

三大量子科技概念、意義及應用實例

薛丁格
創立波動力學。
提出「薛丁格貓」
思想實驗。

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$$

量子新紀元 1.理論入門

百年，亦是聯合國教科文組織訂立的「國際量子科學技術年」(IYQ)。在科研探索層面，量子作為諾貝爾物理學獎的常客，其深遠影響廣受全球科學家認可；而其作為「未來」科技的潛能，隨着量子計算、量子通信等走向實用，全球各國積極布局投入，視其為繼人工智能後，另一可重塑未來經濟與社會的關鍵力量，掀起新一輪科技競逐。量子科學雖備受矚目，惟對公眾而言卻顯得抽象而難深。香港文匯報由今日開始推出「量子新紀元」系列報道，透過訪問大學頂尖量子科學家、科企負責人，及初探量子領域的資優生等，從知識科普、前沿突破、產業動態、人才培育等角度，引領讀者了解量子科技的發展脈絡及香港於其中的角色，助力掌握量子時代的新機遇。

量子 quantum 一詞，源自拉丁語 quantus，意為「多少」，描述了最小的可測量物理單位；在微觀世界，包括能量、質量等物理單位的數值均是離散的（量子化），而非連續任意取值，這顛覆經典物理學的認知，同時為科技開拓更多可能性。據國際量子科技年專頁描述，量子技術正推動一些本世紀最激動人心的突破，改變人們對宇宙的理解；它揭示了一個隱藏的微觀世界，在那裏，粒子的運動方式顛覆人們的日常認知。在量子世界中，光既是波又是粒子，電子可同時存在於多個位置，而相隔甚遠的兩個粒子仍能保持神秘的關聯。事實上，量子科學涉及不少與直覺認知不符的現象，有如踏入一個法則迥異的全新現實維度。記者嘗試就多種量子現象以及前沿技術領域作簡要說明，幫助讀者從基礎知識入手，打開量子之門，更掌握這些可能改變未來的科技。

●文：香港文匯報記者 陸雅楠

受訪者照片：
香港文匯報記者
北山彥、曾興偉

波耳
提出「量子跳躍」
模型。與愛因斯坦
有關量子理論的爭
論，結果上促進量
子論的成熟。

愛因斯坦
以光量子假說解
釋光電效應。對
量子論及波耳一
派的解釋持懷疑
態度。

2025年，正值量子力學
(quantum mechanics)誕生一

量子計算
概念：一種利用量子比特(qubits)，而非傳統比特（僅僅0或1的二進制運算）的強大計算模式。該模式利用量子疊加和量子糾纏等現象來同時執行大量計算。簡單來說，由於量子比特可同時處於0和1的疊加態，讓其可作並行計算，例如n個量子位元，可以同時表示2的n次方種狀態，令計算能力以幾何級數遞增。
意義：量子計算在複雜優化、模擬分子相互作用等方面優異表現遠超傳統計算機。這一效率的提高可徹底變革製藥研發、氣候建模及供應鏈管理等領域。
應用實例：利用量子計算模擬候選藥物與人體複雜分子的相互作用，大幅加速新藥開發進程。

量子通信
概念：量子科學技術正在革新通信領域，如通過量子密鑰分發(QKD)實現安全加密，以及利用量子網絡的糾纏粒子推進數據交換。
意義：提供前所未有的數據安全保障，對敏感信息保護具有重大意義，並為更高效、安全的通信基礎設施奠定基礎。
應用實例：科研人員已成功演示了通過光纖電纜進行安全量子密鑰分發的過程，證明其在保障通信安全，如銀行和醫療數據傳輸等方面的潛力。

量子傳感
概念：量子傳感利用高精度傳感器，通過量子效應測量磁場、引力等微小物理變化。
意義：相比傳統傳感器，量子傳感器可更早、更準確地探測變化和問題，在醫療、環境監測等領域具有廣泛應用價值。
應用實例：基於量子的醫學掃描儀可檢測血流變化或神經退行性疾病的早期跡象，從而加快診斷與治療進程。

走進量子世界 顛覆直覺新維度

解讀疊加糾纏穿隧三現象 初探改變未來科技基石



普朗克

提出能量以
最小單位吸收
或發射的理
論，揭開量子論
的序幕。

量 子疊加 (quantum superposition) 是量子力學中最具代表性的現象之一。在經典物理學中，一個系統只能處於一種物理狀態，但在微觀世界的量子力學中，系統具有不確定性，即可以處於各種不同物理狀態，而各種可能性同時存在，這種不確定的狀態稱為「疊加態」。而當對系統進行測量，即觀察者介入下，「疊加態」會「塌縮」為其中一個確定的狀態。

硬幣未定正反 貓可既生又死

若以擲硬幣作比喻，於經典物理學，硬幣只會處於正面或是反面兩種狀態；但在量子力學中，硬幣就好比在旋轉一樣，同時表達正面與反面的各種可能性，也就是處於正面與反面的「疊加態」。

在量子力學討論中，也經常提及其奠基者之一薛丁格提出知名思想實驗——薛丁格的貓 (Schrödinger's cat)，當中詮釋了量子力學於宏觀世界經驗中的荒謬性及違反直覺。在此思想實驗中，貓裝在封閉的容器內，當中置入具量子特性、會將貓殺死的放射性物質；而若要作出描述，在沒打開蓋子（觀察者介入）前，貓不是生也不是死，而是處在生跟死的「疊加態」。

量子糾纏 (quantum entanglement) 則描述了粒子

之間一種深層次的聯繫——即使相隔多遠，當一顆粒子的狀態發生變化時，與它相連（糾纏）的另一顆粒子的狀態會瞬間受到影響。以比喻說明的話，可想像在不同地點擲出兩顆骰子，無論它們相隔多遠，只要其中一粒骰子擲出結果，與它糾纏的另一粒骰子總會擲出與之相關聯的結果，有着「心電感應」般的神奇關聯。

