

推動第五次工業革命 量子資訊時代即將來臨

● 作者：張晏瑞、張慶瑞

作者簡介

張晏瑞目前就讀臺大物理博士班，臺灣大學—IBM 量子電腦中心擔任大學推廣課程講師，正努力讓量子計算在臺灣扎根。
張慶瑞是臺灣大學物理學系特聘教授。

Take Home Message

量子科學在 20 世紀被提出後，相關的研究發展蓬勃，也改變了後世人們對於自然的理解。同時，量子科學也進一步促成了兩次的量子革命。根據量子的特性，科學家製造出各種電子元件，促成半導體科技的發展。後續科學家藉由量子的疊加、糾纏等特性，發展出量子電腦、量子計算、量子通訊等科技。這些科技理論上可大幅超越目前古典電腦的運算能力，將成為第五次工業革命的關鍵，而臺灣也不落人後，開始培養相關領域的技術人員。

量子科學旨在了解「物質在微觀尺度中所遵循的規律」，而量子論的起源則要從黑體輻射（black-body radiation）實驗開始講起。

「黑體」（black body）是一個理想化的概念，電磁波照射於黑體都會被百分之百吸收，當黑體達熱平衡後會輻射出電磁波。科學家先從古典統計力學出發，而解釋黑體輻射頻譜分布的瑞利／金斯定律（Rayleigh-Jean's law）其結果在低頻符合實驗上的測量，但在高頻則相差甚大。而維恩位移定律（Wien's displacement law）則在短波範圍內和實驗數據相當符合，但在長波範圍內又有偏差。

1900 年，德國物理學家普朗克（Max Planck）從黑體輻射實驗觀察，引入「能量量子化」的參數概念，發表黑體輻射定律，則在全波段範圍內都和實驗結果符合。

1905 年，愛因斯坦將此概念應用於解釋金屬的光電效應原理，提出了「光子」的概念解釋光電效應，並認為光具有波動性與粒子性。

之後丹麥物理學家波耳更提出角動量量子化，精確地解釋了氫原子的不連續光譜。1924 年，法國物理學家德布羅意（Louis de Broglie）在其博士學位論文中提出了物質波（matter wave）的概念，認為

電子也具有波的性質，之後的戴維森／革末實驗（Davisson-Germer experiment）成功以低速電子入射於鎳晶體，取得電子的繞射圖樣證明了物質的波動性質，確認了「波粒二象性」。

1925 年後發展出兩種描述量子現象的數學工具，分別是德國物理學家海森堡和波恩（Max Born）提出的「矩陣力學」（matrix mechanics），以及奧地利物理學家薛丁格（Erwin Schrödinger）利用「波動力學」（wave mechanics）提出「薛丁格方程式」（Schrödinger equation）。之後英國物理學家狄拉克（Paul Dirac）提出了著名的狄拉克方程式（Dirac equation），發展出量子力學的基本數學架構。這些新穎的量子力學的原理，徹底改變人們對於自然世界的觀點。

兩次的量子革命

隨著量子科學的發展，科學家更能掌握微觀尺度中依循的規則，也能從微觀的解釋理解固體材料的宏觀物理性質，進而發展出固態物理學。從氫原子能階到更複雜的原子軌域，再拓展到多原子有週期性排列的晶體結構，並整合量子力學、統計物理、