

馬克斯威電磁統一論之由來與應用

暨南大學電機工程系教授 孫台平

e-mail: tps@ncnu.edu.tw
<http://www.ncnu.edu.tw/~tps>

一、源起

在人類的發展史上，電一直扮演著不可或缺的角色，早在西元前六百年，希臘人就發現了"電"的存在，到了正式發現電的富蘭克林開始，人類對電開始了一連串的追尋，一直到了西元 1785 年，庫倫正式發現了兩電荷之間的交互關係，也是我們所熟知的"**庫倫定律**"，使我對電的定量性，有了新的認知。但在此之前，電和磁似乎是兩不相干的物理性質，直到了西元 1802 年，厄斯特(Hans Christian Oersted, 1777-1851)發現了電流的磁效應，同年，必歐(Jean Baptiste Biot, 1774-1862)和沙伐(Felix Savart, 1791-1841)建立了帶電流的導體附近所產生磁場的公式。才揭開了電和磁之間可以用一統一理論來解釋的新氣象，自此之後數十年，展開了研究電磁學的高潮，安培(Andre Marie Ampère, 1775-1836)。高斯(Carl F. Gauss, 1777-1855)(發現高斯定律。闡明了電場的存在和量值)。歐姆(Georg S. Ohm, 1784-1854)(發現了直流網路上的電壓電流和電阻的關係)。緯伯和亨利(Joseph Henry, 1797-1878)，等偉大科學家，都曾為電磁學的發展做出偉大的貢獻，而其中又以法拉第(Michael Faraday, 1791-1867)的"**電磁感應定律**"達到了另一個高峰。

在此之間，許多科學家做出來的數據和不斷得到的實驗定律，自然需要一個統一的理論來解釋，很多優秀的物理學家為此付出了很多的努力，像高斯定律，安培定律，都是在此情形下產生的，這些科學家片段理論並沒有完全成功，直到**馬克斯威**(James Clerk Maxwell,

1831-1879)在十八世紀六十年代對研究場的概念和基礎上，統合了"高斯"，"安培"，"法拉第"三人之理論。成功的得到統一的電磁場理論。

二、馬克斯威電磁統一論之演進與歷史

馬克斯威方程式(Maxwell's Equations)---電磁學的統一論。

1864 年，馬克斯威集電學和磁學的大成，得到著名的馬克斯威的四個方程式

1. 1813 年，高斯發現了以下的電場定律：

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = Q / \epsilon_0 \dots\dots\dots(1)$$

這個定理，能夠解釋電荷靜止及靜電的現象

2. 同年，高斯又發現了磁場定律：

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

以上的定理也只能解釋靜磁及磁極單獨存在的關係

3. 1825 年，安培提出以下的定律，可以解釋電荷等速運動時，產生磁場的現象：

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\ell} = \mu_0 (I)$$

4. 1831 年，法拉第又提出了一個法拉第定律，這個定律可以解釋磁場中磁通量等速變化，所產生的電場及電動勢現象：

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\boldsymbol{\ell} = - d\phi_B / dt \dots\dots\dots(3)$$

到此為止，這些偉大的科學家所知道的，全是電荷與磁極靜止或等速運動時，電場與磁場的關係。

5. 馬克斯威最大的貢獻在於他修正了安培提出的安培定律，為安培-馬克斯威定律。並提出了以下的方程式：

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\boldsymbol{\ell} = \mu_0 (I + \epsilon_0 d\phi_E / dt) \dots\dots(4)$$

因此，如果電荷加速度運動時，電場和磁場的關係也可以得到解釋，假如電場隨時間而有大小的變化，所產生的磁場隨時間也會有大小的變化。進一步磁場如此的變化也會使電場產生變化，週而復始的循環，電磁波就會不斷產生而且前進。

