

# 超級原子的製造：

## 第一個玻色—愛因斯坦凝聚(1995年6月5日)

(譯自 APS News, 2004年6月)

譯/蕭如珀、楊信男

有時物理的實驗要趕上理論是需要一點時間，曾於 1920 年代所做的玻色—愛因斯坦凝聚 (Bose Einstein Condensate, BEC) 的理論預測就花了 75 年的時間才真正地在實驗室中製造出來。此一成就開啓了原子物理學中的一個全新領域，因為它好像讓科學家能透過一個巨大的放大鏡，去觀察、研究奇特、極其微小的量子物理世界，而不斷地有寶貴的科學新發現。

BEC 現象最初是由玻色 (Satyendra Nath Bose, 印度物理學家, 1894-1974) 和愛因斯坦所預測：當一群相同的玻色粒子彼此聚集得夠近，移動得夠緩慢時，它們會集體轉入最低的能量狀態，稱之為玻色—愛因斯坦凝聚 (BEC)，此現象會在原子的溫度降到極低時發生。原子的波動特質能使其擴散，或甚至重疊，假如其密度夠高，而溫度夠低 (絕對零度的十億分之幾度) 的話，原子就會如雷射中的光子：整體處於一種高度相關的狀態，而形同一個單一的「超級原子」。

美國科羅拉多州 JILA<sup>1</sup> 研究院的 Carl Wieman (科羅拉多大學) 和 Eric Cornell (美國國家標準與技術研究院, NIST)，在 1990 年左右最先使用雷射和磁冷設備開始找尋玻色—愛因斯坦凝聚。Wieman 率先使用美金 200 元的雷射二極管 (和 CD 播放機使用同類型)，而非其他團隊所使用的美金 150,000 元的雷射。他的方法起先遭到同行們的質疑，但當他開始有了真正的進展後，好幾個團隊都急著跟進，希望能第一個找到 BEC。JILA 的研究團隊首先使用室溫的鉀氣體原子，先讓它緩慢下來，再用雷射光網捕捉它，這會將

其原子冷卻至絕對零度的百萬分之 10 度—但溫度仍太高，無法產生 BEC。

一旦捕捉住了，就關掉雷射，而以磁場捉住原子；再將磁場內最熱的原子挑出來，將其趕出場外，使磁場內的原子進一步地冷卻。接下來則需要高度的技巧：捕捉住密度夠高，溫度夠低的原子以製造 BEC。爲了達此目標，Wieman 和他的研究團隊將傳統標準的磁捕井設計，改良成爲一個對時間平均的旋轉式磁捕井。

1995 年 6 月 5 日 10:54AM，由科羅拉多大學、和美國國家標準與技術研究院所組成的 JILA 研究院成功地製造出了全球第一個玻色—愛因斯坦凝聚。BEC 在一個胡蘿蔔大小的玻璃試管中產生，經由照相機的畫面呈現，它的直徑僅大約 20 微米，大約是一張紙 1/5 的厚度。那是一組大約有 2,000 個鉀原子的 BEC，持續 15-20 秒。之後不久，Wolfgang Ketterle 也在他 MIT 的實驗室中成功地製造出 BEC。

目前，科學家可以生產更大量原子的凝聚，並能持續整整 3 分鐘，繼而對這個不尋常的物質形式獲得更深入的了解與認識。直至 2001 年的 9 月，已有 40 個左右的實驗室可以複製此凝聚。1997 年，MIT 的研究員利用凝聚的原理開發出一種原子雷射，可以讓一顆顆的原子從極小的噴口掉下來；1999 年 2 月，哈佛大學的研究團隊製造出 BEC，再將光穿過此凝聚，讓光速減慢至只剩下每小時 38 哩，兩年後，此團隊進一步宣稱他們已經可以做到讓光短暫地靜止。

1999年3月，在馬利蘭州 Gaithersburg 市的美國國家標準與技術研究院的科學家成功地將極度低溫的原子擠成一束，再讓成束的原子四處噴出。

此突破可能發展為製造超小電腦晶片，或以單一原子製造奈米元件的新技術。

1999年6月18日，JILA 的研究員使用此技術首度達成簡併費米原子氣體。2001年，一群德國的研究員證明了玻色—愛因斯坦凝聚可以使用所謂的原子晶片來製造操作，如此一來，則有可能利用原子的運動，而非電子的運動，來做為製造原子積體線路的基礎。

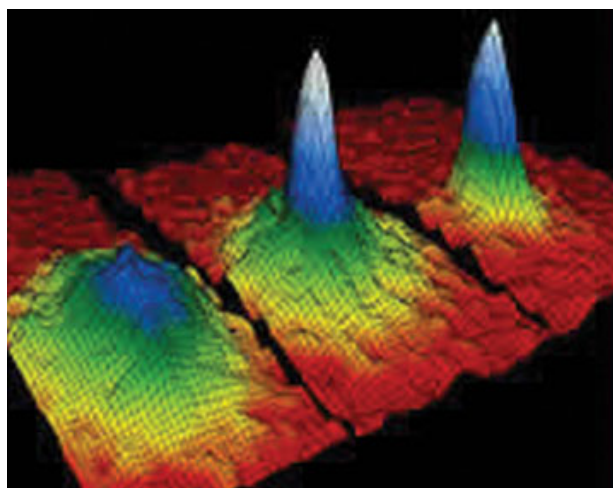
2002年12月，在 Innsbruck 的科學家首次以鉀原子製造出 BEC，這是原子鐘的基礎，同時也在有些度量衡的應用上扮演著關鍵性的角色，包括電子電偶極的測量。

科羅拉多州的研究團隊現在正以各種不同的新方法來操作、試驗此物質的新形式。2001年7月，Wieman 和他的研究團隊可以讓 BEC 收縮，接著產生小爆炸，有些像微小的超新星(Supernova)，因此就稱它為「玻色新星」(Bosenova)。

在製造 BEC 的過程中，約有一半的原子會消失，科學家可以將原子冷卻至絕對零度的十億分之3度，是目前可達到的最低溫度。

Cornell、Ketterle 和 Wieman 因此成就，於2001年同獲諾貝爾物理獎。瑞典皇家科學院在讚揚他們共同發現玻色—愛因斯坦凝聚時說：「這將會對精密量測與奈米科技等方面帶來革命性的應用。」JILA 團隊所使用的裝備現已為美國華盛頓的 Smithsonian 博物館所永久收藏。

註 1：JILA，源自 Joint Institute for Laboratory Astrophysics，現在概以 JILA 稱之，研究領域涵蓋下列7大方面：天文物理、材料物理與化學、原子與分子物理、光學物理、生物物理、精密量測、與化學物理。



圖示為原子雲的密度，越往右，溫度越低。高的尖端是玻色—愛因斯坦凝聚，突出於其他的原子之上。此圖來自 JILA 實驗室。

---

#### 譯者簡介

蕭如珀 自由業

楊信男 台灣大學物理系

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