

# 雷射

王大康

## 一、引言

1. 定名：雷射的英文名字是 (LASER, 由 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation 之字首所湊成, 其中文意義就是由輻射激發所生光的放大作用。但嚴格來講實在並不是放大, 而是產生一種特殊性質的光。
2. 發展歷史：1953 與 1954 年間首先由馬利蘭大學 Weber, 哥倫比亞大學 Townes 及其學生, 以及蘇俄的 Basov 與 Prokhorov 等人分別各自發明, 脈射 (MASER, Micro wave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) 而在 1960 年由 Maiman 發明雷射 (又稱為 Optic Maser)。
3. 簡敘原理：設法將大量的原子激勵到一個高能階, 然後突然的全部降到 Ground State 即放出強大的電磁波。

## 二、有關雷射的基本要件

1. 相干性 (Coherence)：依照普通光學定義, 相干性就是一種能夠產生干涉現象的光, 而雷射的特性, 就是牠所發出的光是具有相干性。因為在這種情況之下, 各原子所放之光, 其波幅是可以相加的。否則有了相差, 其強度必會大大的打折扣, 終畢與普通光無多大區別。這裏可舉一個例子說明, 如果很多人在一條不太穩固的橋上走過, 要是步伐一致的話, 則橋很可能會斷, 其原因就是波幅加強之故。相干性可分空間與時間二種, 前者是指由二不同點所放出之單色波之相角關係, 後者是指在同一地點由時間不同所造成的相位關係。
2. 自發與激發與愛因斯坦係數 (Spontaneous & Stimulated Emission)  
當原子依照  $E_2 - E_1 = h\nu$  而吸收能量後, 能階增高, 此時原子很不穩定就依照下列兩種放射方法而回到低能階。
  - ① 自發放射：是一種原子由高階不經任何外因放出能量而回到低能階之固有性質, 因其原子依不規律的時間各自放出輻射能, 故為不相干性的光 (非雷射光)。其發生的或然率用  $A_{ik}$  表示之。
  - ② 激發放射：由吸收外界能量階增高而引起之感應放射 (Induced Emission) 由於牠的相營與外加的相同, 故由此可以產生雷射光, 其或然率用  $B_{ik}$  表示之。

在吸收, 自發與激發輻射三者之間存有下列關係

自  $k$  階增到  $i$  階之原子數  $N_{ki} = B_{ki}\rho(\nu)$

自  $i$  階跳回到  $k$  階的原子數

$$N_{ik} = N_i [B_{ik}\rho(\nu) + A_{ik}]$$

此二量相等則有  $N_k B_{ki}\rho(\nu) = N_i [B_{ik}\rho(\nu) + A_{ik}]$

$$\therefore \frac{N_k}{N_i} = \frac{B_{ik}\rho(\nu) + A_{ik}}{B_{ki}\rho(\nu)}, \rho(\nu) \text{ 是能量密度}$$

如果依照 Boltzmann 分佈律則有下列關係

$$\frac{K_k}{N_i} = \frac{e^{-E_k/KT}}{e^{-E_i/KT}} \quad k \text{ 是 Boltzmann's 常數,}$$

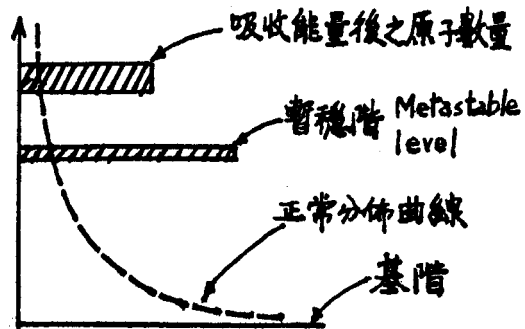
如果在多層能階 (Multiplications of Levels) 情況下則有

$$\frac{N_n}{g_n} = \frac{N_m}{g_m} \exp\left(\frac{-(E_n - E_m)}{kT}\right)$$

就上面公式可知在一系統中, 能階越低原子個數越多。

### 3. 反常態能量分佈 (Population Inversion)：

在上面正常情況要想找出大量高能階原子跳到低能階而放出相干性的光實為不可能。唯有先把高階原子加多, 才能發雷射光, 這理想的分佈情況稱之為反常態能量分佈。其分佈如下圖：



暫穩階有一特性即凡原子能階在此則可以維持相當長之時間而不立即降至基階。因此我們利用這個性質才可以聚集大量的高能階的原子。

通常這兩種能階是由兩種不同材料構成。例如紅寶石雷射就是用  $Al_2O_3$  與 Cr 原子來分別吸收階與暫穩階。

如果能量吸收的眼光看, 這種反常態現象可解釋為是一種「負吸收」(Negative Absorption), 其理論根據概敘如下：

設有一平行光, 其週頻界於  $\nu$  與  $\nu + d\nu$  之間, 強度為  $I_\nu$  在介質中之速度為  $V = C/\eta$  ( $\eta$  為折射率), 穿過介質之厚度為  $dx$ , 又設在第一能階有  $dN_{1\nu}$  ( $N_1$  atoms/ $Cm^3$ ) 可以吸收能, 而在第二能階處有  $dN_{2\nu}$  個原子 ( $N_2$  atoms/ $Cm^3$ ) 可以發射能, 則  $I_\nu$  所失去的能量與此二種原子有下列算式之關係。

$$-d(I_\nu d\nu) = h\nu (B_{12}dN_{1\nu} - B_{21}dN_{2\nu}) I_\nu \frac{dx}{V}$$

$$-\frac{1}{I} \frac{dI_\nu}{dx} d\nu = \frac{h\nu\eta}{c} (B_{12}dN_{1\nu} - B_{21}dN_{2\nu})$$