「鬼魅超距作用」引出通信技術前景

由於此種關聯可無視距離，甚至超越光速，讓愛因斯坦亦對此深感困擾，因而對量子糾纏作出了「鬼魅的超距作用」的著名描述。基於量子糾纏發展出廣受關注的量子通信技術，透過操控微觀粒子，開拓出現實世界的應用，其中由中國科學院院士潘建偉擔任首席科學家的「墨子號」量子科學實驗衛星更是有關領域的全球先驅，引領人類進入量子通信科技的新紀元。

此外，量子穿隧 (quantum tunneling) 效應亦廣受關注，它描述了包括電子等微觀粒子，即使其能量低於穿越障礙所需的能量，仍有可能穿越至障礙的另一邊。惟根據經典物理學，物體必須擁有足夠能量才能越過能障，因而無法解釋此量子特性。而今年諾貝爾物理學獎，便證實了此量子現象於宏觀系統中亦能呈現，為眾多改變人類世界的量子技術打開大門。

海森堡

創立矩陣力學。

**量子研究掃
13諾獎
近四年兩入殿
堂**

量子革命始於對黑體輻射的研究。1900年，普朗克提出能量以最小單位吸收或發射的理論，揭開量子論的序幕。1905年，愛因斯坦以光量子假說解釋光電效應，為量子理論奠定基礎。隨後，拉塞福證實原子結構，波耳提出「量子跳躍」模型。1925年後，海森堡與薛丁格分別創立矩陣力學與波動力學，量子力學正式誕生，開啟全新的科學時代。

在諾貝爾物理學獎的殿堂，單是直接涉及量子的研究，歷來已獲得13個獎項，幾乎覆蓋每一個世代。至近年相關突破更見火熱，過去四年計，量子得獎研究佔去物理學獎的一半。2022年，物理學獎頒授予3名科學家，表揚他們在「糾纏光子實驗、驗證違反貝爾不等式和開創量子信息科學」的貢獻，而今年的獎項則表揚科學家們「發現電路中的宏觀量子穿隧和能量量子化」。2023年的諾貝爾化學獎得獎研究「發現和合成出量子點」，也與量子理論關係密切。

百年探索奠基 鑽研深層規律

描述微觀世界的量子理論，於物理學有舉足輕重的地位，量子材料專家、香港科技大學物理系講座教授羅錦團為記者娓娓道出有關發展歷程。

他笑說，物理學有趣且令人讚嘆的地方，在於儘管宇宙萬象極其複雜，卻能以簡潔的數學語言去描述和理解世界：早在十六世紀，牛頓提出三大定律，以 $F = ma$ 等簡單公式，精準詮釋日常物體的運動規律；十八世紀電磁學的誕生引發電力革命；十九世紀在愛迪生等人推動下，電力走進千家萬戶，徹底改變人類生活；二十世紀初，愛因斯坦提出相對論，再次實現物理學躍進。建基於此，各種前沿科技亦得以持續發展。

羅錦團提到，在十九世紀時，曾有觀點以為，人類對宇宙與物理的理解已近乎完備，僅餘少數未解之謎，但科學家始終堅持探究：「他們好奇原子為何能保持穩定？原子的結構是什麼？原子與我們熟知的力學和電磁學之間有何關聯？」正

是這些提問，使人們發現經典物理理論無法解釋微觀現象，而在原子尺度上存在全新的規律——這便是後來誕生的量子力學。

從解釋鑽石鉛筆 到掌握材料特性
原子與日常生活有何關聯？羅錦團表示，唯有理解原子，才能掌握材料的本質。他舉例說：「為什麼鑽石是透明的，而同由碳原子組成的鉛筆芯卻不透明？它們的性質為何截然不同？為什麼矽是半導體的主要原料？為何有些物質是導體，有些卻是絕緣體？」這些都是經典力學無法解釋，卻能透過量子理論逐一破解。

羅錦團說，量子力學是因科學家好奇心誕生，推動人類發現更深層的世界規律——從理解量子，到掌握材料特性，再到創造可實際應用的科研成果，築起了量子科技過去百年的進步與根基。

迎第二次量子革命 超級算力重構產業

對百年量子理論的發展，香港中文大學量子信息技術與材料全國重點實驗室主任劉仁保與記者分享道，這是人類文明的一次巨大飛躍，「從來沒有哪一個科學成就，能如此深刻地改變整個人類對世界的認知。」

資訊與「可能性」理論觀測萬有

劉仁保解釋，量子「力學」最初是為解釋氫原子的光譜問題而發展，方程式亦源自經典力學，因此被稱為「力學」。隨著研究深入，科學界認識到量子理論的本質，並非單純描述物質運動，而是一套關於資訊與「可能性」的理論，成為一個更宏觀的規律體系，揭示了最根本的邏輯，在量子世界中，不同可能性可以合併、分叉、再合併，它

們相互轉化，呈現出極為奇妙的物理圖景。

劉仁保介紹，早年科學家基於對量子理論的發現及認識，衍生了「第一次量子革命」，帶來了超導體、半導體、核磁共振等重大技術應用；而隨着更能掌握量子信息的實際操作和概念深化，人類正經歷「第二次量子革命」，將進一步改變世界格局。

他坦言，這是一項極具顛覆性且難以完全預測的變革，大家可以放開想像，例如量子計算將帶來有極限的算力，有機會可以通過大規模量子模擬與計算實現，讓科學家不再依賴傳統實驗以發現新的規律，甚至使「規律」本身成為可產品化的知識形態，從而重構製造業、知識業與設計業等各個生活領域。