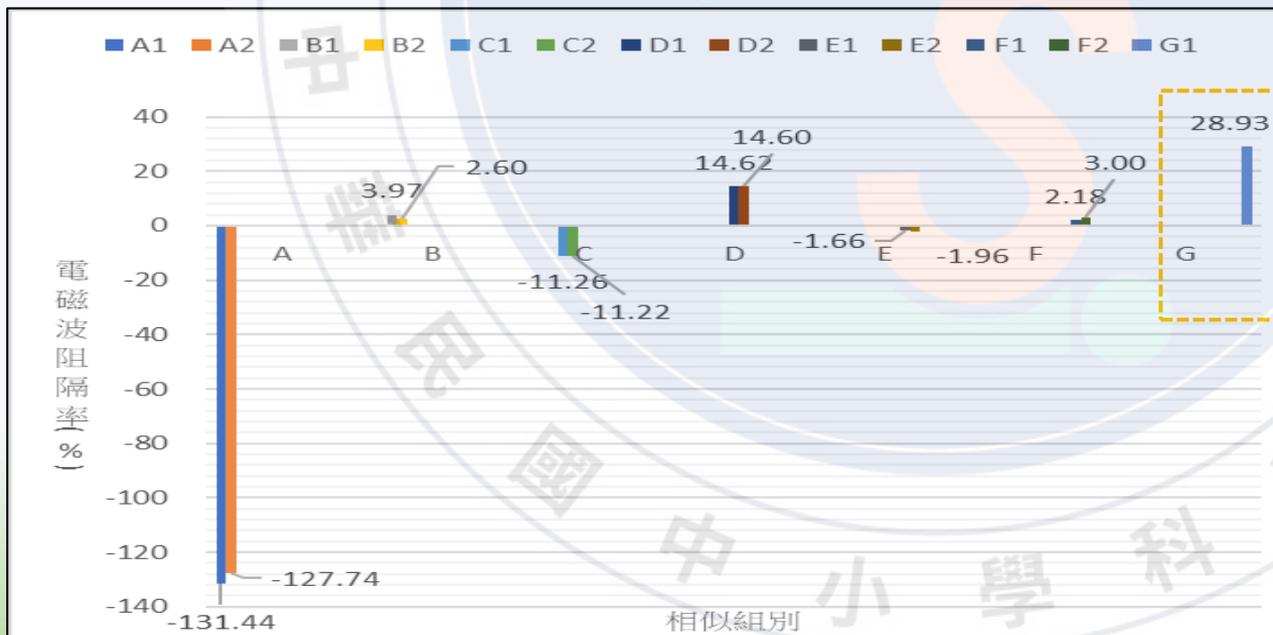


圖16 實驗結果圖

較佳阻隔率：

1. 磁極在橫向、縱向或前後都是交錯排列的情況。(G組)
2. 水平的磁場越密集時。(G、D組)

其他發現：

1. 磁鐵也可放大電磁波。(A組、C組)

參、研究結果(5)

探討「不同N/S磁場間距」對阻隔率的影響

不同磁鐵間距

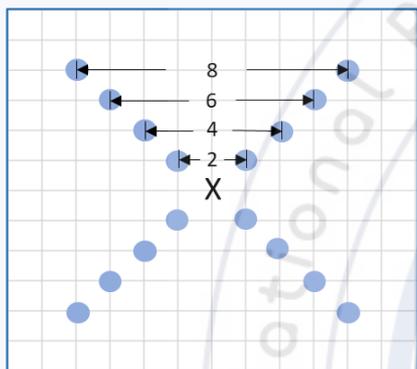
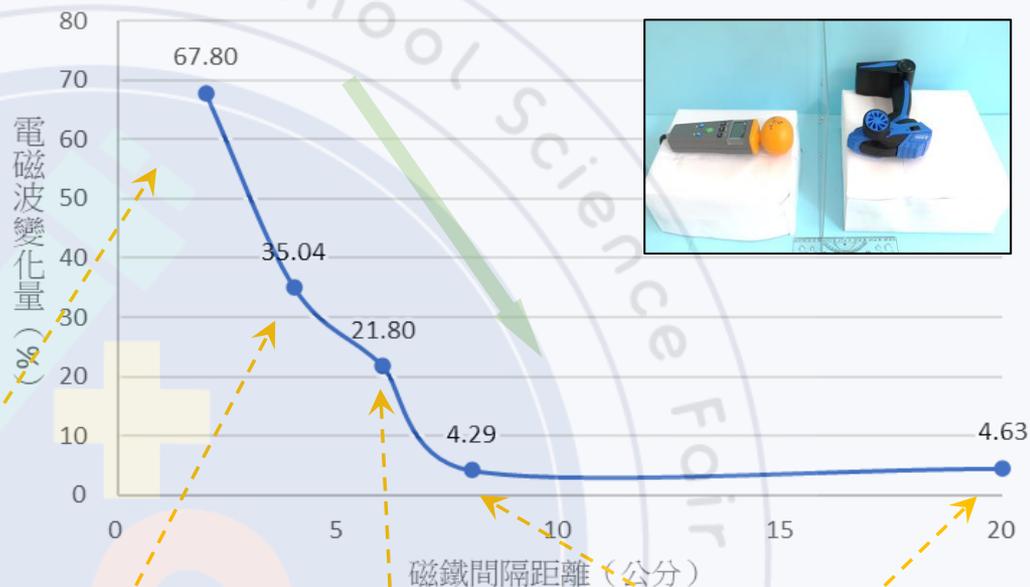


