

光譜-原子的指紋

文·圖／林志隆

摘要

光，是我們接收外界訊傳遞訊息的最重要媒介。除了亮暗、形狀和色彩之外，光裡面還攜帶了豐富的資料。光譜分析，就是解讀這些資訊的重要工具。

關鍵詞；光譜、電磁作用、連續光譜、吸收譜線、發射譜線

我們看東西需要光，不管是物體自己發的光或是反射外界來的光，當光傳到我們的眼睛時，我們就看到了它們。光是傳遞訊息的最重要媒介，它攜帶的訊息非常豐富，除了亮度、色彩和形狀之外，科學家還有更多方法去解讀光所攜帶的訊息，光譜就是其中之一。

古典的物理光學認為光是一種電磁波，一種因為電磁作用而產生的波動現象（但是在幾何光學上它又具有粒子的特性，這種波與粒子的雙重性我們以後再談）。我們眼睛看得到的「可見光」只是廣大電磁波頻譜中的一小部分，和紫外線、紅外線、X光、伽瑪射線、無線電波等等的差別只在波長不一樣。

我們一般說的白光是個很含混的概念，因為白光只要經過不同物質的介面發生曲折，就會出現原本沒有的各種色彩，顯示白光其實是由多種顏色的光線混合而成。牛頓在 17 世紀發現白光透過玻璃可以分成彩虹般的七彩顏色（圖 1），但這種叫做色散的現象對製作光學儀器卻是困擾，他因此而發明了不需要透過玻璃的反射式（也叫牛頓式）望遠鏡。

到了 19 世紀初，有人發現三稜鏡分出的七彩色光並不是完全連續的，其中有一些細細的暗線存在，於是發現了「吸收光譜」這個現象（圖 2）。剛開始用三稜鏡分光只能看到比較粗大的線，但是夫朗和斐在 1814 年發明了使用光柵來分光的方法，使得我們可以看到更精細、更清楚的光譜線。

最早在太陽光譜中發現的這些暗線屬於吸收譜線，是原本連續而完整的太陽光被周圍物質吸掉其中某些光波的結果。照理說，由大約攝氏 5500 度的太陽表面發出的光波（因為它們是由粒子的熱運動釋放出來的，也稱為熱輻射），應該是什麼頻率（波長）都有的連續光譜。但是這些光從太陽表面發射出來後，會經過一層相當於太陽大氣的物質，每種物質都會選擇性的吸收掉某些波長的光，所以被吸掉的地方就黑掉了。但是，是什麼東西把光吃掉了，為什麼它們只喜歡特定波長的光呢？這就得從它們的本質說起了。

在 18 世紀化學家發現物質可以分成一些基本種類，我們稱之為元素。但是當時所知的元素又可以依特性分成幾類，例如金、銀、銅、鐵這一類的特性就是金屬。19 世紀中期，門德列夫發現元素的化學性質有週期性，於是提出了週期表並建立了元素是由原子所構成的概念。

但是，故事並不是到原子就結束了。原子雖然是化學反應的基本單元，但是它們並不是物質的最基本單位。原子本身是中性的，但是把原子刮一刮、磨一磨卻會摩擦生電，變成有的帶正電有的帶負電，這表示原子必然是由更小的東西組成，而且這些東西至少還分成帶正電跟帶負電的。我們現在知道，原子裡面帶正電的是一顆很重的原子核，帶負電的則是一些非常輕小的電子。剛開始很多人以為這就像個微型太陽系，電子繞著原子核就像行星環繞太陽。如果這樣的話，那電子應該可以吸收任何波長（對應到能量）的光，再轉換成公轉的位能，而自由

的在原子裡面跳高爬低，甚至可能最後會掉進原子核裡面去。

可是科學家卻發現：特定的物質只吸收特定波長（能量）的光，而不是什麼都吃。而且光也不像是單純的波動一樣，持續搖久了就可以把電子搖出原子之外。這讓科學家困擾不已，最後是以電子只能在特定「能階」存身來解釋原子的構造，這樣的想法催發了「量子力學」的誕生。

