



2012 年諾貝爾物理獎介紹 量子力學概念向現實世界 拉近

吳豐旭

國立彰化師範大學 物理系

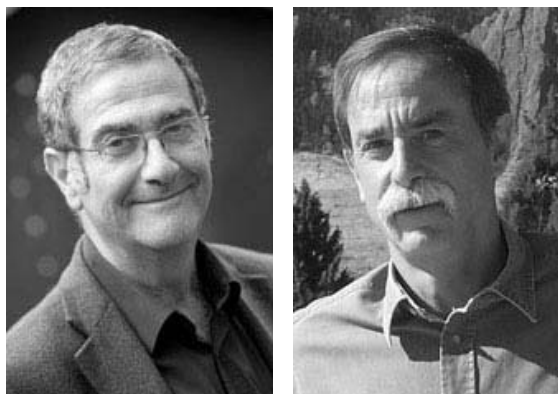


圖 1：2012 年諾貝爾物理獎得主：雅霍許 Serge Haroche (左) 和溫蘭德 David Wineland (右)

2012 年諾貝爾物理獎分別由美國溫蘭德 (David Wineland) 及法國雅霍許 (Serge Haroche) 所獲得，二位物理學家在量子光學領域皆有著傑出的成就，並專研於測量和操控非常脆弱之非破壞性單個量子系統，不論是實驗方式，還是單量子非破壞性的操控與測量，二位物理學家的研究成果皆使量子力

學推向另一波高峰。

物理學家 David Wineland 是科羅拉多州的美國國家標準與技術局 (NIST) 物理實驗室與任教於科羅拉多大學伯爾德分校 (University of Colorado at Boulder)，主要研究領域在量子光學領域。曾在哈佛大學師法於 1989 年獲得諾貝爾物理獎的 Norman Foster Ramsey 指導做研究與攻讀博士學位，並之後與在 1989 年同樣獲得諾貝爾物理獎的 Hans Dehmelt 的研究團隊下進行博士後研究於華盛頓大學。

而獲獎的所做的實驗方式，是藉由電場將帶電荷的原子 (electrically charged atoms) 或是離子 (ions) 圍困保持於陷阱 (trap) 中，將執行實驗過程中在真空且極低的溫度下，將粒子於周遭環境中加入熱與輻射能。而 Wineland 的突破點在於掌握一項技術，是用雷射進行照射，並產生出雷射脈衝，其用途讓離子於阱中進行熱的移動 (thermal motion)，使離子存於最低能態 (lowest energy state)，進而研究陷在阱中離子所表現的量子現象。若仔細調整雷射脈衝時，可發射入疊加態 (superposition state) 離子，將同時發生兩個清楚不同態的存在物，如同時離子擁有兩個不同能階。開始以最低能階與雷射脈衝僅在推動離子往較高能階中，進而以便在兩個能階之中離開，是任一離子的相等機率於疊加態。此方式可研究離子能態的量子疊加。

物理學家 Serge Haroche 是任職於法國國家科學研究中心 (École normale supérieure)，並任教於巴黎高等師範學校 (Pierre-and-Marie-Curie University)，其博士論文導師為 1997 年獲得諾貝爾物理獎的 Claude Cohen-Tannoudji，主要研究領域在量子光學與原子物理 (atomic physics)，對量子光學領域中，量子電動力學方面就有著重要

貢獻，因此實驗式量子力學領域享有盛名。

而獲獎所做的研究實驗，利用微波光子（microwave photons）彈出與進入內部的小型空洞（cavity），其空洞的設計為兩面間隔三公分的反射鏡，其所使用材質是超導體物質，使冷卻至接近絕對零度，且超導電的反射鏡可以將空洞照亮。是使單個光子可以在空洞中向前後彈，幾乎數十次反射在損失或吸收之前，以長期記錄光子的生命週期（life-time），發現平均經過四萬公里，這是相當於旅行地球一圈。因此許多量子操控的執行可藉由困於阱中光子的長生命週期。然而，Haroach 還準備了里德堡原子（Rydberg atoms，是瑞典物理學家 Johannes Rydberg，指具有高激發態電子有主量子數 n 很大的原子[4]），與微波光子一起進行控制與測量。其中的里德堡原子半徑為 125 奈米，大約是一般原子的一千倍。藉由仔細調控速度使巨大甜甜圈狀（doughnut-shaped）的里德堡原子進入，如此一來就產生良好的控制方法，且與微波光子發生了相互影響。在穿越空洞過程中，發現里德堡原子會在微波光子之後離開。但在相互影響下，光子與原子皆產生原子量子態的相改變，若你把原子量子態想成波時，其上下波成爲移動似。當原子離開空洞可被測量相的轉變，因此顯示出光子在空洞中的是否存在，其原因在於沒有光子就沒有相的轉變，因此可以非破壞量測單光子。

David Wineland 與 Serge Haroche 的研究有三項解釋與應用，分別爲薛丁格的貓（Erwin Schrodinger's Cat）、量子電腦的突破、和新標準時鐘。

在薛丁格的貓來說，Wineland 與 Haroche 實驗中阱中量子與放入像貓（cat-like）的疊加態來替代薛丁格的貓，雖然量子觀察非肉眼可看的貓，但對量子領域來說仍然非常大。如 Haroche 的實驗，同時將放入微波光

子與像貓態之相反相，就像同時秒錶存在順時鐘與逆時鐘方向，由里德堡原子於微波場空洞進行探測，發生難以理解的量子影響稱爲糾纏，如同 Erwin Schrodinger 所描述的在沒有接觸時有兩個或更多量子之間糾纏狀態，但仍可以察覺與影響的特徵。

接著的量子電腦，可能應用離子阱是許多科學家的夢想，在現今傳統的電腦最小資訊單位爲位元，是以 0 和 1 表示數值，而量子電腦的資訊基本單位稱爲量子位元（quantum bit）或量子位（qubit），一樣以 0 和 1 爲主，若兩個量子位元可同時承擔四個數值，而每個額外的量子位產生雙重可能的態，例如 n 個量子位能有 2 的 n 次方個，而若量子電腦有 250 個量子位時，就可同時承受 2 的 250 次方個數值。而 Wineland 的團隊證明兩個量子位元來操控量子，也已經完成了少許的量子位，雖然沒有任何原理推導來相信可能達到操控更多的量子位。雖然建立一台量子電腦的挑戰是龐大且實際，在於量子必須適當的被孤立於所處的環境，但沒有破壞其量子特性，又通過而傳達出計算結果。

最後的新標準的時鐘，是使用 Wineland 與其研究團隊的阱中離子，用來建造比現今所使用的銫原子鐘還準確百倍量測時間的時鐘。因銫原子鐘需要一定微波範圍（無線電，RF[5]）中運轉，而 Wineland 的離子鐘只要現有的光，其組成可由一個或兩個離子在阱內，若是兩個離子時，一個當作時鐘，另一個在非破壞狀態下來解讀時鐘，或基於爲聽到的滴答聲。因根據 Einstein 相對論提到時間會被運動與引力所影響，在較高速與引力強時，時間會緩慢的變化，雖然我們無法察覺到其變化，但事實上在我們每一天中有變化部分。所以離子鐘可以幫助我們測量不同時間變化，於每秒移動少於十公尺或是引力對於海拔僅三十公分的影響。

參考文獻

1. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Serge_Haroche
3. http://en.wikipedia.org/wiki/David_J._Wineland
4. <http://zh.wikipedia.org/wiki/里德堡原子>
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_clock