**普通物理學甲下**

**課程筆記**

**二十四**

**Let There Be Light**

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.

**加速電荷產生之電場**

上一講中推導了加速電荷產生輻射電場和輻射功率之公式，即Larmor公式。以上結果當然也可通過求解馬克斯威爾方程式得之。

**注意：**

電荷作等速直線運動所產生之電場，如同庫倫電場。不同的是：電場指向當下電荷之位置，而非稍早之時間延遲的位置。表現出電荷似乎能預知未來。

**觀察：**

高速(接近光速)行進之電荷產生之電場，形似沿著光行進方向壓扁的庫倫電場。

對電荷加速、剎車，造成電場傳播中所表現的折線，即為輻射出的電磁波。

可Google搜尋 “The field of a moving point charge”

參考網站"Moving Charge Applet", Caltech PHYSICS,  
<http://www.its.caltech.edu/~phys1/java/phys1/MovingCharge/MovingCharge.html>

**Let there be light**

馬克斯威爾方程式結合了磁、電、光的現象。

加速電荷產生電場

加速電荷產生、輻射出去的功率

(Larmor公式)

其中 ，(推遲時間，retarded time)。

以上公式的適用範圍是 。

能適用在加速度隨時間變化處，不只是等加速度運動，是很有用的公式。

**X光**

倫琴 (Wilhelm Röntgen) 於1895年通過將高速的電子煞車減速的發現，

並於1901年諾貝爾物理學獎開辦後之第一個得主。

+ + + +

| | | |

+ + + +

| | | |

**鎢靶**

X光

作法：電子產生自某裝置，以平板加上高電壓 (例如百萬伏特) 將電子加速，打往鎢 (原子序數越大煞車效果越好) 做的靶，使電子立即減速至停止。在垂直方向上有最大的輻射，即為X光。

X光相關重要貢獻：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1914年 | 勞哀 (Max von Laue) | 發現晶體中的X光的繞射現象 |
| 1915年 | 布拉格父子 (William Henry Bragg, William Lawrence Bragg) | 以X光繞射研究結晶結構 |
| 1917年 | Charles Glover Barkla | 證明X光具有偏振等各種波動之特性 |
| 1915年 | Henry Moseley | 用X光決定原子內層電子的躍遷光譜，  決定原子序數 |
| 1927年(得獎年) | 康普頓 (Arthur Compton) | 通過電子撞擊石蠟，發現X光具有粒子性質 |
| 1962年 | M. F. Perutz、J. C. Kendrew | 決定血紅蛋白的結晶構造，了解其攜氧能力 |
| 1962年 | 華生 (James D. Watson)、  克里克 (Francis Crick)、  威爾金斯 (Maurice Wilkins) | 發現DNA雙螺旋結構 |
| 1970年代 |  | 電腦斷層掃描CAT (computed axial tomography)，結合X光和Computer的技術 |

參考網站 "X-rays". Nobelprize.org. 5 Oct 2010  
<http://nobelprize.org/educational/physics/x-rays/>

**同步加速器**

今有同步加速器，

電子繞著環以高速 (接近光速) 行進。

電子彎曲時，有向心加速度，沿切線方向 (如左圖之黑色區域) 出現最大的 (同步) 輻射，可作實驗用。

**光學上的應用**

光的偏振方向是電場方向。

光是橫波 (行進方向垂直震盪方向)，因此有兩個方向自由度。

**太陽輻射**：

**無光**

**有光**

**布魯斯特角 (Brewster's angle)**，特定入射角使得反射光消失。

發生條件：折射光的偏振(電場)方向平行於反射光的前進方向

根據反射定律 和折射定律 (Snell’s law)，

**無光**

**物質A**

**物質B**

**物質A**

**物質B**

**天空為何是藍的？**

電子質量 ，電量 ，

空氣分子受來自太陽電磁波之驅動產生輻射。

電子在原子中 (以彈簧近似)，有阻滯力 ，

並受天空中電磁波 (設為*y*方向) ，(頻率，) 所驅動。

電子運動方程式： 。

整理：，同受週期性之力的**震盪器**

此方程式之解的形式為 。

帶入原方程式得：

得到震幅 ，當 ，(此處不關心相位角)。

空氣中的氮氣 、氧氣 之自然頻率 為紫外光。

對於可見光，。

電子之加速度

Larmor公式告訴我們輻射能量

輻射能量 (之時間平均) 正比於頻率的四次方，

而 ，

因此天空中主要散射出藍色光。

**雷射冷卻術**

電子在空氣中的方向是均勻的，因此動量平均等於零。

然而光帶有動量，照到原子上會影響其動量，可改變原子的速度(使之慢下來)。

作法：將 原子(，或其他鹼金屬)，自然頻率 。

放置在雷射共振腔(駐波)的背景中，。

原子

原子速度 ，都卜勒效應 (Doppler effect) 改變原子所見之雷射頻率：

迎面的光頻率為

背面的光頻率為

調整雷射 如圖下， 原子感受到兩邊的光壓差而減速。



光強度

共振腔座標

迎面座標

背面座標

光壓差

因為前後都有雷射光，原子的速度 可被控制得很小，

使共振腔中的原子之溫度降至 。

原子在低溫下，會產生許多有趣的量子效應，值得研究。

此技術為雷射冷卻術，發明者為1997年其中一位諾貝爾獎得主，朱棣文。

**原子的行星模型**

1909年，拉瑟福 (Ernest Rutherford) 在*α*粒子對金箔的散射實驗中，發現一些大角度的反彈事件，得知原子的正電荷集中在原子很小的區域 (原子核)，並且很重。(電子則是1895年發現。)

**沒有穩定存在的原子：**

電子之加速度 (牛頓力學)

電子輻射功率

原子的機械能

機械能變化率

原子通過電子輻射損失機械能：

定義 ，常數

電子墜落至原子核 上需時

**牛頓力學 馬克斯威爾方程式 → 原子不穩定存在**

**這是一個物理學的危機。**

**原子不穩定危機 / 量子力學**

1900年，普朗克 (Max Planck) 所發現的重要常數：普朗克常數，才得以解決這個危機。經過三代物理學家，計25年的努力，發展量子力學，危機得以解決。

**馬克斯威爾方程式的結語：Let there be light**