能階的觀念是把原子核的周圍想像成樓房一樣，電子只要滾出了樓層邊緣就直接掉到下一階，不會停留在半空中。而要把下層的電子往上推，若力道不夠，那麼推再多次，電子也爬不到上一層。就像站在一樓往 3 公尺高的二樓丟球一樣，如果你的力量只丟得到 2.99 公尺高，丟再多次球也上不了二樓。但是如果你的力量可以丟到 3 公尺，那很容易就把球丟上去了。

由於每種元素的原子核大小跟帶電量都不同，因此，各種原子的能階就有各自的組合方式。如果把原子比擬成大樓，不一樣的大樓（原子）樓層高低都不一樣，所以電子在各樓層間竄高跳低的時候，所需要吸收或釋放的能量也就不一樣。這些能量通常是以光的方式來吸收或釋放，所以每種原子都有各自喜歡的波長，這些就稱為原子的特徵譜線。

科學家只要了解各種物質的特徵光譜，就可以靠著它們發出或是反射的光線知道它們的成分和比例。像是我們不可能飛到太陽上面去挖一瓢太陽物質回來做化驗，但是我們卻清楚知道太陽上面有那些元素，還知道各成分所佔的比例，就是靠著分析太陽光譜裡面的各種特徵譜線而來。

甚至有一些元素在被人類發現之前，其實已經出現在太陽光譜裡了。例如 1868 年有人發現太陽光裡面有一些無法對應已知元素的譜線，一直到 1895 年才有化學家證實了氦元素的存在，才發現數十年前太陽光譜裡的神祕元素就是它。

光譜一般分成連續光譜和不連續光譜兩大類。連續光譜是由於物體的熱運動而發出的電磁輻射，每一種波長都會有，只是會在某一個波長最高而向兩邊逐漸遞減，而這個最高的地方會跟物體本身的溫度有關。不連續光譜則是在光譜中會有某些波長特別突出（亮線，發射線）或是消失（暗線，吸收線），亮線通常是物體被加到高熱（電子會跳到高能階）時，某些電子由高能階往下跳所釋放出來的，所以稱為發射線；暗線則是一束連續波長的熱輻射遇到物質時，物質會把其中它們喜歡的波長給黑掉，好把某些電子打上比較高的能階，所以稱為吸收線。

單純的原子譜線比較細而清晰，但是如果原子和其他原子組成分子，就會多了原子之間相互的轉動、振動等因素而使譜線暈開產生額外的細微小線。只要我們的測量夠精細，就可以根據這些細線判斷它是來自什麼分子，現在的生化檢驗就常會用到這樣的技術。

光譜是非常精確而有效率的一種工具，它雖然源自於物理科學的現象，但之後卻發展出成熟而廣泛運用的技術，為現代文明生活提供了更多方便與保障。



圖 1. 模擬的可見光連續光譜(取自維基百科)

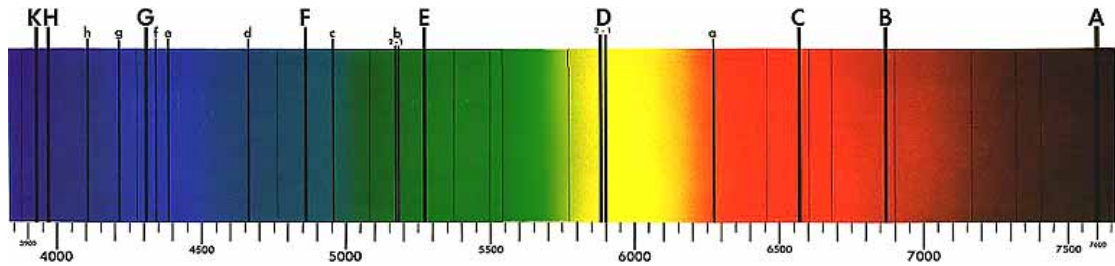


圖 2. 實際觀測太陽光譜會發現有許多地方黑掉了，這些黑掉的地方(暗線)表示有些光被物質吸收掉了，所以稱為吸收譜線，圖中這些大多是夫朗和斐發現的。(取自維基百科)