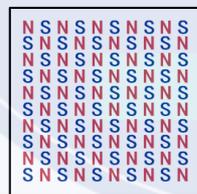
圖17 磁鐵間距示意圖

X為發射源位置，輻射狀向外擴大間隔距離。

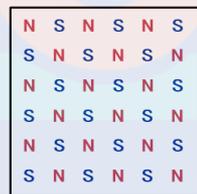
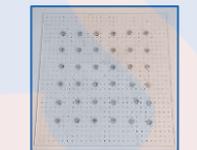
分別以間隔2公分、4公分、6公分、8公分及20公分，將磁鐵以橫向、縱向與前後都是交錯排列的情況下，分布在壓克力板中心20cm*20cm的區域。



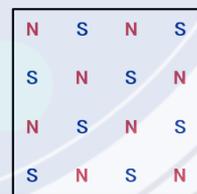
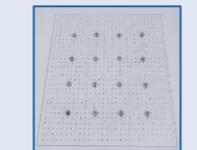
間隔2公分



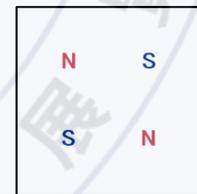
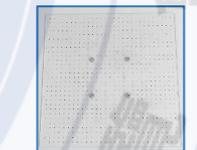
間隔4公分



間隔6公分



間隔8公分



間隔20公分

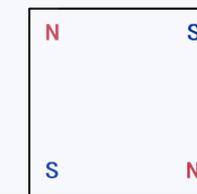
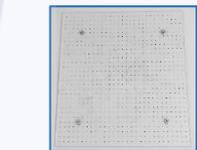


圖18 實驗結果圖

1. 磁鐵間隔越**密集**，對電磁波傳遞的影響越大。
2. 磁鐵在間隔8公分以上，對電磁波的傳遞影響已不明顯。

參、研究結果(6)

探討「對電磁波的偏振方向」影響

利用鐵絲做成格柵，檢測各角度下的電磁波強度影響。



圖19 實驗七實物圖

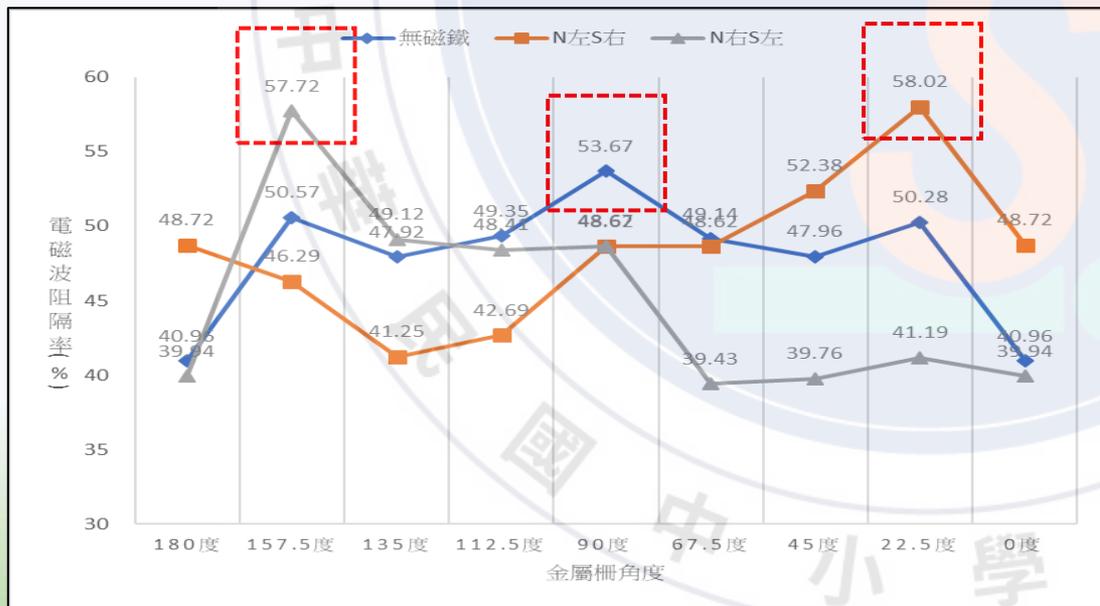
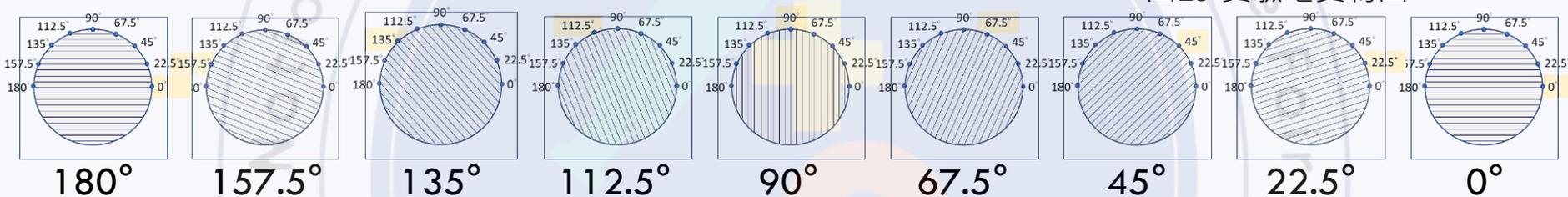


