

交大光電生物之旅 - 雷射陷阱(LASER TRAPPING)講座

主題：雷射致冷捕捉原子 & 雷射鑷夾

主講人：交大電子物理系 / 徐琅教授

張淑媚 整理

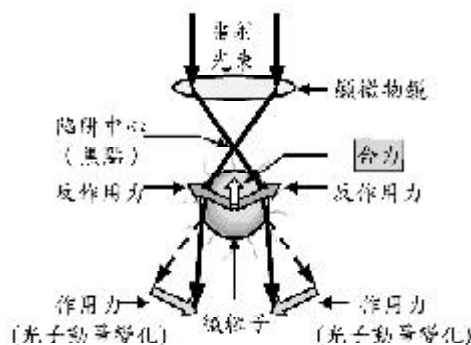
八月十日，交通大學舉辦了一場「光電生物之旅講座」，由1997年諾貝爾物理獎得主朱棣文博士從超級冷凍的新技術談起。朱博士以雷射致冷捕捉原子技術拿到諾貝爾獎之後，其研究方向逐漸轉移到利用雷射鑷夾操縱微生物體的生物研究領域。交大為了讓所有參加此次講座的聽眾，能欣賞並瞭解下午朱博士以雷射陷阱為主軸的生物科技漫談，特別在早上安排了電子物理系的徐琅教授，先對朱博士的「雷射致冷捕捉原子」及「雷射鑷夾」做一番深入淺出的背景介紹，再由生物科技系的楊裕雄教授介紹當前蓬勃發展的生物晶片。徐教授以過去參與清大物理系余怡德教授的雷射致冷捕捉原子實驗，與自己親自研究雷射鑷夾的豐富經驗，開啟了今天光電生物之旅講座的大門。



徐琅教授

演講一開始，徐教授拿出吹風機說要變魔術給大家看，接著他啟動吹風機，將乒乓球置於風口，沒想到乒乓球真的乖乖地順著吹風機的風口方向移動，彷彿兩者之間有條無形的線在聯繫著。此時的吹風機就成了一种捕捉物體的設計，也就是陷阱。徐教授趁大家目瞪口呆之際，用生動活潑的方式開始導入今天的主題：一種用來捕捉直徑在微米尺寸的微小粒子或微生物體的雷射鑷夾(Optical Tweezers)，與另外一種用來冷卻並捕捉一群尺寸更小的原子的磁光冷卻陷阱(Magneto-Optical Trap)。

如右圖所示，雷射鑷夾利用一個顯微物鏡，將一道雷射光束聚焦，在焦點處可捕捉與搬運、即操控一個與頭髮同等粗細甚至更小的微粒子(Bead)。這些微粒子物質包括小玻璃珠(Polystyrene Bead)或微生物，直徑範圍從小於 $1\mu\text{m}$ 到 $100\mu\text{m}$ 。雷射鑷子的捕捉力很弱，約為 $10\text{-}12$ 牛頓(Pico-Newtons)，也無冷卻效果。徐教授以一個幾何光學模型(Ray-Optics Model)簡單解釋了雷射鑷子的原理：雷射光束在穿透圓形微粒子的邊界因為折射造成光子動量變化，所以光子受到微粒子作用力，而微粒子也受到光子反作用力。由於對稱關係，反作用力的合力指向焦點，使得焦點處即為陷阱中心。雷射鑷夾還可以加入電腦自動化裝置，利用搖桿與電腦程式控制兩個精密電動馬達，推動反光鏡片以傾斜雷射光束。如此可以操控雷射光束焦點位置，帶動微粒子移動。電腦自動化提高了空間與時間的精確度與解析度。雷射鑷夾在細胞生物學方面的應用相當廣泛，可用於捕捉病毒與細菌、操控酵母細胞(Yeast Cells)與血液細胞(Blood Cells)等、篩選細胞(Cell Sorting)、捕捉精子與測量精子旺盛度、觀察運動蛋白質(Motor Molecules)在微管(Microtubules)中的動力學等研究。



至於雷射致冷捕捉原子的原理則牽涉到都卜勒致冷機制(Doppler Cooling)與磁光陷阱捕捉機制(Magneto-Optical Trap, MOT)。在都卜勒致冷機制中，原子吸收頻率較低(能量較低)的雷射光子，然後放出頻率較高(能量較高)的光子，原子的能量損失由動能彌補，結果溫度降低。如此循環，原子可以冷卻低到絕對溫度0.0002 °K。而磁光陷阱捕捉機制則是利用兩個電磁鐵與六道雷射光構成磁光陷阱，在半粒米大小範圍內，可以捕捉一團約108個原子。有興趣的讀者，可以到清大物理系余怡德教授的超冷實驗室(Ultra-cold Lab)，欣賞雷射致冷捕捉原子的實況表演。

從下表中，我們大致得知雷射鑷夾與雷射致冷捕捉原子之間的差異：

	Optical Tweezers (雷射鑷夾)	Laser Cooling & Trapping (雷射致冷捕捉原子)
# of Laser Beams (雷射光束數目)	1	6
Magnets (磁場)	None	2
Trapping (陷阱功能)	Yes	Yes
Cooling (冷卻功能)	No	Yes
Applications (應用)	Cell Biology (細胞生物)	Physics (基礎物理)

雷射陷阱的研發工作始於1970年，Dr. A. Ashkin開始利用雷射光壓(Radiation Pressure)操控微粒子、介電粒子(Dielectric Particles)與原子的研究。朱棣文博士於1976年在加州柏克萊大學取得物理學博士學位後，在母校繼續從事兩年博士後研究工作。接著在1978年至1987年之間，轉至AT&T Bell Lab跟隨Ashkin研究雷射捕捉。1987年朱博士受聘為史丹佛大學教授，並成功做出第一個雷射致冷捕捉原子陷阱。1993年他因為在雷射致冷捕捉原子上表現傑出，獲頒King Faisal International Prize。1997年，他與菲利浦、湯諾吉等三人，以研究雷射致冷技術(Laser Cooling)的開創性成果共同獲得諾貝爾物理獎。而被朱棣文博士尊為「雷射陷阱之父」(Father of Laser Trapping)的Ashkin與朱博士自己則從1980年代末期，將雷射捕捉的觸角延伸至分子生物學領域，啟發後人甚鉅。朱博士師徒對雷射陷阱具有卓越貢獻，兩位大師也因此聞名全球。

徐教授在演講中播放數段小影片，展示了雷射鑷子如何捕捉小玻璃珠(Bead)、乳酸菌(Acidophilus B. Lactis)、綠膿桿菌(Pseudomonas)與精蟲(Spermatozoon)的精彩畫面，大家屏氣凝神深怕錯過關鍵鏡頭，就在雷射鑷子捕捉到目標物的一剎那，大家齊用驚嘆聲為影片劃下句點。這場光電生物雷射陷阱之旅，不僅讓大家對雷射科技有了概念性瞭解，更激發不少在場青年學子的興趣，看著他們在演講完團團圍住徐教授爭相討教的熱烈情形，也許下一顆諾貝爾台灣得主新星馬上就要躍入天際囉！