

# 2024 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

## 普高組 成果報告表單

題目名稱： 電磁波性質探究

### 一、摘要

光線、X 射線、紫外線、紅外線等名詞廣泛出現在大眾社會的日常生活當中。可是，絕大多數群眾對於以上事物的認知僅停留在「知其然，不知其所以然」的階段，即沒有對電磁波這一整體事物形成系統性的理解。更值得注意的是，無線電波這一對人類生活產生重大影響的物質，亦作為電磁波的一種，大眾對其的認知還停留在一個非常模糊的階段。為了提升大眾對於無線電波乃至於電磁波整體的認知，本組以不同波長的電磁波具有相似物理性質作為假設，設計了一系列實驗，驗證了無線電波與光波一樣，也具有折射、反射、繞射、干涉、偏振等相似的物理性質，即基本驗證了電磁波整體具有相似的物理性質的假設。此外，本組通過實驗還驗證和解釋了無線電波能夠攜帶和傳播信息的原理。

### 二、探究題目與動機

電磁波，這一不能被肉眼觀測的物質，在人類的各種活動中具有重要作用。人類對光波，電磁波的一類，有較多的直觀理解。但電磁波有更豐富的內涵。事實上，在更長的電磁波長中，無線電波同樣對人類的社會結構及生產活動產生了重大的實際影響。

無線電波的存在首先於 1867 年被物理學家麥克斯韋所預測。在隨後的 1887 年，物理學家赫茲在實驗中驗證了無線電波的存在。十九世紀末開展了無線電波的實際應用，其標誌是第一部無線電發射和接收器的面世。這意味著通訊革命已經被發起，物理距離將不再是限制人們通訊的因素。無線電技術普適化和商業化除了作為促進社會及經濟發展的催化劑的媒介外，還推動了科技的進步。無線電波應用於天文學、地球科學等領域的觀測和資料收集。例如，射電望遠鏡利用無線電接收器來探測和研究宇宙中的無線電波信號，說明科學家們瞭解宇宙的起源和演化。由此以上可見無線電波的應用對人類的重要性。

綜上所述，本組認識到了無線電波無論在人們的日常生活還是人類的科技發展中都扮演著非常重要的角色，故本組決定對無線電波進行更深入、更進一步的探究。如前文所述，由於廣泛群眾對於無線電波和電磁波認知的不充分，因此為了更全面地了解這兩者，本組設計了一系列實驗以驗證無線電波的物理性質，從而理解無線電波實際應用的背後物理知識，此外也對電磁波整體獲取一個更深入的認識。

### 三、探究目的與假設

探究目的：

- 一：為了探究無線電波的物理性質；
- 二：為了理解無線電波實際應用的背後物理知識；
- 三：為了對電磁波這一波的集合形成更深入的認識；

探究假設：

- 一、假設電磁波整體擁有相似的物理性質；
- 二、進一步假設光波與無線電波擁有相似的物理性質；
- 三、已知光波具有反射、折射、干涉、繞射、干涉等性質。若無線電波亦具有相似的物理性質，即可說明電磁波整體具有相似的物理性質；

#### 四、探究方法與驗證步驟

##### 一、實驗儀器原理探究及說明：

本實驗中採用的無線電波發射器利用 LC 振盪電路內部電能和磁能相互轉化，以向外輻射出周期性變化的無線電波，它所發出的無線電波會被另一個 LC 振盪電路所接收，當電磁波的頻率和這個 LC 電路的固有頻率相同的時候，就會產生共振，最後這個電磁波的信號便會被接收電路拾取出來，再轉換成能夠適當使用的信號。為了驗證這個儀器能夠有效運行，本組利用了一個無線電波的接收器。當外界的無線電波通過這個 LC 電路的時候，接收電路會產生感應電流。本組通過連接在接收器上的電流錶進行測定，確實檢測到了無線電波接收器產生了感應電流，即說明了無線電波的發射及接收裝置能夠順利運作。

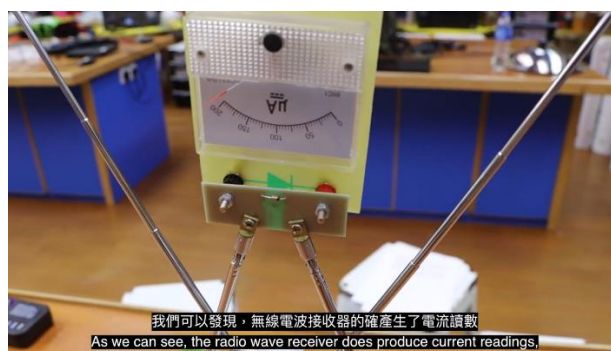


圖 1.1：在無線電波接收器上的電流錶檢測到了感應電流，電流錶顯示感應電流超過 200 微安

##### 二、無線電波轉化成不同形式信號的驗證：

在這個實驗裡面，本組利用了一個特殊的無線電波接收器，它可以把所拾取的電磁波轉化成聲音或者是光的形式釋放出來。本組通過改變發出無線電波的頻率，就可以讓接收器把無線電信號轉換成不同的形式。從實驗中，接收器可以接收無線電信號並詮釋為不同音高、節奏的聲頻，甚至是一段音樂。這個實驗直觀地展示了無線電波具有攜帶信號的功能。

