

◀▲「準粒子」如同「人浪」般，雖非實質結構但亦能擁有類似個別實體(例如移動)的特性。

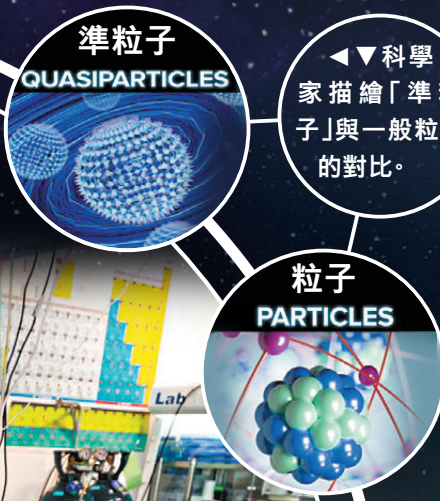
## 量子新紀元 2. 研究前沿

量子世界充滿不確定性，同時蘊藏無窮可能。作為本世紀最具顛覆性的創新浪潮，量子科技正重塑全球科技版圖，其影響不僅限於信息科技，更已輻射至材料科學、宇宙探測、電子工程、人工智能乃至生命科學等領域，勾勒出一幅跨學科融合創新的宏闊圖景。在這蓬勃發展的量子前沿舞台上，香港的科研力量同樣展現出璀璨多元的面貌。香港科技大學物理系講座教授羅錦團，正統籌香港研資局歷來最大型的量子研究「拓撲和強關聯量子材料」項目，期望透過尋找可靈活操控的「準粒子(quasiparticles)」，於能抵抗環境干擾的情況下有效儲存量子信息，藉以成為超高速量子電腦的關鍵材料，讓香港於量子計算的新紀元亦能佔一席位。

●香港文匯報記者 陸雅楠



結合港科大、香港大學及香港中文大學科學家參與，獲研資局2025/26年度「卓越學科領域計劃(AoE)」批出逾6,500萬元資助，為迄今最大型的同類研究，聚焦於具顛覆性潛力的新型量子材料。



●羅錦團統籌拓撲量子材料研究。

▼科學家描繪「準粒子」的情況。

# 強化量子超算 關鍵繫於準粒子

### 港科學界聯手探尋電子間相互作用規律 助研超高速量子電腦材料

羅錦團統籌的拓撲量子材料研究，結合港科大、香港大學及香港中文大學科學家參與，獲研資局2025/26年度「卓越學科領域計劃(AoE)」批出逾6,500萬元資助，為迄今最大型的同類研究。該項目聚焦於具顛覆性潛力的新型量子材料，致力推動電子、磁學、光學及量子資訊器件的前沿發展，並從理論層面預測各類材料中電子的獨特性質。研究團隊亦於本港實驗室合成這些材料，進一步表徵其特性、製造納米級器件，並在接近絕對零度的環境中測量其獨特性質，成果預期將引領新型功能電子器件開發，並可能推動本地技術突破。

#### 組跨校團隊 理論到器件完整攻關

羅錦團向香港文匯報介紹，該研究重點在於量子材料，包括理解超導體及各類材料的特性、如何以電流調控磁性，以及探索超導體的奇異現象。他強調，材料的本質特性取決於內部電子行為，而量子材料研究的核心，正是通過電流控制材料的磁性特性。他比喻，電子在不同環境中的表現，猶如處於不同社交場景的孩童會有迥異反應；電子在量子材料中亦會因應環境改變行為，以適應各種應用場景。

#### 觀測奇異準粒子 追尋分數電荷之謎

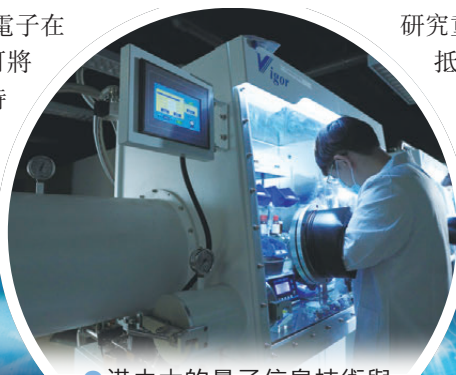
羅錦團舉例說，當電子被置於原子陣列中，即在材料結構內部時，其特性會產生顯著變化，「例如電子的有效質量可增至普通電子的1,000倍甚至更高。相反，通過特殊設計，電子亦可被調控至近乎「無質量」狀態，如同石墨中的電子。」此外，電子之間因帶相同電荷而互相排斥，「但在量子材料中，可調控其相互作用力。當電子的質量與相互作用皆可被調控時，將產生諸多新



