



本月物理史

譯/ 蕭如珀、楊信男

愛因斯坦預測了受激輻射〈stimulated emission〉

(譯自 *APS News*, 2005 年 8/9 月)

雷射的發明帶來了數十億美元的商機，它可用來去除不要的刺青，眼睛的雷射手術可矯正視力的缺陷，工廠的生產線可用它來切割鋼材和其他的材料，超市和百貨公司用它來掃描價格；它可用於光學通訊和光學資料的儲存，並可用於如 CD 和 DVD 播放機等的電子裝置中。所有這些科技創意的根源都植基於物理的基礎研究，尤其是 1917 年愛因斯坦所提出的輻射量子理論的論文。

“Laser”（雷射）是英文 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation〈受激輻射式光波放大器〉的縮寫，它是指任何一種由相干光子所組成的狹窄聚光束，並加以放大的裝置。在雷射裝置中，發出雷射光的媒介物，不管是如紅寶石或石榴石的晶體、或氣體、亦或是液體，其中的原子或分子都被「打上來」，使得它們在高能階的數目都比在基態時來的多。



愛因斯坦和他的第二任夫人，Elsa

當原子以快速的連鎖反應射出時，所造成的結果便是放出一道相干光束，此過程稱之為「受激輻射」。愛因斯坦在 1917 年的一篇論文中首次探討受激輻射的可能性，當時他才於一年前將研究重心由廣義相對論轉到物質與輻射的相互影響，以及兩者間如何達到熱平衡的議題上。在加入「能量應該量子化」的想法後，愛因斯坦提出了一個熱學統計基礎的改良理論。

蕭如珀 自由業

楊信男 台灣大學物理系

e-mail: snyang@phys.ntu.edu.tw

首先，愛因斯坦主張，一個孤立的受激原子會釋放出光子而回到低能量狀態，他稱此過程為「自發輻射」(spontaneous emission)。自發輻射決定了所有如吸收與受激等輻射作用的頻率大小。原子只能吸收正確波長的光子，當光子消失而原子的能量增加時，便提供了自發輻射的機會；此外，他的理論還預測，當光通過一個物質時，會激發出更多的光放射出來。

愛因斯坦假設說，光子喜歡在相同的狀態中集體移動，假如有一大群原子帶有過多的能量時，它們會隨時隨機地釋放出光子。然而，當一個帶著正確波長的光子經過時(或在雷射裝置中，發射到已受激的原子上)，它會刺激原子提前釋放出光子，而被釋放出的光子會以和原先的光子相同的頻率和相位在同一方向移動；接下來就會產生一連串的效應：當一群相同的光子行經其他的原子時，就會有更多的光子從它們的原子中釋放出來，加入光子群。

雖然要發明雷射器只需要找出合適的原子，加上反射鏡，藉由連鎖反應來加強受激輻射的過程，但物理學家還是一直到 1940 和 1950 年代才找出了此觀念的用途。Charles Townes 在第二次世界大戰期間曾從事雷達系統的研究，大戰結束後，他轉而研究分子光譜學，這是研究光被分子吸收的技術。正如雷達一般，分子光譜學以光來撞擊分子的表面，然後分析四散的輻射，以決定分子的結構。

但此技術受制於所產生的光之波長，在此指的是電磁波譜的微波。Townes 注意到，當微波的波長縮短時，光和分子的作用力會變強，更容易讓人了解它

們的結構。他認為可以開發出一個裝置，來產生波長更短的光，最好的方法便是利用分子經由受激輻射來產生所需的頻率。

Townes⁽¹⁾ 跟他的同事 Arthur Schawlow⁽²⁾ (後來成了連襟) 提及此想法，Schawlow 建議在雷射裝置的原型中裝上兩面鏡子，分別安裝於雷射腔的兩端。特殊波長的光子就會從鏡子反射回來，在發出雷射光的媒介物中來回移動，如此，它們會輪流讓其他的電子，在相同的波長中釋放出更多的光子，而回到基態，也唯有選定的波長和頻率範圍的光子可以被增強。

Townes 和 Schawlow 兩人合寫了論文，詳細說明他們的概念，雖然他們尚待建造一可行的原型，論文卻先於 1958 年 12 月在《物理評論》(Physical Review) 中發表出來。兩年後，他們獲得了此設計的專利，同年休斯航空公司 (Hughes Aircraft Company) 的 Theodore Maiman 即建造出第一個可運轉的雷射器。

註 1：Townes 和 A. Prokhorov 及 N. Basov 根據 Maser-Laser 原理，開發出振盪器和放大器，於 1964 年同獲諾貝爾物理獎。

註 2：Schawlow 與 N. Bloembergen 因發展雷射光譜學的貢獻，於 1981 年分享諾貝爾物理獎。

進一步閱讀資料：

Pais, Abraham. (New York: Oxford University press, 1982) "Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein"