**進階電磁學**

**課程筆記**

**第4-1講、**

**Ch13 Magnetostatics（靜磁學）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 13. Magnetostatics 靜磁學**

13-1 The magnetic field

13-2 Electric current; the conservation of charge

13-3 The magnetic force on a current

13-4 The magnetic field of steady currents; Ampere’s law

13-5 The magnetic field of a straight wire and of a solenoid; atomic currents

13-6 The relativity of magnetic and electric fields

13-7 The transformation of currents and charges

13-8 Superposition; the right-hand rule

磁場的介紹可由兩個方法切入：

一個極端的方法是透過羅倫茲變換 (Lorentz Transform)，將電場變換為磁場。

採用這個方法必須對特殊相對論 (Special Relativity) 有一定的信心。

可參考：

Electricity and Magnetism, by Edward M. Purcell, Berkeley

Principles of Electrodynamics, by Melvin Schwartz

本課採用較為傳統的方法。即透過歷史的進程，從馬克斯威爾以及羅倫茲力出發。

**靜磁學 (Magnetostatics)**

* 古希臘人，發現磁鐵會互相吸引。磁針的方向可決定方向。
* 1820年，丹麥人**厄斯特 (Oersted)** 發現**電流產磁**。即電流使磁針偏轉。此為電動力學之始。
* 1831年，**法拉第 (Faraday)** 發現**電磁感應**。對磁鐵做相對運動的線圈環，可以產生電流。
* 1861年，馬克斯威爾 (Maxwell) 寫下現在稱為羅倫茲力 (Lorentz force) 的方程式。

羅倫茲力並非獨立於馬克斯威爾方程式的新物理定律，而可透過相對性原理求出。

兩坐標系 ，，有

請參考普通物理學甲下，特殊相對論單元IV。

**電流 (Electric Current)、電荷守恆 (Charge Conservation)**

磁場產生的原因，通常是因為有電流。

電荷密度 ，電荷移動速度 ，在單位時間 ，流過指向 的單位截面積 內，電荷流過的量為 。

定義**電流密度 (current density)**  ，

電流對該面積的通量是

若 ，電流密度之通量一般性的由內積表示

討論封閉曲面 內的電荷密度通量，

其中 稱作體積元，。

透過散度定理，

得到

或

此方程式代表**電荷局域守恆 (local charge conservation)**，此式的意義是任何空間點上的電荷量變化，一定是從其周圍進出，而非憑空消失或產生。

這個式子是馬克斯威爾方程式必然的結果。我們將在後面推導。

**作用在電流上的磁力**

金屬柱體積 ，其中載流子帶電荷 、速度 、數量密度 ，放在磁場 中，如圖，

根據羅倫茲力，每個載流子受力

總力

單位體積受力

因此

可定義電流 ，單位長度受力

此為受到磁場作用下，電流所受到的力。

**安培定理和電荷局域守恆**

將安培-馬克斯威爾定律 (微分形式) 取上旋度、再利用高斯定律即推導出。

**靜磁的意義**

另外還有

因此我們得到安培原始的定律，靜磁的版本：

我們知道磁場為軸向量 (axial vector)，對於圓柱旋轉對稱的電流安排，

長直導線

無限長螺線管

­

做鏡子 M：

過點 P、垂直螺線管軸。

得磁場方向垂直鏡面， 。

點P在管內或管外皆然。

軸上的磁場 借用Biot-Savart的結果， 。

利用安培定理：

* 若 P在管外( P1 )

**，管外無磁場。**

* 若 P在管內( P2 )

**，管內有均勻磁場。**

天然的磁鐵，內部具有分子電流，來自電子的自旋 (spin) ，因此給出磁偶極矩，其效果如同螺線管電流。這個純粹是量子力學的效應。