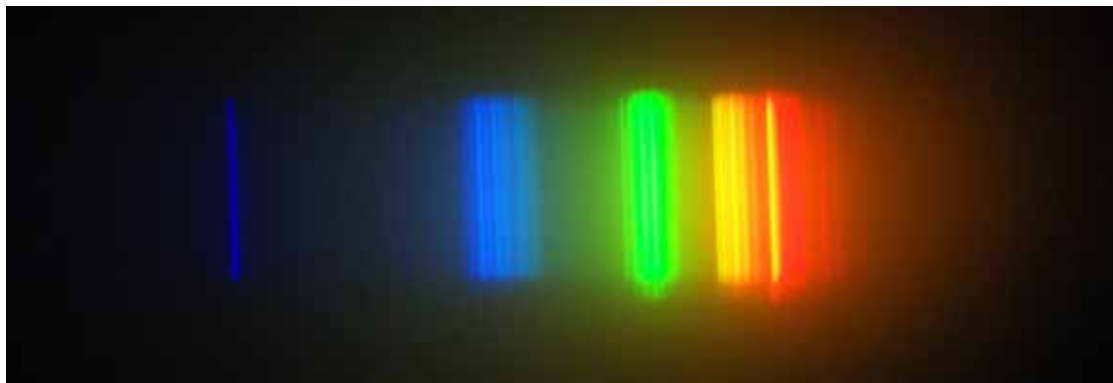


圖 3. 用手機透過簡易光譜儀(光柵)所看到的日光燈管，可以看出這種燈管產生了紅、綠、藍三種色光以混合成白光，而且每個波段都是由很多亮的線條所組成的，這種屬於發射譜線。(林志隆攝)

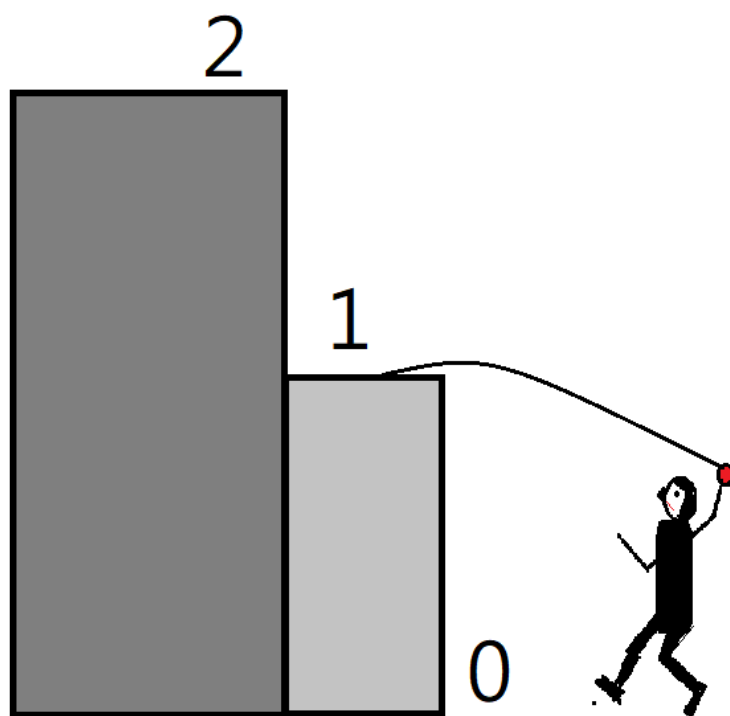


圖 4. 原子裡面的電子軌域像階梯或樓層一樣，力氣夠很容易就把電子從 0 拋到 1，但是以同樣的力氣要拋到 2，拋再多次也上不去，那就得換一個能量比較大的光子來了。