的可能性，例如將材料轉變為絕緣體、超導體，甚至全新的量子態。」

在自然界中，所有已知獨立粒子的電荷量皆為基本電荷的整數倍；然而當電子置於量子材料內，不僅可調控其質量，更可能產生帶分數電荷的奇異穩定狀態，此即「準粒子」。羅錦團指，「準粒子」的物理特性極具趣味，會以特殊方式在材料中排列，部分區域呈現正分數電荷，部分則為負分數電荷。它們具有明確能量與動量，可彼此相互作用，且在物理行為上確實如同真實粒子，雖非基本粒子，卻能在材料中如單獨粒子般穩定存在，成為量子材料物理研究的重要課題。

羅錦團進一步解釋，分數電荷並非指電子實際被「分割」，而是電子在材料中集體排列的結果。「可將電子想像為人群，有時聚集密集，有時分布稀疏。



●港中大的量子信息技術與材料全國重點實驗室。

在密集區域會顯現較多負電荷，而在稀疏區域則相當於顯現正電荷。」他又以「人浪」作比喻解釋：體育館中每位觀眾如同基本粒子，當人群協同步伐形成人浪時，宏觀上看的波峰會如同移動的粒子；這些特殊集體系統中，電子間相互作用與材料結構自發形成某種「規律」，便是「準粒子」的真面目。

在應用方面，羅錦團表示，用於量子計算的量子位元(qubit)，可同時處於0與1的疊加態，賦予其相較現有超級電腦幾何級數增長的超強運算潛力，但其量子態卻是極為脆弱，成為量子信息儲存的重大挑戰。他指出，「準粒子」的特別特性，有機會提供更穩定的狀態，讓其可成為能長時間儲存這些信息的量子系統，現時團隊的研究重點之一，是尋找能抵抗環境干擾並可靈活操控的「準粒子」，為量子電腦的發展奠基。

## 兩大技術路線 探索更穩定量子態

量子科技歷百年發展，衍生包括激光器、MRI醫學影像、光纖通訊、半導體及LED等現代重要技術。羅錦團表示，對比過往科學界主要是基於對量子特性的理解延伸出基本應用，目前正推進的「第二次量子革命」，聚焦於主動操控量子態，例如針對量子電腦的核心——量子位元，使用特殊的材料延長量子態的「壽命」，讓量子位元有更充足時間保存信息，使運算更為穩定，才能實現量子計算的超強算力。

#### 製超導體利留存 以準粒子減干擾

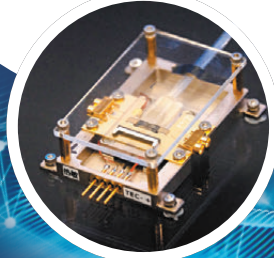
羅錦團解釋，量子材料的不同特性，會直接影響量子位元保存信息的時間，部分材料能延長量子態的「壽命」，另一些則會縮短其存活時間，增加信息流失風險。要應對問題，主要涉及兩條技術路線，一是使用較傳統的物理方法，即製作超導體，讓量子信息能在超導體中儲存較長時間，並進行一些操控，使其能用於計算，同時又不受到環境影響。由於一般物料需要在接近「絕對零度」(約-273℃)的極端低溫才展現超導特性，尋找更合適的超導體以維持量子位元穩定成了主要挑戰。

另一技術路線則為利用量子材料中的特殊「準粒子」保存量子信息，這正是羅錦團與團隊的探索方向，透過發掘具抵抗環境干擾特質的「準粒子」作為量子位元，延長量子態時間。

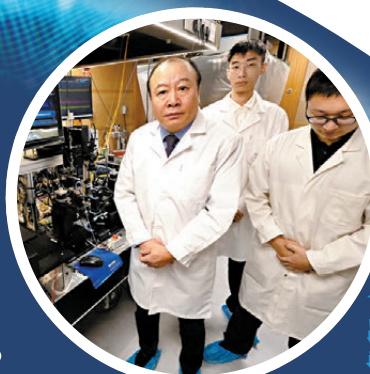
事實上，全球科研前沿的量子電腦，均主要依循此兩大路線研發。例如微軟便致力探索透過材料中的「準粒子」來存儲量子信息，並在年初宣布推出全球首款以「準粒子」為基礎的拓撲量子位元處理器。Google及IBM的量子電腦則採用超導技術，前者在今年10月發布成果，其105量子位元的Willow晶片，速度較現有最快的超級電腦快1.3萬倍，並實現可驗證的量子優越性。