圖20 實驗結果圖

1. 觀測到原電磁波被阻隔最多的角度是90度、最少的角度是0度。
2. 加上N左S右磁場後，被阻隔最多的角度改變為22.5度、最少的角度為135度。
3. 加上S左N右磁場後，被阻隔最多的角度改變為157.5度、最少的角度為67.5。
4. 「N左S右」與「S左N右」的結果是近乎對稱的。

肆、討論

1. 磁力線分布越密集區域，具有較大的影響

- 磁通量密度在磁極末段最密集；排列越整齊的磁力線具有越佳影響。
- 一般磁鐵具有接近於強力磁鐵的阻隔效果，推測是因鐵氧體的材質特性。

2. 金屬屏蔽效應的影響，遠大於磁場

- 經由背景文獻了解，法拉第定律的推導可以得知電磁波的電場大於磁場很多，由此推論電場影響遠大於磁場變化。

3. 控制磁場方向可增大電磁波強度

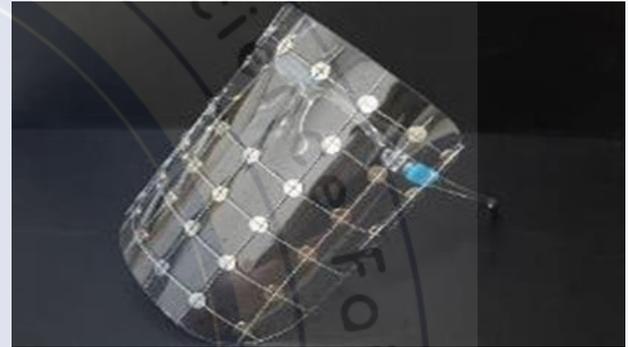
- 推測由於強力磁鐵本身是導體，在實驗5同磁極方向排列的情況下，射入磁鐵的電磁波把強力磁鐵當作天線重新發射出去。

4. 磁場改變電磁波偏振角度

- 推測原電磁波與「磁鐵磁場」交互作用而改變偏振角度。

伍、結論

1. 加入磁鐵於特定磁極排列下，能影響電磁波的傳遞。尤以**相鄰磁極交錯排列**
2. 磁鐵和電磁波發射源位於**同水平面**上、**磁力線越密集**區域、影響越大。
3. 強力磁鐵材質的導體特性，在某些排列下，也可能**放大電磁波**。
4. 外加**網狀物磁鐵吸附於金屬**上，可增加屏蔽效果。
5. 電磁波會因為外加磁場「**改變**」**偏振角度**。
6. 本實驗結果之應用：自製防電磁波面罩，**#22鐵絲**加上直徑1 cm強力磁鐵，可達**74%**阻隔率。
 - **優點：材料易取得、組裝方便，利用磁性可輕易將鐵絲吸附於面罩上。**



陸、參考資料

1. 臺南市東區復興國小，2021年【編出電磁波的彈跳網】臺南市第61屆科展作品。
2. Kiwi的物理教室，YouTobe影片，2021年，【part3 #微波的繞射#微波的干涉 #微波的駐波 #微波的偏振】
3. 朱士維教授，coursera課程，【普通物理學-電磁學、光學及近代物理 (General Physics (1))】
4. Richard Wolfson，2019年蔡仲尼等譯，【普通物理學 (下冊)】Chap 29
5. 東海大學應用物理系 光電實驗室網站，109實驗項目，雷射偏振實驗
6. 郭佳憲、李貴琪，2004年7月科學發展月刊379期，【高科技的隱形術】 p.37~41