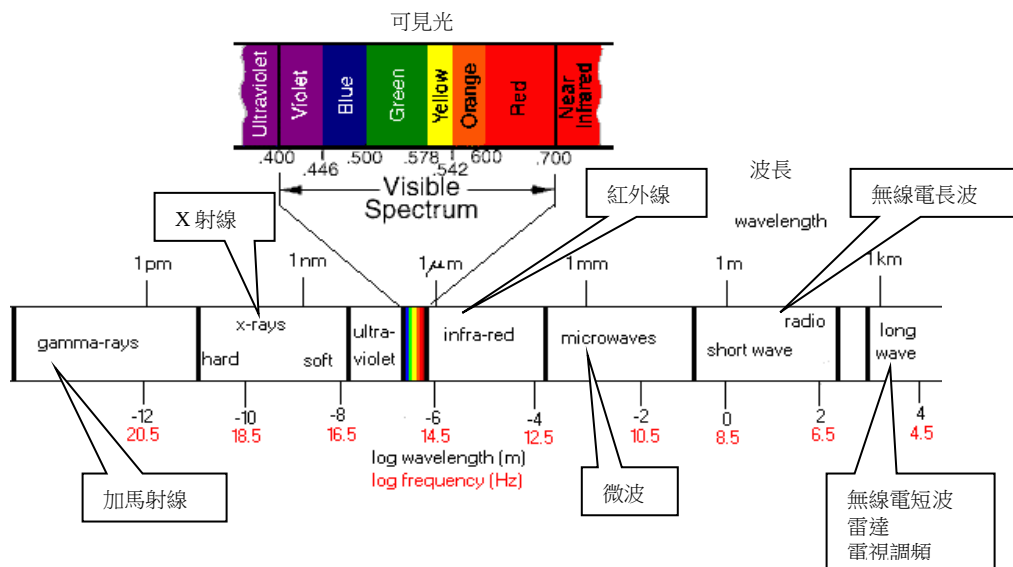
三、馬克斯威方程式的應用方面

安培定律的最好應用就是電動機，也就是我們一般所稱的"馬達"，它解釋的電荷等速運動時可以產生磁場，而法拉第定律說明了磁場的改變能夠產生電場及電動勢，它的最好的應用是發電機。而馬克斯威修改安培定律所得的方程式，裡面提到了電荷加速度時，電場與磁場大小隨時間變化的現象，會產生電磁波。而且馬克斯威方程式推導電磁波和光速相同，故可推測光是電磁波的一種。德國的物理學家赫茲(Heinrich Hertz, 1857-1894)，以簡單的電學振動方式發射出電磁波，因而證明了馬克斯威的理論。1901 年，馬克尼以電磁波產生無線電報，產生了電磁波的實際運用，今天，我們的收音機、電視機、無線電、手機等都是根據馬克斯威方程式設計出來的。

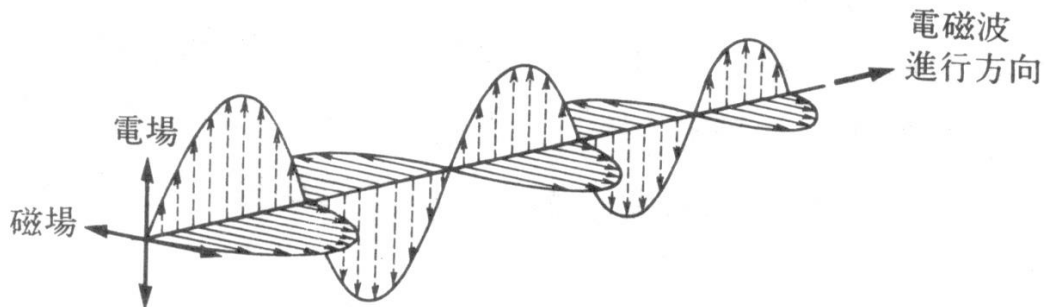
馬克斯威方程式也推導了另一個現象：電磁波的波長範圍很大，如圖一陳示各種電磁波的波長和頻率分布，稱為電磁波譜。而產生電磁波的方法均不相同，波長最長(頻率最低)的是無線電波。我們的收音機、電視機、無線電、手機、微波爐等都是由電路系統產生。高溫物體會輻射紅外線，可見光，以及紫外線。其波長為連續分布。如太陽就會輻射紅外線，可見光，以及紫外線等連續分布的光譜。波長更短的 X 射線，由陰極射線管產生，原子的能態改變時也會產生 X 射線。放射性元素會放射出 γ 射線，是波長最短(頻率最高)的電磁波。雖然電磁波的波長不盡相同，但是所有的電磁波都有相同的特性，簡列如下：

1. 傳遞電磁波不需介質，這也是電磁波和力學波的最大不同之處
2. 所有的電磁波在真空的傳遞速度都相同，和其波長無關
3. 電磁波中都有電場和磁場，兩者都隨時間變化而改變量值。

電場和磁場的振動方向和波的行進方向三者垂直，所以電磁波是橫波(如圖二)所示。這麼多的電磁場，全部都可以用馬克斯威方程式解釋，我們必須佩服馬克斯威的成就，可惜他並沒有看到他的理論被證明，也沒有看到他的理論被應用。因為他在西元 1879 年就去世了。



圖一：電磁波光譜圖



圖二：電場與磁場進行方向關係圖