至於中國第三代自主超導量子電腦「本源悟空」，以及多次打破量子優越性紀錄的「祖沖之」系列量子電腦，亦同樣使用超導體系的量子位元。

目前，量子電腦還未普及階段，但羅錦團指，有信心隨著技術發展，重大的應用突破會於十年內出現。



◀港理大研發的量子通信晶片。香港文匯報記者涂穴攝



◀劉愛群(左)與研究團隊。香港文匯報記者涂穴攝

## 港理大研量子晶片 建港首個量子通信網絡

在量子加密通信層面，香港科研實現了突破。香港理工大學量子技術研究院院長劉愛群的團隊，於上月成功以自主研发的量子晶片為平台，搭建香港第一個量子通信網絡，並以長約55公里、連接港九新界四個節點的光纖網絡，完成全球最長的同類光纖量子通信網絡安全測試。該量子晶片具備高速度、高穩定性、低成本、可大批量生產四大優勢，為量子通信商業化揭開新篇章。

量子計算可望達到的超高速算，對傳統加密系統帶來莫大威脅，衝擊金融交易驗證、數據跨境隱私保護、醫療系統、物聯網設備等不同範疇的信息安全。劉愛群表示，量子加密通信是利用量子不可複製的原理，每次加密使用隨

機產生的密鑰，實現「一鑰一密」，理論上無法破解，以全新機制保障信息安全。劉愛群的團隊利用半導體加工技術，將龐大系統集成為僅12毫米×4毫米的量子晶片，在光纖網絡中以1.25 GHz(千兆赫)時脈高速運行，達到45.73 kbps(千位元每秒)的穩定密鑰生成速率。在量子通信網絡測試期間，理大的量子晶片編碼並發射光子組成量子信號，成功在點對點之間加密及傳送訊息，並保持連接穩定。劉愛群形容，量子晶片雖小卻堪當「國之重器」，承擔守護國家和香港未來數字金融安全的角色。該技術並已發展至成熟階段，如有合適運營商可即時開始商業化，估計最快明年中就能落地運行。

## 港增三所全國重點實驗室 兩所聚焦量子領域

量子可說是當前香港前沿科研的焦點。在國家科技部支持下，今年7月起，香港的全國重點實驗室體系完成重組，而三所新增實驗室中，就有兩所聚焦量子領域，分別是港中大量子信息技術與材料全國重點實驗室，以及港大的光量子物質全國重點實驗室。前者於量子傳感作出多項突破，包括研發出靈敏度高一萬倍的鑽石量子探針，推進生物科技及能源材料等方面的精密測量潛力；後者透過融合光子學與二維材料，致力研發量子超結構材料，聚焦超快過程與拓撲結構，助力大灣區科技創新。

#### 港中大研量子探針助精密測量

港中大量子信息技術與材料全國重點實驗室主任劉仁保向香港文匯報分享道，其團隊研發的量子探針，憑藉納米鑽石晶體的碳原子穩定結構，並將其中心相鄰的兩個碳原子，換成一個氮原子和一個空位，造成「氮-空位『色心』」的特殊量子體系，即使在室溫下也能維持優良的量子特性。

這種「色心」本質上是極小的磁針，對微小磁場變化極為敏感，僅需觀察其轉動角度，即可快速精確測量磁場強度，以溫度測量為例，可於一秒內測出萬分之一度的細微變化，較傳統探針靈敏度提升萬倍。他

表示，該技術的高溫量子研究的獨特優勢領先全球，包括能於高達1,100℃的極端環境下進行量子測量與控制。

此外，實驗室團隊亦結合新型光學成像與AI演算法的追蹤技術，將量子探針的測量進一步精細至單細胞、單分子程度，適用於複雜生物環境中的信號識別與分析，包括植入細胞內部追蹤其運動和轉動，揭示細胞分化、癌變機制等重要生命過程，亦可捕捉大腦活動時產生的微弱腦磁信號，幫助繪製更精細的腦圖譜，深入了解大腦各區的活躍模式與功能。

港大的光量子物質全國重點實驗室由校長張翔擔任主任，除港大科學家外，成員還包括科大及香港城市大學頂尖學者。該實驗室致力推動光子學、量子物理和微納器件物理以及信息科學的發展，通過有機融合光子學、低維量子物理和微納器件的研究，實現光子和電子多量子自由度的相互轉換，並基於此來開發創新的光量子器件。

因應光學超結構材料、二維半導體及其摩爾超晶格等當前熱點課題，實驗室亦會着眼於納米光子學，和超材料與二維材料兩類體系中優勢互補的光信息和電信息有效結合的研究，期望透過研究調控光子和電子的多自由度，實現高度集成的光和電子混合量子晶片。