圖 2.1：（圖中為接收器）通過改變無線電波的發射頻率，無線電波的接收器可以將其轉化成不同形式的信號

### 三、無線電波的反射實驗

本組採用的無線電波接收器可以顯示接收到的信號的強弱。一開始，本組把發射器放到較遠的位置。此時可以看到無線電接收器沒有顯示接收到有關的信號。如果無線電波具有可被反射的物理性質，那麼本組可以通過一定的手段讓無線電波被反射到接收器上，從而讓這個信號能被檢測。



圖 3.1：由於代表接收到信號的強弱的燈沒有亮，故無線電接收裝置現處於一個無法檢測出無線電波的狀態

如果無線電波和光一樣具有反射之後會聚的性質，那麼應該可以用一個凹面鏡把入射的無線電波會聚到凹面鏡的焦平面上的一點。本組以鍋蓋作為凹面鏡來會聚反射的無線電波，可以發現，無線電波會聚到接收器的天線的時候，接收器上的五盞燈全部亮起來了，這表明無線電波的強度的確因凹面鏡對無線電波的會聚作用而增強，也證明了無線電波和光一樣，能被曲面會聚在特定位置。



圖 3.2：接收器上的五盞燈亮了，即說明了無線電波經過反射後，成功被接收器接收並探測到

### 四、無線電波的折射實驗

本組以三角柱的石膏作為實驗道具，來探究無線電波的折射性質。現本組把發射和接收

器呈互相垂直的狀態，並把三棱鏡石膏放到它們中間，且調整它的位置，可以發現，隨著石膏位置的轉變，從而改變了無線電波的入射角度，接收器所接收到的無線電波強度都會不停地改變。這是因為無射電波在空氣和石膏中的傳播速度的不同，所以就會導致入射的無線電波發生折射，從而改變其運動方向。從此實驗亦証實了無線電波與光一樣，都遵守波的折射定律（Snell's law）。



圖 4.1.4.2：展示了不同入射角度的無線電波，所被接收到的強度是不同的

## 五、無線電波的繞射與干涉實驗

本組利用鐵板兩塊並排在一起以此形成狹縫，現在把接收器放在狹縫的正後方，而如大家所見接收器接收到了直接穿過狹縫的無線電波，這是理所當然的。但是當本組把它移到狹縫旁邊的話，可以發現它也能接收到訊號。但按常理這些無線電波如果是直線通過狹縫的話就不會發生這樣的現象。而這正是證明了無線電波具有繞射的性質，在它穿過狹縫的時候，它便發生了繞射，從而將傳播的範圍廣展到鐵板的後方，而無線電波正是憑借它繞射的性質在城市的高樓大廈中傳播。



圖 5.1：展示了即使無線電波發射器不正對著狹縫，由於無線電波具有繞射的性質，信號依然可以被接收

現在把三塊鐵板並排，組成一個雙狹縫，然後一樣把接收器放在鐵板後方，再把它由左至右移動，並記錄它所接收的無線電波強度。可以發現，接收器所接收無線電波的強度會隨著它位置的改變而變化，而在被鐵板擋著的正中間是訊號最強的地方，這就表明了無線電波是具有干涉的特性的，在它穿過狹縫的時候它會發生繞射，而更進一步的它還會和穿過另一個狹縫而來的無線電波產生干涉，從而在鐵板後方區域的不同位置生成不同強度的



無線電波，在波峰相遇或波谷相遇的地方發生相長干涉，在波峰與波谷相遇的地方發生相消干涉，從而導致了這個現象的出現，而根據波動方程的數學模型推導，在兩狹縫後方正中央所接收的波強度就是最高的。



圖 5.2：展示了接收器在雙狹縫的正後方。此時接收到無線電信號強度是最大的

## 六、無線電波的偏振實驗

波的偏振是指電場在一個固定平面上振動的現象，當偏振的電磁波經過偏振片的時候，如果偏振片的偏振軸和電磁波的偏振方向垂直時，電磁波便不能通過偏振片，相反，如果偏振片的偏振軸和電磁波的偏振方向平行時，通過偏振片的電磁波的能量最大。為了探究無線電波的偏振，本組放置一個鐵柵欄來類比偏振片，鐵支的排列方向便是偏振軸方向。通過旋轉偏振片，可以發現，通過鐵柵欄的無線電波強度最大，在偏振軸垂直柵面時最大，所以此實驗樣驗證了無線電波具有偏振性質，且無線電波電場的偏振方向便是垂直柵面。

