**進階電磁學**

**課程筆記**

**第15-1講、**

**Maxwell Equations (1)**

授課教師：台灣大學物理系　易富國教授  
筆記編寫：台灣大學物理系　曾芝寅助理  
編者信箱：[r01222076@ntu.edu.tw](mailto:r01222076@ntu.edu.tw)  
上課學期：100學年度第一學期

[描述: 創用 CC 授權條款](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/tw/deed.zh_TW)  
本著作係採用[創用 CC 姓名標示-非商業性-相同方式分享 3.0 台灣 授權條款](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/tw/deed.zh_TW)授權.

**教科書**

**Feynman Lecture on Physics, Vol. 2**

**Chapter 18. Maxwell equations 馬克斯威爾方程式組**

18-1 Maxwell’s equations

18-2 How the new term works

18-3 All of classical physics

18-4 A travelling field

18-5 The speed of light

18-6 Solving Maxwell’s equations; the potentials and the wave equation

**馬克斯威爾方程式組 (Maxwell’s Equations)**

1. 高斯定律 (Gauss’s law)

不需要修正的靜電學定律。

1. 磁場高斯定律 (Gauss’s law for magnetism)

不存在單一磁荷。

1. 法拉第感應定律 (Faraday’s law of induction)

磁場(或電流的變化)產生具有環場積的電場。

1. 安培-馬克斯威爾定律 (Ampère’s circuital law with Maxwell’s correction)

經過馬克斯威爾的修正加入的項常稱為位移電流 (displacement current)。

一個帶電粒子的運動方程式，經過相對論的修正後為

費曼將此式的解釋為獨立於馬克斯威爾方程式(法拉第感應定律)的方程式。

事實上窄化了法拉第感應定律的解釋。

另外，若加上牛頓的萬有引力

以上是1905年以前的物理，即**古典物理 (Classical physics)**，為當時一切物理學的骨幹。

**馬克斯威爾的修正──位移電流 來源**

假設安培定律只有 ，若取該式的散度：

馬克斯威爾舉了一個反例：

同樣以 為邊，，出現矛盾。

費曼的另一個例子：點電流源

可想像為非極性的 衰變源，電子向四面八方發射。

如此電流密度 所產生的磁場 為何？

方法之一：從球型旋轉對稱性，得 。

然而從磁場高斯定律 ，因此 。

唯一的可能即是 。

如此便發生了矛盾：

解決矛盾的辦法在於定義一個電流 ，強迫任意一點的電流為零。

解釋如下

因此

此為位移電流項的由來。

這項的由來，是原點的電荷變化率，所造成的位移電流。

費曼的設計來自電荷守恆，也保證了馬克斯威爾方程式滿足此想法。

由安培-馬克斯威爾定律，和高斯定律，我們可得**電荷局域守恆**的方程式：

我們可說**電荷局域守恆**方程式，是馬克斯威爾方程式的副產品。

馬克斯威爾當初的想法可能並非來自電荷守恆，而是變化中的介電物質。

介電物質中電偶極矩的變化，以彈簧綁住正、負電荷視之。

外在隨時間變化的電磁場，造成的電偶極矩的變化，進而造成位移電流。如同彈簧的伸縮。