**普通物理學甲下**

**課程筆記**

**二十二、電磁學**

**電磁波之能量流向量**

**光壓、動量、角動量**

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：98學年度第二學期

[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.

**Poynting向量**

電磁學中的能量流強向量，定義為 。(請參考上一講)

**平行電板問題**

，

+ + + +

+ + + +

*A*

**能量**

* 在鄰近電板 處，

面積 上之作功 之功率 (能量輸出)

* 在遠離電板 處，

面積 上單位時間之能量 輸入

，注意：取值時刻不同，有時間 的延遲

**動量**

在靠近電板 處，

面積 上的電荷受 磁力作用 ，沿 方向

板的方向動量變化 ，形成電磁場攜帶動量

**電磁場所帶動量 = 電磁場所帶能量**

光壓

**光壓等於**

動量密度 ，有

**光壓** ，和動量密度差一個光速的倍數。

**結論：電磁波不僅帶有能量，也帶有動量。**例如彗星的彗尾(離子尾)的產生即來自太陽光的光壓。

**例題、無限長螺管**

無限長螺管之單位長度上有 匝導線，其上載有電流 。管內有兩圓柱體 (半徑分別為 , ) 與管共軸，分別帶均勻電量 和 ，柱高 。

在半徑 處，

電場

(可由高斯定律，僅在兩圓柱間)

磁場

能量流

動量密度

角動量密度 (沿*z*方向)

，為一定值。

整體的角動量 (僅在兩圓柱間)

**把電流關掉**

帶電圓柱體 *a* 會以 方向旋轉，*b*相反

感應電場 方向依冷次定律，同原電場 方向

大小可依法拉第定律 計算

得

力矩

角動量變化

角動量從電磁場中釋放，表現在帶電圓柱的轉動上。

電磁場帶有角動量，可聯想至電磁場之**圓形偏振**。

**偏振：線形偏振與圓形偏振**

單位面積上有 個原子

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

+

*q*

**狀況I**

**狀況II**

**狀況III**

各帶一電子電荷 ，質量

所有電子協調一致地震盪

以簡諧震盪 (SHM) 模擬，震盪係數

可視為平行電板問題

得感應電場 ， 為電子速度；

有輻射 ，遠離板面方向。

**狀況I**

若電子震盪方向為方向，可解電子位置

,

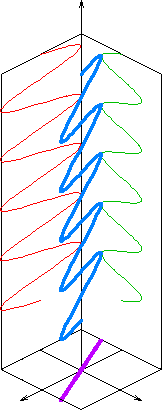
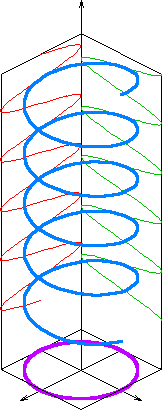
感應電場 在 方向震盪。

**狀況II**

若電子震盪方向為 方向，同理，

感應電場 在 方向震盪。

**若電磁波之電場在垂直行進方向之平面 (狀況中為 -** **平面) 震盪方向不改變，稱為線形偏振 (linear polarization)，如下圖左。**

[](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Linear_polarization_schematic.png)　　　　　　　　　[](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Circular_polarization_schematic.png)

**線形偏振**　　　　　　　　　　　**圓形偏振**

**狀況III**

若所有電子協調一致地在 **-** 平面上旋轉，設電子位置

分別滿足

解可簡化為 ，

定義

，

**若電磁波之電場在垂直行進方向之平面上 (狀況中為 -** **平面) 作旋轉，**

**稱為圓形偏振 (circular polarization)，如上頁圖右。**

如此可依電磁波中電場的旋轉方向，分為左旋光與右旋光。

偏振的討論可深入光學領域，如光的反射、折射、布魯斯特角 (Brewster's angle)，在此略而不談。

電子因感應電場受力 ，作功功率

定義 ，

假設為等角速度

得

圓形偏振的電磁波振動頻率 等於電場轉動頻率

在此引進普朗克 (Max Planck) 的光量子假說，能量

得 ，(順時針或逆時針)

**注意：圓形偏振的電磁波 (或，光子) 角動量變化是量子化的，(量子，) 換句話說是離散的變化；而能量卻不是，因為頻率 可以連續變化。**

**小結——電磁波**

* 馬氏方程式中的法拉第定律和安培-馬克斯威爾定律可導出電磁場波動方程式，平行電板問題的解為左行波和右行波。
* 電磁波以光速*c*傳播，有時間延遲而非瞬間到達，應反映稍早的變化。
* 電磁波能量流強 ，其能量來自電板作功。
* 從電板的動量變化可看出電磁波帶有動量。
* 電磁波之動量能量
* 光壓 動量密度
* 角動量密度
* 圓形偏振之電磁波，其振動頻率等於電場轉動頻率。
* 光子的角動量變化是量子化的，。

附註：本筆記除了第五頁頁末之兩張圖片取自維基百科網站之外(網址如下)，其餘部分均適用首頁聲明之創用CC授權條款。

<http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Linear_polarization_schematic.png>

<http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Circular_polarization_schematic.png>