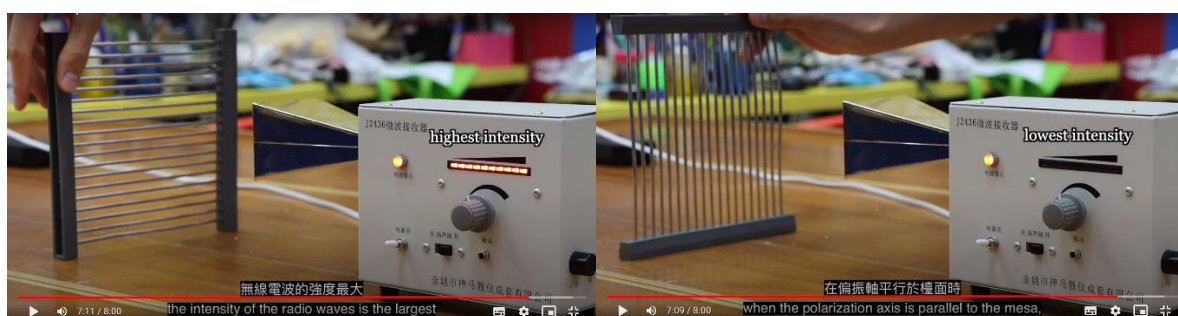


圖 6.1,6.2：通過調整鐵柵欄的位置，展示了無線電波的偏振性質

## 五、結論與生活應

通過上述的一系列實驗可以證實，無線電波具有折射、反射、繞射、干涉、偏振的五個物理性質，與光波相同。藉此，本組可以推斷出電磁波整體也具有以上五個物理性質，即不同波長的電磁波具有基本相同的物理性質。

從實驗中可以驗證，本組通過轉變無線電波發出的頻率，便可在接收無線電波信號後將其轉化為不同形式的信號，如光，聲音等。而這種被轉化出來的信號的呈現狀態亦會因為無線

電波頻率的變化而改變。由此可見無線電波具有攜帶信息的重要作用。

無線電波可以被反射，意味著在無線電波可以在不同的地理環境中傳遞，最後到達遠處的目的地。此外，雷達技術正是因為無線電波具有反射的性質，故可以對未知位置的物體進行定位。衛星通訊也因為此性質從而獲取了更大的通訊範圍。

無線電波可以被折射，意味著天線系統可以達成更高效率地接收信號的效果，因為人們可以利用折射現象將信號集中在特定區域。此外，由於無線電波的折射性質，在醫學影像成像技術中具有關鍵作用。因為無線電波通過人體組織時會發生折射，並且這種折射模式可以用於生成內部組織和器官的影像。

無線電波可以繞射，意味著無線電波可以在高樓大廈林立的城市中順利傳播，不會被阻擋。即無線電波的繞射提供了一種對地理環境要求較低的信號傳播方式。

無線電波的干涉提供了一個優化頻譜資源利用的機會。人們可以將無線電波的相長干涉或相消干涉以提供無線電通訊的效率和效能。

無線電波的偏振為人們提供了一個信號隔離或者干擾的手段。在天文學中，其應用為觀測無線電波的偏振特性可以提供有關天體物理過程和星際介質性質的重要資訊。通過分析天體輻射的偏振信號，可以研究磁場結構、行星磁層、星際介質和宇宙微波背景輻射等現象。

綜上所述，本組通過上述的一系列實驗探究出無線電波的一系列性質，並對其在現實世界的實際應用進行了探討。本組相信，可以借此通過對無線電波性質探究的實驗，讓更多人對電磁波整體形成一個更深入、更系統性的認識。無線電波，乃至於整體電磁波的應用為人類的科技發展帶來了十分巨大的貢獻，是人類現代文明的標誌，它改變了人們的通訊方法，讓距離不再成為溝通的障礙，帶動了文明的發展，相信在未來，無線電通訊將會覆蓋全球以至宇宙的每一個角落，而人類，也將會在無線電技術發展的基礎上，為未來的世界建立更高效及方便的通訊橋樑。

#### 參考資料

1. Electromagnetic wave theory WC Wang - Google Scholar, 1986 - depts.washington.edu
2. Intelligent metasurfaces: control, communication and computing, L Li, H Zhao, C Liu, L Li, TJ Cui - Elight, 2022 - Springer
3. Electromagnetic waves LA Weinstein - Radio i svyaz', Moscow, 1988 - selfstudys.com
4. Theory of electromagnetic wave propagation CH Papas - 2014 - books.google.com
5. Microwave - Wikipedia
6. Electromagnetic radiation - Wikipedia