**進階電磁學**

**課程筆記**

**第1-1講、**

**Ch1 Electromagnetism (電磁學) 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
上課學期：100學年度第一學期


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 1. Electromagnetism 電磁學**

1-1 Electric forces 電力

1-2 Electric and magnetic fields 電場與磁場

1-3 Characteristics of vector fields 向量場的特徵

1-4 The laws of electromagnetism電磁學的定律

1-5 What are the fields? 什麼是場?

1-6 Electromagnetism in science and technology 科學與科技中的電磁學

**靜電力 (Electrostatic Force)**

* 靜電的發現可追溯至希臘文明。主要是摩擦起電的現象。
* 課中演示的Van de Graaff 起電機，即能產生靜電作用。
* 靜電作用，我們稱之庫倫力 (Coulomb force)。
* 庫倫力如同牛頓重力，為**距離平方反比定律 (inverse square law)**。
* 靜電力的本質強大。生活中的物質中電荷巧妙平衡。
* 電中性 (不帶電) 的物質同樣受靜電力吸引。原因是物質內部的原、分子受靜電而電荷部分分離，負電荷較正電荷靠近靜電來源，故引力較斥力強。

**(極化的示意圖)**

原為電中性的物體部分電荷分離

**原子 (Atom)**

* 生活中的物質皆由原子構成。原子的構成是負電荷的電子 (electron) 以及正電荷的原子核 (atomic nucleus)。
* 1911年發現原子中大部分的質量集中在很小的區域，稱作原子核。
* 原子核內有許多帶正電的質子 (proton)。
* 1932年發現中子 (neutron)，原子核的另一構成物質，不帶電荷。
* 質子與質子、質子與中子、中子與中子之間存在強大的引力，短程作用力。如此原子核才能免於強大的庫倫力而崩潰。
* 原子核的原子序 (質子的數目) 為92，即鈾原子，庫倫力和核子間的強作用力接近平衡。具有更大原子序的原子，原子核便崩潰。
* 核能 (nuclear energy) 的本質是電能。

*N*

*N*

*N*

*N*

*N*

*N*

原子核

**靜電作用 (Electrostatics)**

$$Q\_{1}$$

$$r$$

$$\vec{e\_{\vec{r}}}$$

$$Q\_{2}$$

兩電荷間作用的數學形式：

$$\vec{F}\_{1,2}=\frac{1}{4πϵ\_{0}}\frac{Q\_{1}Q\_{2}}{r^{2}}\vec{e\_{\vec{r}}}$$

力的來源是**電荷 (charge)** ，其中 $\frac{1}{4πϵ\_{0}}$ 為庫倫常數 (Coulomb constant)。

以上完全相似於牛頓萬有引力的形式：

 $\vec{F}\_{G;1,2}=-\frac{Gm\_{1}m\_{2}}{r^{2}}\vec{e\_{\vec{r}}}$

$$m\_{1}$$

$$r$$

$$\vec{e\_{\vec{r}}}$$

$$m\_{2}$$

力的來源是**質量 (mass)** ，其中 $G$ 為重力常數 (gravitational constant)。

上面兩個想法是作用力可以跨過一個距離，瞬間達到空間中另一個點。

這個源自牛頓的想法稱作**跨距直接作用**。

法拉第 (Faraday) 處理介電物質時，得到**場 (field) 的思想**。電荷 (場源) 只能對其鄰近空間有效，作用是一點一點的傳播出去。

$$Q$$

$$q$$

馬克斯威爾 (Maxwell) 將**真空當作是介電物質**，傳遞著電的效應，這是場的概念。

$$Q$$

$$r$$

$$q$$

電荷 $q$ 的受力可寫成 $\vec{F}=q\frac{1}{4πϵ\_{0}}\frac{Q}{r^{2}}\vec{e\_{\vec{r}}}=q\vec{E}$ ，$\vec{E}$ 稱為電場 (electric field)。

這個場的思想與跨距直接作用互相對比。

**場的概念是電磁學的中心思想**，取代跨距直接作用。

因此我們可將力寫成力源與力場分開的形式：$\vec{F}=q\vec{E}$

**電場與磁場 (Electric Field and Magnetic Field)**

磁鐵也有跨過距離互相吸引的效果，似乎是跨距直接作用的案例。

1600年，Gilbert 有了新的看法：引進磁場 (magnetic field) 的概念，將地球看作是一大塊磁鐵，而磁鐵產生的磁力線 (磁場)，影響地球上磁鐵的指向。

*N*

*S*

*N*

*S*

*N*

*S*

*N*

*S*

*N*

*S*

1820年，厄斯特 (Ørsted) 發現電流對磁針的作用，首先將電和磁的現象作連結。最終推導出羅倫茲力 (Lorentz force) 的公式：

$$\vec{F}=q\vec{v}×\vec{B}$$

總結起來，一個運動的電荷 $q$ ，在慣性坐標系下，受電、磁的作用力為：

$$\vec{F}=q\left(\vec{E}+\vec{v}×\vec{B}\right)$$

這個公式並不獨立於馬克斯威爾的電磁學方程式組。而是可以從此導出。

磁的現象可由靜電作用和特殊相對論 (special relativity) 的坐標系轉換得出。

特殊相對論之下，方程式 $\vec{F}=q\left(\vec{E}+\vec{v}×\vec{B}\right)$ 仍然正確，唯一要改變的地方是對於動量 $\vec{p}$ 的定義：

$$\vec{F}=\frac{d}{dt}\vec{p}=\frac{d}{dt}(\frac{m\_{0}\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^{2}}{c^{2}}}})$$

**疊加原理 (Superposition Principle)**

利用電場與磁場表達電磁作用的好處之一，是電磁場滿足疊加原理。

假設有兩電荷 $q\_{1}$, $q\_{2}$，分別產生電場 $\vec{E}\_{1}$, $\vec{E}\_{2}$，總電場為 $\vec{E}=\vec{E}\_{1}+\vec{E}\_{2}$。

同理，磁場也有 $\vec{B}=\vec{B}\_{1}+\vec{B}\_{2}$

後話：電磁波裡的干涉現象，就是疊加原理的結果。

任一電荷 $q\_{i}$ 作任意運動，產生之電場 $\vec{E}\_{i}$、磁場 $\vec{B}\_{i}$ 。

$$q\_{1}$$

$$\vec{v}\_{1}$$

$$q\_{i}$$

$$\vec{v}\_{i}$$

$$q\_{N}$$

$$\vec{v}\_{N}$$

空間中總的電場與磁場為：

$$\left\{\begin{array}{c}\vec{E}=\sum\_{i=1}^{N}\vec{E}\_{i}\\\vec{B}=\sum\_{i=1}^{N}\vec{B}\_{i}\end{array}\right.$$

，如此我們可計算電磁作用力。

描述任何一個做任何運動的電荷所產生的電、磁場的定律是存在的，即Heaviside-Feynman 公式。然而此定律不夠簡潔，不利於初學者的理解，我們最好從描述電、磁場特性的馬克斯威爾方程式(組) (Maxwell equations) 出發。

電磁場的力線概念的表達，不利於疊加原理的理解。

以後我們不採用力線，改而採用向量的數學形式表達。

$$\vec{E}=\vec{E}\left(x,y,z,t\right), \vec{B}=\vec{B}\left(x,y,z,t\right)$$