**進階電磁學**

**課程筆記**

**第21-1講、**

**Chapter 27**

**Field energy and field momentum**

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：f01222076@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 27. Field Energy and Field Momentum**

27-1 Local conservation

27-2 Energy conservation and electromagnetism

27-3 Energy density and energy flow in the electromagnetic field

27-4 The ambiguity of the field energy

27-5 Examples of energy flow

27-6 Field momentum

**局域守恆律**

**Local Conservation Law**

某個東西**同時**在A地消失，B地出現 (神出鬼沒式的守恆) 。

A

B

A

B

事件A (A地消失)與事件B (B地出現) 的時空距離是類空的 (space-like)。

然而所謂的同時，取決於觀察者所在的坐標系。在一坐標系為同時，不代表在另一坐標系亦然。因此，**神出鬼沒式的守恆 (**Global conservation**)，不滿足相對性原理，也就不滿足相對論的要求。**

局域守恆的意義：物體從A移動，必定要經過A的附近。

A

若以一個籠子，將A點的電荷 包住，電荷必定要穿過籠子，並以電流的型態流出去。流出去的通量必定和電荷的減少量有關係。

一般性的，可以寫成微分形式

或者

上式即為**電荷局域守恆律 (Charge local conservation law)**。

**能量守恆律與電磁學**

**Energy Conservation and Electromagnetism**

能量應也有局部守恆律。能量如同電荷，某處消失的必定從邊界流出去。

其中

 為電磁場能量密度、

為電磁場能量流強向量。

在只有電磁場，沒有物質的世界，上個式子成立。

若空間中有電荷，電磁場能對其作功，將能量傳到電荷的運動上。

在體積 中電荷量 的受力：

其受力所作的功

因此，

在一般的情況，能量守恆如同上式表示。

**能量密度與能量流**

**Energy Density and Energy Flow**

電磁場對單位體積中電荷的作功 (功密度)

另由安培-馬克斯威爾方程式，

原是中 以電磁場表示，

此處提供一費曼的微分技巧

(免記公式的辦法， 是微分算子)

目的是使得順序可以任意調度，將微分算子當作向量處理

可寫成

得到原式

再利用法拉第感應定律

最後得到：

**電磁場能量密度**

**電磁場能量流強向量** ，也稱作Poynting向量 (Poynting Vector) 。