# 物理系同學與課外活動

物一 涂永義

據我所知，物理系同學很少參加課外活動。譬如社團活動或一切課外康樂節目。就以此次溜冰聯誼來講，本班本來預定約有四十五名同學參加，結果當晚實到人數不及三十人。在一年級功課最輕鬆的條件下，尚且如此，況高年級的同學？

為什麼不願參加課外活動呢？每個人所持的理由皆是沒有時間。其實這只是似是而非的理由。時間是靠每個人自己掌握的。時間之有無與足夠否，因觀點之不同而不同。若只認為須讀課本上的、筆記上，或幾本參考書上知識，則有的是時間。若想每一部門皆精通，則自古以來早有人認為縱使一天四十小時也不夠使用。因此，以時間為理由，簡直是存心推託的最高尚表示。

課外活動之重要，自不待言。因人非機械，機器尚須調養，況人乎？物理系同學之被認為怪物，我想不參加課外活動是一大原因。而且，物理只是偏重人生的某一方面；我們必須知道，人生不能和學問分開

；若太注重物理而忽略了人生的意義，則所得之知識何以應用於人生？

一個人天天念物理也是過了一生，另一個人也是念物理，可是他卻在以不妨礙功課的情形下，盡可能地參加課外活動，同樣也是渡過了一生。可是人生的意義到底為何？蔣總統認為人生的意義在增進人類全體的幸福生活。物理知識之用以增進人類生活，即不使生活與學問脫節，而課外活動即是促進物理系同學有此動機的原動力了。

物理的成長是為了解釋一切自然現象。課外活動中處處可發現物理現象，故若想對物理學有更精深的了解，參加課外活動可謂一大捷徑。所以物理系同學的參加課外活動應該是必然的事。

所以，我認為物理系同學非但最起碼的本系一切郊遊、晚會要踴躍參加，而且要主動去參加任何社團活動，系際比賽等等，這樣在品德、身體、學識各方面才能達到平衡，達到盡善盡美的地步。

與普通一般關係式  $I_0 = I_0 e^{-kx}$  相比較，則知

$$[k_0 d\nu = \frac{h\nu\eta}{c} (B_{12}N_1 - B_{21}N_2)], k_0 \text{ 是吸收係數,}$$

如果令  $x = -k_0$ ，則很明顯的可以看出  $I_0 > I_0$ ，而同時可以達到放大的現象，由此可知雷射產生的先決條件是要找到一種具有「負吸收」性質的材料。

4. 共振腔 (Resonant Cavity)：要想維持這種放大作用，必需有共振腔，這如像無線電需要共振線路一樣的重要。所謂共振腔主要是靠介質與兩個反射平面鏡所構成，兩平面鏡之距離相當於波長的整數倍，使在腔內成千百個駐波 (Standing Wave) 的波節。

5. 泵浦作用 (Pumping Effect)：所謂泵浦作用就是將低能階原子變成高能階原子的方法，其方法約可分為下列二種：

- ① 光泵浦法：光子具有  $h\nu$  之能量當其與原子碰擊而發生能量交換時，就可以把能量傳給原子而使其能階增高。紅寶石雷射就使用這種方法。
- ② 電泵浦法：利用放電或高頻率電振激勵，使原子之能階增高。氦 (He, Ne) 氣雷射，即使用這種方法。不過我們必需記住這種方法的變化和型式很多。

## 三、兩種簡單雷射

1. 固態雷射：這一類中最常見的是紅寶石雷射 (Ruby Laser)，其材料組成爲  $Al_2O_3$  與 0.05% (重量) 的鉻，其泵浦作用係由一繞於紅寶石外部

的氙閃光管 (Xenon Flash Tube) 供給，其輸入的大部份能量均以熱能放出只有藍綠範圍的輻射能被  $Al_2O_3$  吸收，而產生一個相當寬的高能階，然後即轉到三價的鉻原子而形成暫穩階，最後即很迅速的降階到基階，而所產生的光就由那具有透過性的平面鏡放出波長爲 6943 Å 的雷射光。這種光不能連續，短者一秒可放光數次，長則數秒僅放光一次。

2. 氣態雷射 (Gas Laser)：如果把紅寶石換成內充 He, Ne 氣之管，並用電振系統以激勵之即成為所謂之氣態雷射。其 He, Ne 之比例約 10:1。其作用係以原子吸收無線頻率激勵器之能量，然後因與原子碰擊而能量傳給 Ne，最後降低而產生雷射光。

## 四、Q——開 關

上面所講的雷射光只是具有相干性的強光，如果我們再能把光偏極化，則能強度會大大的加強，爲了要達到這個目的，我們就用 Kerr Cell 裝置在具有透過性的反射鏡與紅寶石之間。

具有這種性質的物質很多，我們統一其名稱，謂之 Q 開關。(Q Switch)

## 五、用途與展望

1. 用途：在通信方面很便於作長距定向通訊。工業方面可做焊接，割切鋼鐵之用。醫學上可做消滅血瘤之用。以及光譜計、干涉計之標準光源等用途。
2. 展望：高能雷射將被用做武器，像飛彈之防禦以用雷射最能有效。由於其光束非常集中，可以做能量傳遞的系統。除此之其外用途正不可限量。